



TESIS - TE142599

AUDIO BEAM STEERING DENGAN METODE PHASED ARRAY

AMARO DA SILVA GAVIOLA
07111550048001

DOSEN PEMBIMBING
Dr. Muhammad Rivai, S.T., M.T.
Dr. Ir.Hendra Kusuma, M.Eng.Sc.

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN TEKNIK ELEKTRONIKA
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI ELEKTRO
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018



TESIS - TE142599

AUDIO BEAM STEERING DENGAN METODE PHASED ARRAY

AMARO DA SILVA GAVIOLA
07111550048001

DOSEN PEMBIMBING
Dr. Muhammad Rivai, S.T., M.T.
Dr. Ir.Hendra Kusuma, M.Eng.Sc.

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN TEKNIK ELEKTRONIKA
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI ELEKTRO
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018

LEMBAR PENGESAHAN

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (M.T)
di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

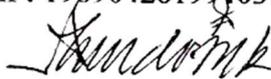
oleh:
Amaro Da Silva Gaviola
NRP. 07111550048001

Tanggal Ujian : 19 Desember 2017
Periode Wisuda : Maret 2018

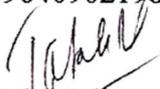
Disetujui oleh:



1. Dr. Muhammad Rivai, ST.,MT. (Pembimbing I)
NIP: 196904261994031003



2. Dr. Ir. Hendra Kusuma, M.Eng.Sc. (Pembimbing II)
NIP: 196409021989031003



3. Ir. Totok Mujiono, M.Ikom, Ph.D. (Penguji)
NIP: 196504221989031001



4. Ronny Mardiyanto, ST., MT., Ph.D. (Penguji)
NIP: 198101182003121003



5. Muhammad Attamimi, B.Eng., M.Eng., Ph.D. (Penguji)
NPP: 1985201711039

Dekan Fakultas Teknologi Elektro




Dr. Tri Arief Sardjono, S.T., M.T.
NIP. 197002121995121001

Halaman ini sengaja dikosongkan

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi keseluruhan Tesis saya dengan judul “**AUDIO BEAM STEERING DENGAN METODE PHASED ARRAY**” adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 11 Januari 2018



Amaro Da Silva Gaviola
NRP. 07111550048001

Halaman ini sengaja dikosongkan

AUDIO BEAM STEERING DENGAN METODE PHASED ARRAY

Nama mahasiswa : Amaro Da Silva Gaviola
NRP : 07111550048001
Pembimbing : 1. Dr. Muhammad Rivai,ST.,MT.
2. Dr. Ir. Hendra Kusuma, M.Eng.Sc.

ABSTRAK

Suatu sistem audio membutuhkan daya yang besar untuk dapat mengirimkan energi suara ke seluruh area baik pada ruang tertutup maupun terbuka, gelombang suara dapat merambat pada medium udara dan mengalami serapan yang besar dalam perjalanannya. Seringkali orang atau audiens hanya ada pada daerah dengan jarak dan arah tertentu, sehingga banyak energi suara yang terbuang percuma. Teknik pemfokusan dapat diterapkan untuk mengirimkan energi suara ke daerah audiens dengan arah dan jarak tertentu sehingga dapat menghemat energi listrik secara signifikan. Pengarahan energi suara secara mekanik dapat memerlukan daya penggerak listrik yang tinggi dan memakan waktu. Pada penelitian ini telah dibuat sistem pengarah energi suara dari deret empat loudspeaker dengan metoda beda fasa atau *phased array* sehingga tidak diperlukan pengubah arah loudspeaker secara mekanik. Sebuah komputer digunakan sebagai *Graphical User Interface* untuk menentukan arah dan jarak audiens yang akan menerima suara, dengan cara menghasilkan pola konfigurasi delay setiap jalur sehingga dapat berkerja secara otomatis dalam mengarahkan energi suaranya. Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa intensitas suara yang dihasilkan oleh sistem yaitu lebih kuat 8% pada sudut yang dipilih dibandingkan dengan sudut lain. *Audio Beam Steering* ini diharapkan dapat digunakan untuk ruang pertemuan yang besar atau lapangan terbuka, dimana energi suara hanya dikirimkan kearah yang dikehendaki dengan daya yang tergantung dari luas dan jarak audiens.

Kata kunci: *Audio Beam Steering, Graphical User Interface, Phased Array*

Halaman ini sengaja dikosongkan

AUDIO BEAM STEERING WITH PHASED ARRAY METHOD

By : Amaro Da Silva Gaviola
Student Identity Number : 07111550048001
Supervisor(s) : 1. Dr.Muhammad Rivai,ST.,MT .
2. Dr. Ir. Hendra Kususma, M.Eng.Sc.

ABSTRACT

An audio system requires a large amount of power to transmit sound energy to all areas in both open and closed spaces, sound waves can propagate in the air medium and experience large uptake on their way. Often people or audiences only exist in areas with a certain distance and direction, so much of the sound energy is wasted. The focusing technique can be applied to transmit sound energy to the audience area with a certain direction and distance so as to conserve electrical energy significantly. Sound mechanical sound energization can require high electrical driving power and time consuming. In this research, a sound energy guiding system from four loudspeaker series has been done with phase difference or phased array method, so no mechanical loudspeaker modifiers are needed. A computer is used as a Graphical User Interface to determine the direction and distance of the audience who will receive the sound, by generating the delay configuration pattern of each path so that it can work automatically in directing the sound energy. From the test results showed that the sound intensity generated by the system is 8% higher at the selected angle than the other angle. Beam Steering audio is expected to be used for large meeting rooms or open fields, where the sound energy is only sent towards the desired power depending on the area and distance of the audience.

Keywords: Audio Beam Steering, Graphical User Interface, Phased Array

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Kuasa atas segala limpahan rahmatNya penulis dapat menyelesaikan tesis yang berjudul “Audio Beam Steering Dengan Metode Phased Array”. Tesis ini disusun untuk memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan Program Pascasarjana Teknik Elektronika di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Tesis ini tidak dapat tersusun dengan baik tanpa bimbingan, bantuan dan dukungan dari banyak pihak yang diberikan kepada penulis. Oleh karena itu penulis memberikan ucapan terimakasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada :

1. Dr. Muhammad Rivai, ST., MT dan Dr. Ir. Hendra Kusuma, M.Eng.Sc selaku dosen pembimbing yang telah banyak berkontribusi selama proses pembuatan tesis sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis ini dengan baik.
2. Muhammad Attamimi, B.Eng., M.Eng., Ph.D., Ronny Mardiyanto, ST., MT., Ph.D., Ir. Totok Mujiono, M.Ikom, Ph.D selaku dosen penguji dalam ujian tesis yang telah memberikan saran-saran yang sangat bermanfaat bagi penulis.
3. Koordinator Pascasarjana Teknik Elektronika, Koordinator Pascasarjana Jurusan Teknik Elektro dan Ketua Jurusan Teknik Elektro serta karyawan Pascasarjana Teknik Elektro yang telah membantu penulis dalam segala urusan administrasi selama menempuh kuliah di ITS.
4. Istri Tercinta Leonia De Jesus Alves yang sudah memberikan banyak dukungan semangat dan doanya untuk menyelesaikan tesis ini.
5. Saudara serta keluarga saya yang ada di Timor Leste atas dukungan dan doanya dalam menyelesaikan buku tesis ini.
6. Rekan S2 ITS saya yaitu Dwi Sasmita Aji Pambudi dan Gama Aditya Rahardi yang selalu membantu dalam kesulitan membuat alat dan tesis ini.
7. Rekan-rekan S2 angkatan 2012, 2015, juga rekan-rekan Lab.B402 yang telah banyak membantu dalam menyelesaikan tesis ini.

8. Seluruh pihak yang membantu penulis dalam menyelesaikan tesis ini dengan baik.

Menyadari bahwa tesis ini masih jauh dari kata sempurna, maka kritik dan saran sangat penulis harapkan untuk perbaikan dimasa datang. Penulis berharap agar tesis ini dapat bermanfaat.

Surabaya, 04 Desember 2017

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS	iv
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL.....	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Dan Manfaat.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA.....	3
2.1 Prinsip Fisik Suara	3
2.2 Warna Nada.....	4
2.3 Sinyal suara yang diinginkan	4
2.4 <i>Audio Beam Steering</i> (ABS)	5
2.5 <i>Grating Lobes</i>	9
2.6 Metode Phased Array	11
2.7 Mikrokontroler Ardiuno Due	12
2.8 Loudspeaker	14
2.8.1 Impedansi Speaker.....	15
2.9 <i>IC Switching</i> 74HC4066N.....	16
2.9.1 <i>Limiting Values</i>	17
2.10 Power Amplifier.....	17
2.11 Peta Jalan Penelitian.....	19
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....	21
3.1 Deskripsi Sistem Audio Beam Steering.....	21
3.1.1 Sistem Perangkat Keras	21

3.1.2	Sistem Perangkat Lunak.....	31
3.2	Perancangan <i>Graphic User Interface</i> (GUI).....	40
3.3	Integrasi Sistem <i>Audio Beam Steering</i>	41
3.4	Prosedur Pengambilan Data.....	44
BAB 4	HASIL DAN PEMBAHASAN	45
4.1	Pengujian Metode <i>Phased Array</i>	45
4.2	Pengujian <i>Audio Beam Steering</i>	48
4.3	Pengujian <i>Audio Beam Steering</i> terhadap Audiens	61
BAB 5	KESIMPULAN	63
5.1	Kesimpulan.....	63
5.2	Saran	63
DAFTAR	PUSTAKA.....	65
LAMPIRAN	67
RIWAYAT	HIDUP PENULIS.....	75

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Garpu tala yang bergetar dan dampak pada molekul sekitarnya.....	3
Gambar 2.2 Perbedaan warna nada dari berbagai sumber suara.....	4
Gambar 2.3 Pengarahan ABS Ke Lokasi Objek.	6
Gambar 2.4 Deret loudspeaker bekerja sama untuk menyediakan satu muka gelombang.....	7
Gambar 2.5 <i>Constructive Interference</i>	8
Gambar 2.6 Pencarian Perbedaan Waktu Tempuh	8
Gambar 2.7 Geometri Deret Sumber Suara	10
Gambar 2.8 Arduino Due.....	12
Gambar 2.9 Susunan bagian dari loudspeaker	14
Gambar 2.10 IC <i>Switching</i> 74HC4066N, (a) Konfigurasi Pin, (b) Diagram Fungsional.....	16
Gambar 2.11 Tingkat penguat akhir menggunakan TDA2040.....	17
Gambar 2.12 Spesifikasi <i>Single Chip</i> IC TDA2040	18
Gambar 2.13 Grafik Titik Kerja Amplifier Kelas AB	18
Gambar 2.14 Peta Jalan Penelitian.....	19
Gambar 3.1 Diagram Blok Sistem Perangkat Keras.....	22
Gambar 3.2 Arduino Due.....	22
Gambar 3.3 Konfigurasi Pin pada Arduino Due.....	23
Gambar 3.4 Modul <i>Logic Level Converter</i>	24
Gambar 3.5 IC <i>Switching</i> 74HC4066N.....	25
Gambar 3.6 Konfigurasi Pin 74HC4066N.....	26
Gambar 3.7 Amplifier TDA2050.....	27
Gambar 3.8 Rangkaian Amplifier kelas AB	27
Gambar 3.9 Modul Rangkaian Amplifier	28
Gambar 3.10 Speaker 5 inch	29
Gambar 3.11 Susunan Speaker Secara Horisontal.....	29
Gambar 3.12 Rancangan deret loudspeaker.....	31
Gambar 3.13 Diagram Blok Sistem Perangkat Lunak.....	31
Gambar 3.14 Pengaruh Pengaturan Frekuensi Suara.....	33

Gambar 3.15 Perhitungan Sudut Pengarahan.....	34
Gambar 3.16 Penentuan sudut untuk pengambilan data	35
Gambar 3.17 Ilustrasi dari Konfigurasi Deret Loudspeaker.....	36
Gambar 3.18 Siklus sinyal PWM pada Arduino	37
Gambar 3.19 Pembentukan PWM.....	39
Gambar 3.20 Ilustrasi Keluaran Gelombang Suara dari Setiap Speaker.....	40
Gambar 3.21 Tampilan GUI Pada Sistem <i>Audio Beam Steering</i>	40
Gambar 3.22 Diagram Integrasi Sistem Rancangan.....	41
Gambar 3.23 Diagram Alir Pengolahan Data pada Sistem <i>Audio Beam Steering</i>	43
Gambar 4.1 Pengujian Sistem <i>Audio Beam Steering</i>	45
Gambar 4.2 Hasil Sinyal PWM dengan <i>Delay</i>	46
Gambar 4.3 Skematik Rangkaian TDA2050.....	46
Gambar 4.4 Pemasangan Amplifier pada Speaker	47
Gambar 4.5 Hasil Sinyal Sinus pada Amplifier	47
Gambar 4.6 Sinyal Sinus pada Amplifier dengan Beban Speaker	48
Gambar 4.7 Ruang Uji Coba <i>Audio Beam Steering</i>	48
Gambar 4.8 Kondisi <i>Ambient</i> Ruang Pengujian.....	49
Gambar 4.9 Pengukuran Sudut 30° pada Jarak (a) 2m dan (b) 5m	51
Gambar 4.10 Pengukuran Sudut 60° pada Jarak (a) 2m dan (b) 5m	52
Gambar 4.11 Pengukuran Sudut 45° pada Jarak (a) 2m dan (b) 5m	54
Gambar 4.12 Pengukuran Sudut 0° pada Jarak (a) 2m dan (b) 5m	55
Gambar 4.13 Pengukuran Sudut 0° pada Jarak (a) 2m dan (b) 5m	57
Gambar 4.14 Pengukuran Sudut -45° pada Jarak (a) 2m dan (b) 5m.....	58
Gambar 4.15 Pengukuran Sudut -45° pada Jarak (a) 2m dan (b) 5m.....	60
Gambar 4.16 Ruang Pengujian <i>Audio Beam Steering</i>	61

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Hasil Perhitungan <i>Delay</i>	35
Tabel 3.2 Berbagai Nilai Jarak dan Sudut Pengamatan pada Pengujian <i>Audio Beam Steering</i>	44
Tabel 4.1 Hasil Pengujian Pengarahan Sudut 30°	50
Tabel 4.2 Hasil Pengujian Pengarahan Sudut 60°	52
Tabel 4.3 Hasil Pengujian Pengarahan Sudut 45°	53
Tabel 4.4 Hasil Pengujian Pengarahan Sudut 0°	55
Tabel 4.5 Hasil Pengujian Pengarahan Sudut -30°	56
Tabel 4.6 Hasil pengujian pengarahan sudut -45°	58
Tabel 4.7 Hasil Pengujian Pengarahan Sudut -60°	59
Tabel 4.8 Hasil Pengujian Terhadap Audiens Ketika Berada pada Sudut 45° di Depan Speaker	62

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada umumnya peletakan loudspeaker audio di suatu keramaian diletakkan secara acak diantara sudut-sudut tenda atau lokasi tertentu. Tetapi pada kenyataannya sering kali orang atau audiens hanya ada pada daerah dengan jarak dan arah tertentu, sehingga banyak energi suara yang terbuang percuma. Selain itu peletakan sudut dari speaker sangat mempengaruhi rambatan suara, yang terkadang audience tidak dapat mendengar dengan jelas. Gelombang suara dapat merambat pada medium udara dan mengalami serapan yang besar dalam perjalanannya. Suatu sistem audio membutuhkan daya yang besar untuk dapat mengirimkan energi suara ke seluruh area baik pada ruang tertutup maupun terbuka. Teknik pemfokusan dapat diterapkan untuk mengirimkan energi suara ke daerah audiens dengan arah dan jarak tertentu sehingga dapat menghemat energi listrik secara signifikan. Pengarahan energi suara secara mekanik dapat dilakukan dengan mengubah arah fisik loudspeaker yang digunakan. Namun teknik ini memerlukan daya penggerak listrik yang tinggi dan memakan waktu.

Phase Array merupakan salah satu teknik pemfokusan gelombang suara atau Audio Beam Steering (ABS). Metoda ini telah dilakukan penelitian mengenai ABS yang diimplementasikan pada ruangan kelas yang bertujuan agar materi yang disampaikan dapat terdengar dengan jelas untuk semua sudut ruangan (Brian, 2010). Pada penelitian ini sudah dikembangkan pemfokusan gelombang suara yang terdiri dari deret loudspeaker audio dengan komputer digunakan sebagai Graphical User Interface (GUI) yang memungkinkan pengguna untuk merubah besarnya frekuensi dan arah berkas suara sesuai yang dikehendaki.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang mendasari penelitian ini adalah :

1. Bagaimana cara menghasilkan intensitas suara yang kuat pada arah dan posisi audiens tertentu tanpa mengubah arah loudspeaker secara fisik.
2. Bagaimana menentukan waktu tunda setiap loudspeaker berdasarkan posisi audiens.

1.3 Tujuan Dan Manfaat

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini :

1. Sistem dapat mengarahkan gelombang suara kearah audien dengan menggunakan metode phase array.
2. Penentuan waktu tunda menggunakan prinsip interferensi gelombang suara di udara.

. Sistem ini diharapkan dapat digunakan untuk ruang pameran, ruang pertemuan yang besar, dimana energi suara hanya dikirimkan kearah yang dikehendaki saja dengan daya yang tergantung dari luas dan jarak audiens. Sistem ini akan lebih efisien dalam penggunaan energi listriknya dan efektif dalam menentukan arah suara untuk audiens yang tidak tetap posisinya

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Sinyal suara yang digunakan adalah berbentuk sinusoidal yang dibentuk dari Pulse Width Modulation dengan frekuensi 1 kHz.
2. Alat hanya berfokus pada bagian keluaran dalam sistem Audio Beam Steering dengan inputan yang ditentukan oleh pengguna.

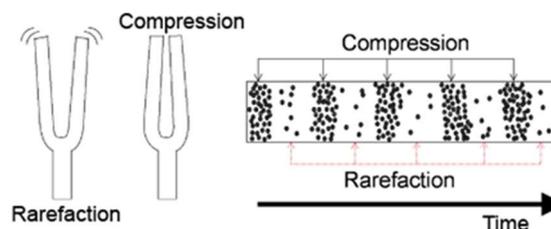
BAB 2

KAJIAN PUSTAKA

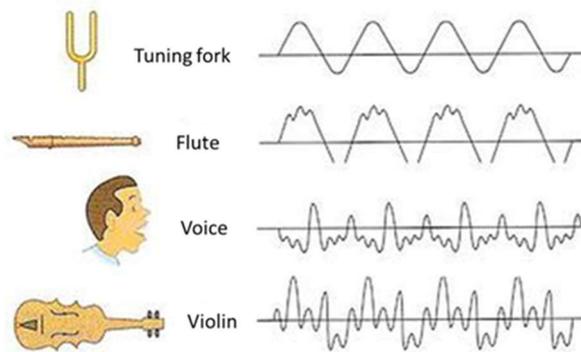
Dasar teori dalam bab ini menjabarkan tentang berbagai teori yang dapat digunakan sebagai penunjang dalam pembuatan alat audio beam steering. Dasar teori yang digunakan sebagai landasan pembuatan tesis ini meliputi sinyal suara yang diinginkan, teknik audio beam steering, mikrokontroler Arduino due, amplifier dan speaker.

2.1 Prinsip Fisik Suara

Jika kita melihat suara dalam bentuk primitif, suara adalah gangguan media, baik gas, cair atau padat. Secara umum suara adalah perubahan tekanan udara yang menciptakan gelombang, yang kemudian gelombang suara itu tiba di telinga kita. Sebagai contoh, ketika kunci piano dipukul, pergerakan benang gitar yang dipetik menyebabkan perpindahan molekul dalam udara. Gangguan ini menyebabkan molekul yang berdekatan diganggu selama jarak tertentu sampai energi awal yang diciptakan oleh perpindahan awal telah menghilang. Jumlah energi akhirnya menjadi nol setelah dipindahkan dari satu molekul ke yang berikutnya. Ini menjelaskan bagaimana suara tidak dapat didengar setelah jarak tertentu tergantung pada energi awal, di mana kita mengenal energi tersebut sebagai volume. Metode ini dinyatakan sebagai gelombang longitudinal dan merupakan model yang berguna untuk mempelajari bagaimana perjalanan suara melalui udara.



Gambar 2.1 Garpu Tala Yang Bergetar Dan Dampak Pada Molekul Sekitarnya



Gambar 2.2 Perbedaan Warna Nada Dari Berbagai Sumber Suara

2.2 Warna Nada

Warna nada dapat digambarkan sebagai perbedaan dua suara yang identik di lapangan, seperti contoh terompet dan piano bermain pada note yang sama. Menggambarkan suara dalam warna nada berguna dalam membedakan perbedaan antara suara.

Pada gambar 2.2, ditunjukkan perbedaan bentuk gelombang yang merupakan warna nada dari masing-masing sumber suara. Terdapat perbedaan antara bentuk gelombang dari garpu tala dan suara manusia pada umumnya. Karena audio beam steering hanya bisa dilakukan dengan menggunakan sinyal yang hanya memiliki satu frekuensi, maka dari itu bentuk gelombang yang digunakan dalam penelitian ini adalah seperti bentuk gelombang garpu tala(Tuning fork), yaitu gelombang sinusoidal.

2.3 Sinyal suara yang diinginkan

Bunyi atau suara didefinisikan sebagai serangkaian gelombang yang merambat dari suara sumber getar sebagai akibat perubahan kerapatan dan juga tekanan udara (Gabriel, 1996). Sedangkan gelombang bunyi adalah gelombang mekanis longitudinal, gelombang bunyi tersebut dapat dijalarkan di dalam benda padat, benda cair dan gas (Halliday,1990). Maka dari itu sinyal suara yang dipakai dalam metode ini adalah berupa sinyal sinus berfrekuensi 1khz.

Pembentukan sinyal sinus ini menggunakan metode Sinusoidal PWM, yaitu dengan mengatur duty cycle dari sinyal pwm yang keluar dari

mikrokontroler, maka akan diperoleh tegangan efektif yang sebanding dengan duty cycle tersebut. Tegangan efektif inilah nantinya, yang digunakan untuk membuat sinyal sinusoidal.

Penggunaan sinyal pwm dibandingkan dengan metode lain, yaitu Digital to Analog Converter (DAC) dikarenakan untuk penghematan menggunakan pin dalam mikrokontroler yang digunakan, dimana metode DAC menggunakan 8 pin, dan Sinusoidal PWM hanya menggunakan 1 pin untuk satu buah sinyal.

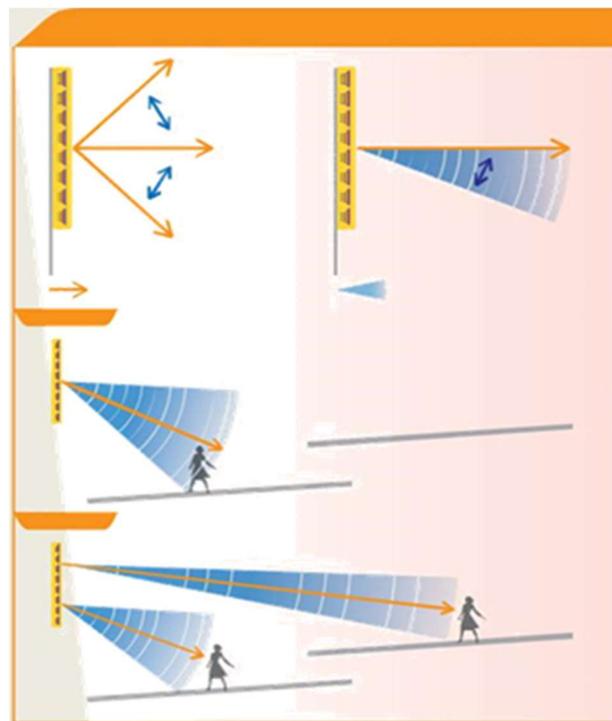
2.4 *Audio Beam Steering (ABS)*

Audio Beam Steering (ABS) merupakan suatu teknik untuk memanipulasi magnitudo dan fase dari setiap deret penguat suara. ABS sering digunakan untuk mengarahkan audio dari penguat suara ke lokasi tertentu di area pendengaran, ditunjukkan pada Gambar 2.1. Hal ini dilakukan dengan mengubah fasa dari dua atau lebih loudspeaker yang dipasang berderet, dimana suara yang diarahkan merupakan gabungan dari suara setiap loudspeaker yang ditambahkan dan atau ditunda pada fasa tertentu (Anderson dkk., 2012). Jenis pengaturan loudspeaker seperti ini dikenal dengan line array atau deret sumber suara. Penggunaan phase array dapat diperoleh dari D Flip-Flop (Ishikawa, dkk, 2014), adaptive FIR filter (Yamada dkk, 2004). Teknik digital ini sedang dilakukan pengembangan untuk produk peralatan elektronika audio visual. Adapun ABS yang menggunakan DSP dirintis di awal tahun 1990-an oleh Duran Audio yang meluncurkan teknologi yang disebut Digital Directivity Control (DDC).

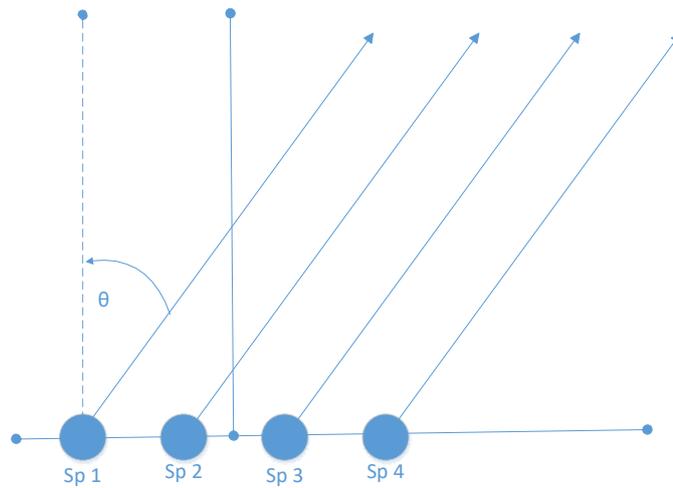
Prinsip kerja yang digunakan dalam sistem audio beam steering adalah interferensi gelombang suara. Peristiwa ini terjadi jika pada titik pertemuan tertentu semua gelombang sefase. Beberapa atau dua gelombang disebut sefase jika gelombang tersebut memiliki frekuensi sama dan pada setiap saat yang sama memiliki arah simpangan yang sama pula. Pertemuan dari dua atau beberapa gelombang akan mengalami interferensi jika gelombang tersebut saling menguatkan atau disebut interferensi konstruktif. Pada penelitian audio beam steering ini, kita akan mendapatkan bahwa pada titik-titik tertentu menghasilkan

amplitudo yang paling besar(disebut perut) atau dua kali amplitudo semula. Sedangkan pada titik tertentu disebut simpul(gelombang saling melemahkan) dan dihasilkan amplitudo nol(interferensi destruktif). Dengan menggunakan konsep fase, dapat dikatakan bahwa interferensi konstruktif terjadi bila semua gelombang yang berpadu memiliki fase yang sama. Amplitudo gelombang paduan sama dengan dua kali amplitudo tiap gelombang.

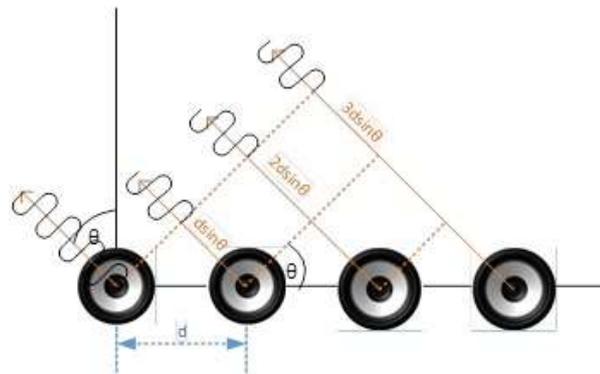
Dalam deret sumber suara, setiap loudspeaker diatur dalam garis lurus atau segmen busur. Deret loudspeaker ini bekerja sama untuk menyediakan satu muka gelombang. Gambar 2.4.a menunjukkan delapan loudspeaker dengan muka gelombang yang di pancarkan, dan Gambar 2.4.b menunjukkan pandangan yang diperbesar menggambarkan sudut pancaran dan penundaan fase relatif terhadap loudspeaker referensi.



Gambar 2.3 Pengarahan ABS Ke Lokasi Objek.



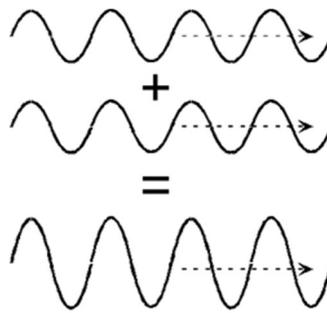
(a)



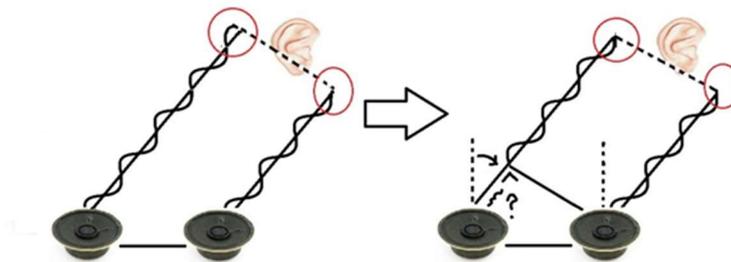
(b)

Gambar 2.4 Deret Loudspeaker Bekerja Sama Untuk Menyediakan Satu Muka Gelombang.

Dengan kata lain, audio beam steering adalah teknik yang digunakan untuk mengarahkan sinyal suara dengan menggunakan perangkat keluaran berupa speaker atau sejenisnya, yang dijejer, tanpa menggerakkan speaker tersebut. Yang dimaksud dengan pengarahannya disini adalah menghasilkan sinyal suara yang berkekuatan lebih di suatu arah tertentu yang merupakan hasil dari gabungan beberapa sinyal suara yang sefase atau yang biasa disebut constructive interference.



Gambar 2.5 *Constructive Interference*



Gambar 2.6 Pencarian Perbedaan Waktu Tempuh

Diperlukan minimal dua buah speaker untuk menghasilkan audio beam steering. Teknik ini biasa menggunakan barisan speaker (array) sebagai media outputnya. Apabila sinyal yang keluar dari dua buah speaker koheren atau keluar bersamaan dengan sudut fasa yang sama, maka sinyal akan saling menguatkan pada arah lurus di depan speaker. Jika arah yang diinginkan oleh pengguna tidak lurus, maka akan terdapat perbedaan panjang gelombang suara yang keluar dari speaker. Maka dari itu diberikanlah delay pada salah satu speaker, agar sinyal pada speaker tersebut dapat mulai secara koheren dengan speaker lainnya di akhir waktu delay. Sinyal akan saling menguatkan pada arah yang diberikan ketika mulai secara koheren.

2.5 Grating Lobes

Ketika suara diarahkan menuju arah tertentu, terdapat kemungkinan akan muncul suara dengan intensitas yang sama kuatnya pada arah yang lain. Fenomena yang terjadi pada barisan speaker tersebut disebut grating lobes. Fenomena ini terjadi karena jarak antar speaker terlalu jauh, melebihi panjang gelombang. Hal tersebut bisa diatasi dengan cara mengurangi jarak antar speaker.

Sebuah sumber suara akan menghasilkan tekanan p_0 pada jarak r yang dapat dituliskan pada Persamaan 2.1,

$$p_0(r, t) = \frac{A}{r} e^{j(\omega t - kr)} \quad (2.1)$$

$$A = P_0 \cdot R_0 \quad (2.2)$$

dimana A adalah amplitudo sumber suara, P_0 merupakan tekanan suara, dan R_0 merupakan jarak tempuh suara, dan k adalah jumlah gelombang akustik. Gambar 2.3 merupakan deret sumber suara diskrit beserta geometrinya.

Tekanan total (P_{total}) ditentukan oleh penjumlahan medan tekanan yang dihasilkan oleh setiap sumber suara, ke- i , yang dinyatakan dalam Persamaan 2.3,

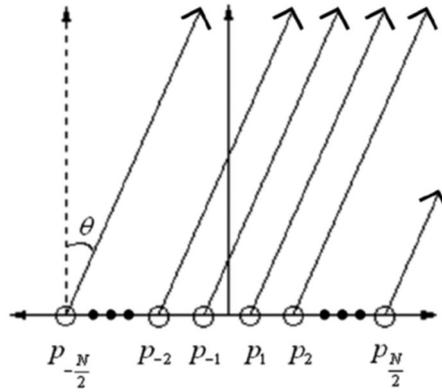
$$P_{total}(r, t) = e^{j\omega t} \sum_{i=-N/2}^{N/2} \frac{A_i}{r_i} e^{-jkri} \quad (2.3)$$

dimana N adalah jumlah total sumber suara (loudspeaker).

Untuk asumsi medan jauh, $r \gg d$, dimana d adalah jarak antar sumber suara, dapat diasumsikan bahwa fasa muka gelombang yang dihasilkan oleh setiap sumber suara (ϕ), dinyatakan pada Persamaan 2.4,

$$\phi = kd \sin \theta \quad (2.4)$$

dimana θ adalah sudut medan suara terhadap garis yang tegak lurus terhadap sumbu deret sumber suara.



Gambar 2.7 Geometri Deret Sumber Suara

Tekanan total (P_{total}) merupakan penjumlahan dari setiap sumber sejumlah N , dengan menganggap N genap, maka dapat dituliskan seperti pada Persamaan 2.5,

$$P_{total} = P_0 (e^{-j[(N-1)/2]\phi} + \dots + e^{-j(3/2)\phi} + e^{-j(1/2)\phi} + e^{j(1/2)\phi} + e^{j(3/2)\phi} + \dots + e^{j[(N-1)/2]\phi}) \quad (2.5)$$

yang dapat dituliskan menjadi Persamaan 2.6,

$$P_{total} = p_0 e^{j[(N-1)/2]\phi} \left[\sum_{q=0}^{N-1} x^q \right] \quad (2.6)$$

dimana $x = e^{-j\phi}$, dengan penggunaan deret geometri, seperti pada Persamaan 2.7,

$$1 + x + x^2 + \dots + x_{N-1} = \frac{1 - x_N}{1 - x} \quad (2.7)$$

maka tekanan total dapat dinyatakan pada Persamaan 2.8 dan Persamaan 2.9,

$$P_{total} = P_0 \frac{e^{j(N/2)\phi} 1 - e^{-jN\phi}}{e^{j(1/2)\phi} 1 - e^{-j\phi}} = P_0 \frac{e^{j(N/2)\phi} - e^{-j(N/2)\phi}}{e^{j(1/2)\phi} - e^{-j(1/2)\phi}} = P_0 \frac{\sin\left(\frac{N}{2}\phi\right)}{\sin\left(\frac{1}{2}\phi\right)} \quad (2.8)$$

$$P_{total}(r, \theta, t) = \frac{A}{r} e^{j(\omega t - kr)} \frac{\sin\left(\frac{N}{2} kd \sin \theta\right)}{\sin\left(\frac{1}{2} kd \sin \theta\right)} \quad (2.9)$$

Perbandingan tekanan total ternormalisasi terhadap tekanan pada $\theta=0$, didefinisikan sebagai fungsi arah, $H(\theta)$, yang dinyatakan pada Persamaan 2.10,

$$H(\theta) = \frac{P_{total}(\theta)}{P_{total}(\theta=0)} = \frac{1}{N} \frac{\sin\left(\frac{N}{2} kd \sin \theta\right)}{\sin\left(\frac{1}{2} kd \sin \theta\right)} \quad (2.10)$$

Pada penggunaan deret sumber suara, pengarahan deret suara dilakukan secara elektronik dengan menggunakan beda fasa daripada memutar sumber suara secara fisik. Perbedaan fasa dilakukan dengan memasukkan delay waktu antar kanal yang berdekatan, τ_o , yang dinyatakan pada Persamaan 2.11,

$$\tau_o = \frac{d \sin \theta_0}{c} \quad (2.11)$$

dimana c adalah kecepatan suara di udara, d adalah jarak antar sumber suara dan θ_0 adalah sudut yang diinginkan. Sedangkan, jarak antar sumber suara harus memenuhi besaran celah yang dinyatakan pada Persamaan 2.12,

$$d \leq \frac{\lambda}{1 + \sin \theta} \quad (2.12)$$

dimana λ adalah panjang gelombang suara, θ adalah sudut pengarahan (dalam satuan derajat), dan d adalah jarak antar speaker (dalam satuan meter).

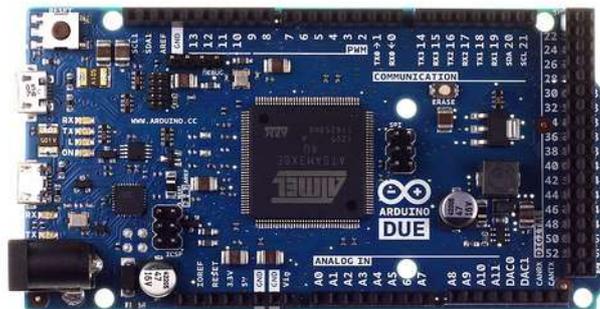
2.6 Metode Phased Array

Istilah Phase mengacu pada waktu, dan array mengacu pada beberapa elemen. Jadi metode phased array berarti mengatur penundaan fase (waktu) suara line array untuk mengontrol dimana sinyal suara dijumlahkan (interferensi konstruktif) atau dibatalkan (interferensi destruktif). Setiap frekuensi memiliki

panjang gelombang yang berbeda, sehingga setiap fase frekuensi harus dikontrol secara independen agar memungkinkan setiap frekuensi untuk saling menguatkan atau melemahkan di titik yang diinginkan. Bagaimana phased array bekerja, yaitu phased array terdiri dari serangkaian elemen individual, masing-masing dengan konektornya sendiri, rangkaian delay waktu, dan konverter A/D. Serta Elemen berdenyut dalam kelompok dengan penundaan waktu yang telah dihitung sebelumnya untuk setiap elemen yaitu pentahapan dan tiap sinyal suara yang keluar. Karena gelombang suara dari penguat suara yang berbeda dapat keduanya menambah atau membatalkan tergantung pada hubungan fase relatif antara gelombang suara, dimungkinkan untuk memanipulasi penundaan fase atau waktu suara dari dua atau lebih penguat suara untuk mengontrol di mana pembatalan suara dan di mana penjumlahan suara.

2.7 Mikrokontroler Arduino Due

Mikrokontroler yang memiliki fitur digital signal processing pada prosesor inti di dalamnya. Arduino Due merupakan board arduino berbasis Atmel SAM3X8E ARM Cortex-M3 CPU. Merupakan board arduino pertama yang berbasis 32-bit ARM core microcontroller. Board ini memiliki 54 pin digital input/output dan 12 pin analog input untuk input sinyal analog, yang dapat diproses dengan fitur pengolah digital pada prosesor inti. Dimana 12 pin dapat digunakan sebagai output PWM), 12 input analog, empat UART (port serial perangkat keras), jam/kecepatan 84 MHz clock CPU, koneksi USB OTG yang mampu, dua DAC (digital ke analog), dua TWI, colokan listrik, header SPI, header JTAG, tombol reset, dan tombol hapus.



Gambar 2.8 Arduino Due

Arduino adalah pengendali mikro *single board* yang bersifat *open source*, diturunkan dari *Wiring platform*, dirancang untuk memudahkan penggunaan elektronik dalam berbagai bidang. *Hardware*-nya memiliki prosesor Atmel AVR dan *software*-nya memiliki bahasa pemrograman sendiri. Saat ini Arduino sangat populer di seluruh dunia. Banyak pemula yang belajar mengenal robotika dan elektronika lewat Arduino karena mudah dipelajari. Tapi tidak hanya pemula, para *hobbyist* atau profesional pun ikut senang mengembangkan aplikasi elektronik menggunakan Arduino. Bahasa yang dipakai dalam Arduino bukan assembler yang relatif sulit, tetapi bahasa C yang disederhanakan dengan bantuan pustaka-pustaka (*libraries*) Arduino. Arduino juga menyederhanakan proses bekerja dengan mikrokontroler, sekaligus menawarkan berbagai macam kelebihan.

Kelebihan yang dimiliki Arduino salah satunya adalah tidak perlu perangkat *chip programmer* karena didalamnya sudah ada *bootloader* yang akan menangani upload program dari komputer. Selain itu, Arduino juga sudah memiliki sarana komunikasi USB. Sehingga, pengguna laptop yang tidak memiliki *port serial* RS323 bisa menggunakannya. Memiliki modul siap pakai (*shield*) yang bisa ditancapkan pada *board* arduino. Contohnya adalah *shield* GPS, *ethernet*, dll.

Pada Arduino terdapat soket USB. Soket USB adalah soket kabel USB yang disambungkan ke komputer atau laptop. Soket USB berfungsi untuk mengirimkan program ke arduino dan juga sebagai port komunikasi serial. Pada Arduino juga terdapat input/output digital atau digital pin adalah pin-pin untuk menghubungkan arduino dengan komponen atau rangkaian digital. contohnya , jika ingin membuat LED berkedip, LED tersebut bisa dipasang pada salah satu pin input atau output digital dan ground. Komponen lain yang menghasilkan output digital atau menerima input digital bisa disambungkan ke pin pin ini.

Input analog atau analog pin pada Arduino adalah pin-pin yang berfungsi untuk menerima sinyal dari komponen atau rangkaian analog. contohnya , potensiometer, sensor suhu, sensor cahaya, dll.

Pin catu daya pada Arduino adalah pin yang memberikan tegangan untuk komponen atau rangkaian yang dihubungkan dengan arduino. Pada bagian catu

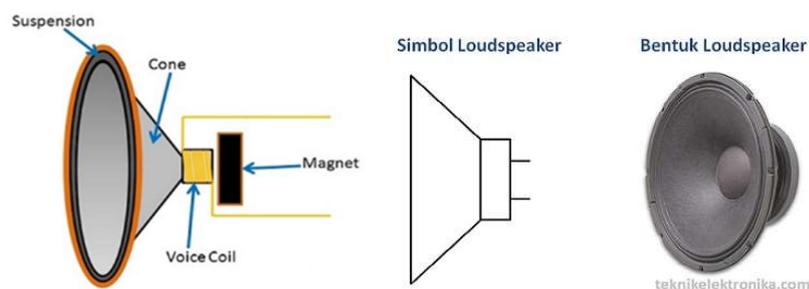
daya ini pin Vin dan Reset. Vin digunakan untuk memberikan tegangan langsung kepada arduino tanpa melalui tegangan pada USB atau adaptor, sedangkan Reset adalah pin untuk memberikan sinyal reset melalui tombol atau rangkaian eksternal.

Soket baterai atau adaptor digunakan untuk menyuplai arduino dengan tegangan dari baterai/adaptor 9V pada saat arduino sedang tidak disambungkan kekomputer. Jika arduino sedang disambungkan kekomputer dengan USB, Arduino mendapatkan suplai tegangan dari USB, Jadi tidak perlu memasang baterai/adaptor pada saat memprogram arduino.

2.8 Loudspeaker

Loudspeaker merupakan alat yang mengubah sinyal listrik menjadi getaran suara. Loudspeaker menghasilkan suara dengan menggetarkan cone yang memiliki sifat fleksibel. *Cone* merupakan bagian dari loudspeaker yang terbuat dari kertas dan dikelilingi oleh material fleksibel yaitu magnet, ditunjukkan pada Gambar 2.9.

Proses bergetarnya cone berawal dari voice coil yang dialiri arus yang akan menimbulkan medan magnet disekitarnya. Medan magnet yang dihasilkan oleh voice coil saling berinteraksi dan menyebabkan cone bergetar. Getaran yang dihasilkan oleh cone mengakibatkan perubahan tekanan pada udara sekitar cone kemudian terdengar sebagai suara.



Gambar 2.9 Susunan Bagian Dari Loudspeaker

Dalam rangka menterjemahkan sinyal listrik menjadi suara yang dapat didengar, Speaker memiliki komponen Elektromagnetik yang terdiri dari Kumputan yang disebut dengan Voice Coil untuk membangkitkan medan magnet dan berinteraksi dengan Magnet Permanen sehingga menggerakkan Cone Speaker maju dan mundur. Voice Coil adalah bagian yang bergerak sedangkan Magnet Permanen adalah bagian Speaker yang tetap pada posisinya. Sinyal listrik yang melewati Voice Coil akan menyebabkan arah medan magnet berubah secara cepat sehingga terjadi gerakan “tarik” dan “tolak” dengan Magnet Permanen. Dengan demikian, terjadilah getaran yang maju dan mundur pada Cone Speaker.

Cone adalah komponen utama Speaker yang bergerak. Pada prinsipnya, semakin besarnya Cone semakin besar pula permukaan yang dapat menggerakkan udara sehingga suara yang dihasilkan Speaker juga akan semakin besar.

Suspension yang terdapat dalam Speaker berfungsi untuk menarik Cone ke posisi semula setelah bergerak maju dan mundur. Suspension juga berfungsi sebagai pemegang Cone dan Voice Coil. Kekakuan (rigidity), komposisi dan desain Suspension sangat mempengaruhi kualitas suara Speaker itu sendiri.

2.8.1 Impedansi Speaker

Speaker bekerja menggunakan arus bolak-balik (Alternating Current, AC). Impedansi adalah ukuran resistansi pada sumber arus AC. Jadi secara sederhana impedansi adalah resistansi yang lebih kompleks dan akurat pada arus AC. Walaupun dalam speaker terdapat impedansi dan tidak mempengaruhi kualitas secara keseluruhan, tetapi secara otomatis akan mempengaruhi kerja sebuah sistem audio.

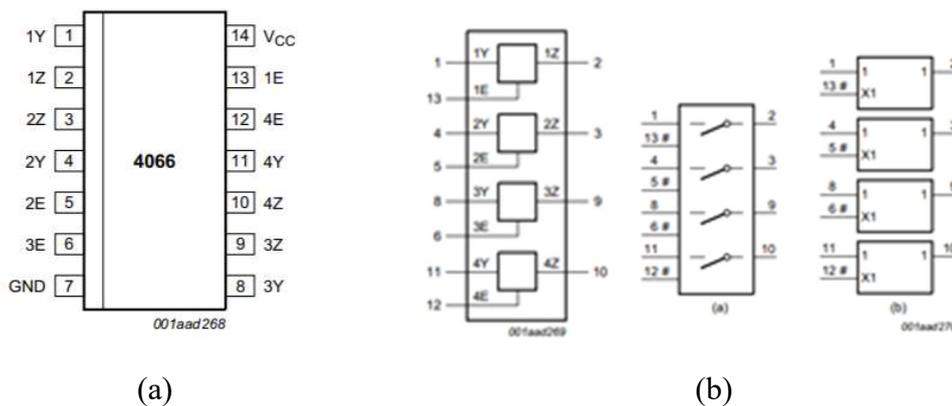
Speaker biasanya mempunyai impedansi sekitar 4 ohm, 8 ohm dan sebagainya. Dalam elektronika, Hambatan = Resistensi (R) sedangkan Impedansi memiliki lambang Z. Namun keduanya memiliki satuan yang sama yaitu ‘ohm’. Impedansi berhubungan dengan arus. Semakin besar impedansi maka akan semakin kecil arus yang bisa lewat, dan sebaliknya. Seberapa besar arus yang bisa mengalir ternyata mempengaruhi daya maksimal yang bisa dikeluarkan oleh suatu rangkaian.

Jadi, daya maksimal yang bisa dikeluarkan ini ternyata ada hubungannya dengan volume kekuatan suara maksimal yang bisa dikeluarkan.

2.9 IC Switching 74HC4066N

Dalam pembuatan alat audio beam steering, tidak terlepas dari memanipulasi phase dari setiap loudspeaker atau mengatur penundaan suara yang keluar dari sumber suara. Untuk melakukan pengarahan suara ke arah tertentu, peneliti memerlukan switching IC 74HC4066N untuk fungsi saklar. Cara kerjanya adalah ketika mikrokontroler tidak mengirimkan tegangan bias ke pin switching, maka saklar dalam keadaan off (LOW) sedangkan apabila pin IC switching mendapat tegangan HIGH maka saklar akan on (mengirimkan sinyal suara ke penguat akhir). Jadi waktu untuk IC switching bisa HIGH atau LOW ditentukan oleh program delay time yang dieksekusi oleh mikrokontroler.

Quad single-pole analog switch 74HC4066 adalah empat saklar analog *pole* tunggal. Setiap saklar memiliki dua terminal input / output (nY dan nZ) dan input aktif TINGGI (nE) aktif. Bila nE RENDAH, saklar analog dimatikan. Masukan termasuk klem dioda. Hal ini memungkinkan penggunaan resistor pembatas arus untuk input antarmuka ke tegangan yang melebihi V_{CC} .



Gambar 2.10 IC Switching 74HC4066N, (a) Konfigurasi Pin, (b) Diagram Fungsional

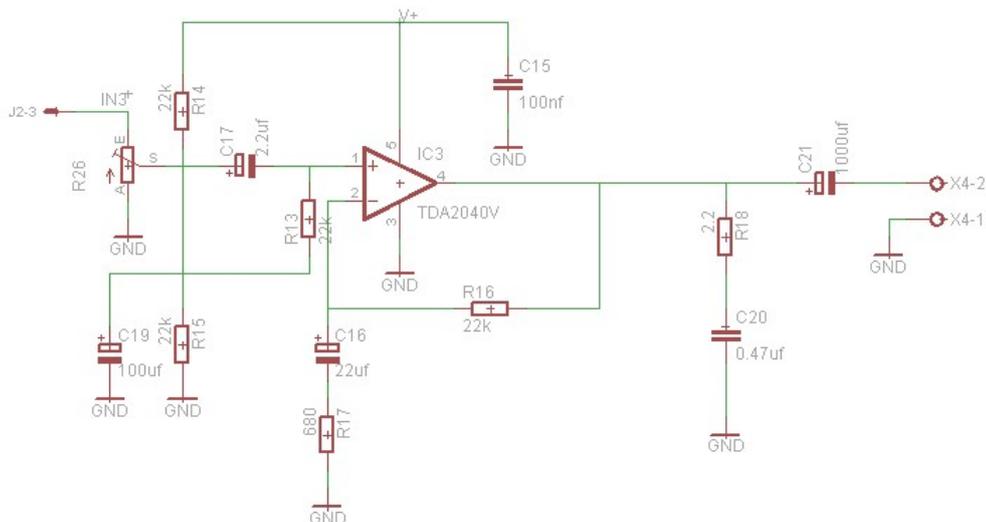
2.9.1 Limiting Values

Untuk menghindari arus VCC keluar dari terminal Z, ketika arus saklar mengalir pada terminal Y_n , tegangan jatuh pada saklar dua arah tidak boleh melebihi 0,4 V. Jika arus saklar mengalir ke terminal Z, tidak ada arus VCC yang mengalir keluar dari terminal Y_n . Dalam hal ini tidak ada batasan untuk penurunan voltase pada saklar, namun voltase pada Y_n dan Z mungkin tidak melebihi VCC atau GND.

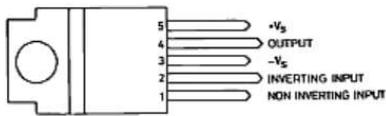
2.10 Power Amplifier

Rangkaian amplifier TDA2040 adalah rangkaian penguat yang menggunakan single IC tipe TDA2040 sebagai amplifier utamanya. Amplifier ini biasanya digunakan untuk penguat pada mobil karena bentuknya yang praktis dan penguatan cukup memadai. TDA2040 merupakan IC tipe monolitik dengan pengoperasian rangkaian amplifier kelas AB. IC ini didalamnya telah dilengkapi dengan rangkaian proteksi untuk hubung singkat terutama pada jalur output speakernya.

Rangkaian pada Gambar 2.11 adalah contoh rangkaian yang disusun dengan penguatan kelas AB yang memiliki keluaran 22 Watt. IC TDA2040 memiliki tingkat distorsi yang rendah sehingga cocok untuk digunakan pada penguat di rumah atau penguat pada mobil dengan kategori suara Hi-Fi. Sedangkan spesifikasi TDA2040 ditunjukkan pada Gambar 2.12.



Gambar 2.11 Tingkat Penguat Akhir Menggunakan TDA2040



V_s – Supply Voltage : ± 20 Volt

V_i – Differential Input Voltage: ± 15 Volt

I_o – Output Peak Current (internally limited) 4 A

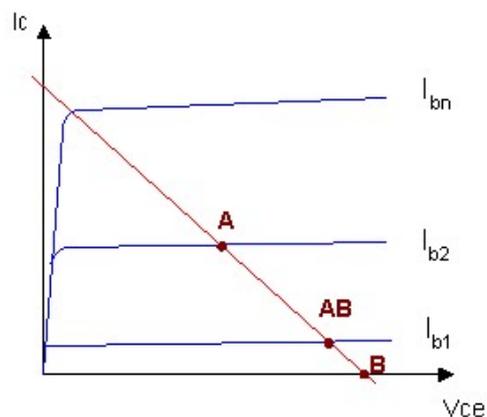
P_{tot} – Power Dissipation at $T_{case} = 75^{\circ}C$: 25 W

T_{stg}, T_j – Storage and Junction Temp. -40 to $150^{\circ}C$

Gambar 2.12 Spesifikasi *Single Chip* IC TDA2040

Power amplifier kelas AB ini dibuat bertujuan untuk membentuk penguat sinyal yang tidak cacat (distorsi) dari penguat kelas A dan untuk mendapatkan efisiensi daya yang lebih baik seperti pada amplifier kelas B. Karena amplifier kelas A memiliki efisiensi daya yang rendah ($\pm 25\%$) yang disebabkan titik kerja berada di $1/2 V_{CC}$ tetapi memiliki kualitas sinyal yang terbaik.

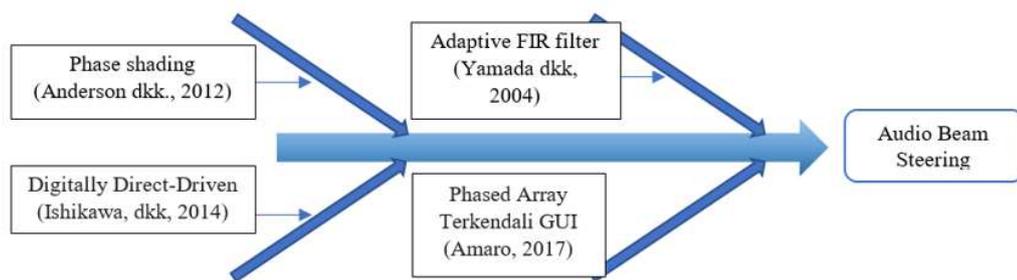
Sedangkan amplifier kelas B memiliki efisiensi daya yang baik ($\pm 85\%$) karena titik kerja mendekati V_{CC} tetapi kualitas suara yang kurang baik. Sehingga dibuat amplifier kelas AB yang memiliki efisiensi daya penguatan sinyal ($\pm 60\%$) dengan kualitas sinyal audio yang baik. Titik kerja amplifier kelas AB dapat dilihat pada grafik garis beban berikut.



Gambar 2.13 Grafik Titik Kerja Amplifier Kelas AB

2.11 Peta Jalan Penelitian

Pada penelitian ini dibuat diagram fishbone untuk menggambarkan beberapa bagian yang mendukung sebagai metoda Audio Beam Steering, yaitu Phase shading, Digitally Direct-Driven, Adaptive FIR filter, dan Phase array, ditunjukkan pada Gambar 2.13.



Gambar 2.14 Peta Jalan Penelitian

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

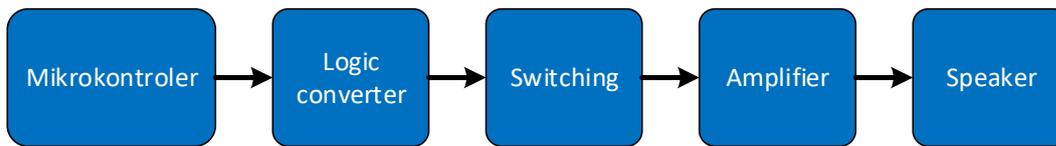
3.1 Deskripsi Sistem Audio Beam Steering

Perancangan sistem *Audio Beam Steering* terdiri dari beberapa bagian, yaitu perancangan perangkat keras dan perancangan perangkat lunak. Dalam perancangan semua sistem terdapat keterkaitan antara satu dengan yang lainnya. Dalam perancangan *Audio Beam Steering* ini menggunakan sinyal dengan frekuensi yang dapat didengar oleh telinga manusia. *Audio Beam Steering* ini dapat mengarahkan suara menuju ke arah yang ditentukan dengan cara mengatur waktu tunda (*delay*) pada sinyal keluaran dari masing-masing speaker. Speaker yang digunakan berjumlah 4 buah dan disusun berjajar dengan jarak antar speaker 15cm. Perbedaan waktu saat suara mulai dikeluarkan oleh speaker, menghasilkan perpaduan gelombang suara, dimana diharapkan suara pada arah yang ditentukan memiliki intensitas suara yang lebih kuat dibandingkan dengan arah lainnya.

Masukkan nilai sudut yang digunakan untuk pengarahannya diatur pada *Graphical User Interface* (GUI). Ketika sudut yang diinginkan dimasukkan, maka mikrokontroler akan memproses nilai masukan tersebut untuk mengatur speaker mana yang menegeluarkan suara terlebih dahulu. Setelah itu, sinyal akan melalui amplifier untuk dikuatkan arusnya sebelum menuju ke speaker.

3.1.1 Sistem Perangkat Keras

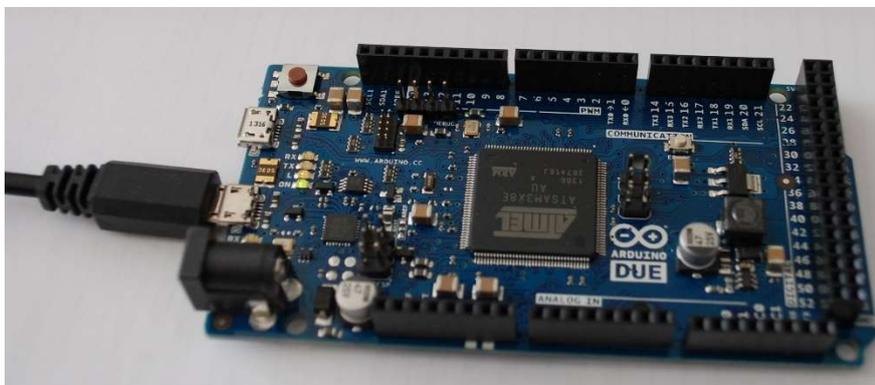
Perangkat keras yang telah dirancang kali ini, terdiri dari susunan speaker yang berfungsi sebagai *output* sinyal suara dari sistem *Audio Beam Steering*. Perancangan sistem bagian inti menggunakan mikrokontroler Arduino Due sebagai pengatur *delay*, *logic converter* sebagai pengkonversi level tegangan dan *switching* untuk melakukan pensaklaran speaker. Penggunaan amplifier ditujukan sebagai penguat sinyal yang keluar dari mikrokontroler. Sinyal yang dikuatkan amplifier dikeluarkan pada speaker, sehingga dihasilkan suara. Diagram blok dari sistem perangkat keras dapat ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Blok Sistem Perangkat Keras

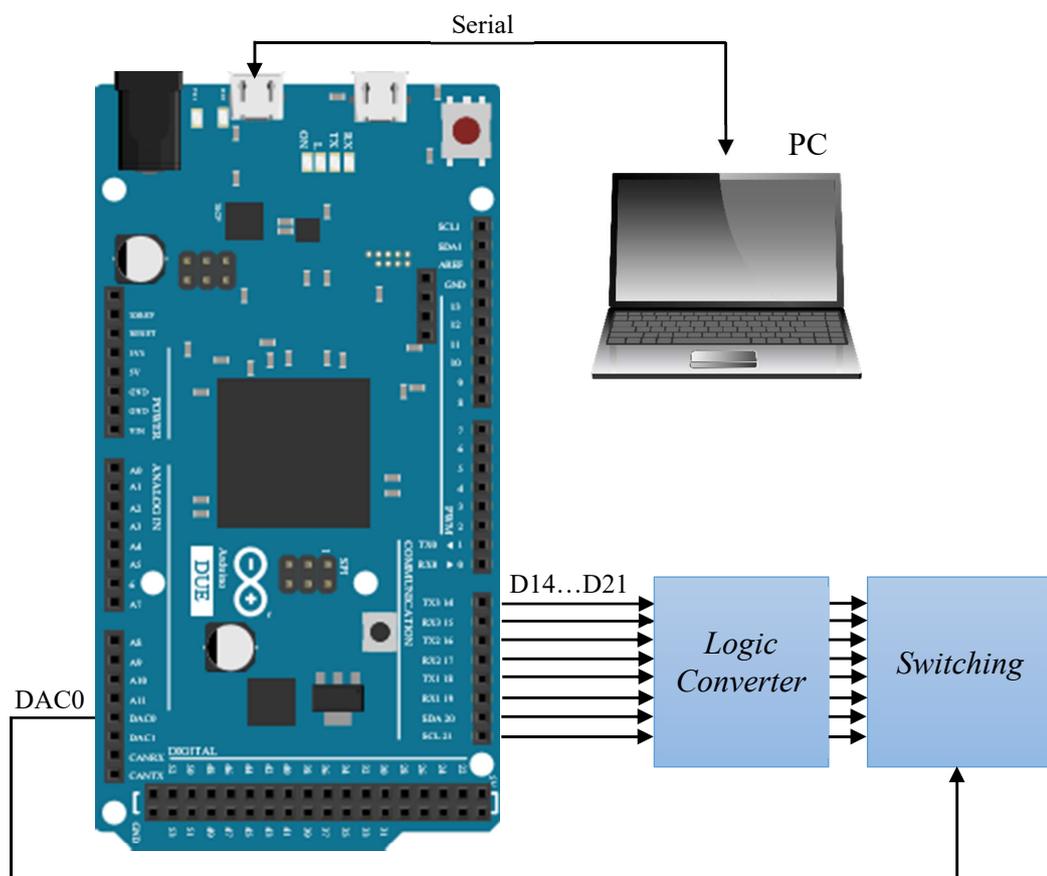
3.1.1.1 Mikrokontroler Arduino Due

Pada sistem perangkat keras, mikrokontroler bekerja sebagai otak pengendali dari keseluruhan sistem. Adapun mikrokontroler yang digunakan adalah Arduino Due yang menggunakan CPU *Atmel SAM3X8E ARM Cortex-M3*. Arduino Due merupakan mikrokontroler ARM 32-bit yang memiliki pin masukan/keluaran digital sebanyak 54 pin (12 pin dapat digunakan sebagai keluaran PWM), 12 pin masukan analog, 4 pin UART untuk komunikasi serial, pencacah waktu (*clock*) dengan frekuensi 84 MHz, koneksi dengan kemampuan USB OTG, 2 pin DAC (*digital to analog converter*), 2 pin TWI (*two wire interface*, kompatibel dengan I²C dari Phillips). Arduino Due digunakan untuk mengatur pensaklaran pada pengaktifan keluaran suara pada speaker. Arduino Due juga digunakan untuk mengatur sinyal keluaran suara pada speaker melalui pin DAC pada arduino. Pada sistem *Audio Beam Steering* (ABS), Arduino Due digunakan untuk menghitung dan mengatur *delay* pengaktifan speaker. Arduino Due menyediakan pin UART untuk berkomunikasi secara serial dengan PC dengan kecepatan data (*baudrate*) sebesar 9600 bps. Mikrokontroler Arduino Due yang digunakan pada sistem perangkat keras ABS ditunjukkan oleh Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Arduino Due

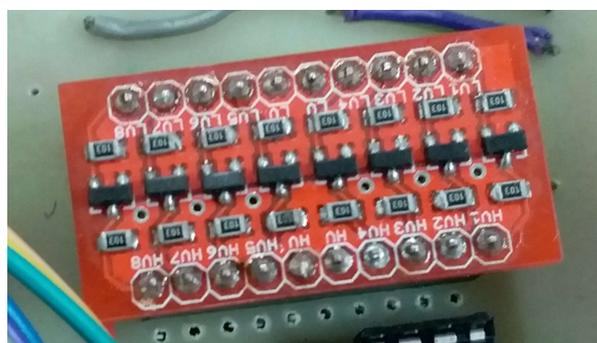
Sinyal perintah pada pensaklaran untuk pengaktifan speaker dikirimkan oleh mikrokontroler Arduino Due melalui pin keluaran digital ke-14 (D14) sampai ke-21 (D21), yaitu PORTD.4, PORTD.5, PORTA.13, PORTA.12, PORTA.11, PORTA.10, PORTB.12, dan PORTB.13. Pengaturan sinyal keluaran pada pin digital D14 sampai D15 digunakan untuk men-drive blok *switching* melalui pengaturan level tegangan dengan menggunakan blok *logic converter*. Pengaturan sinyal keluaran pada pin digital arduino dilakukan dengan mengeluarkan sinyal PWM pada blok *logic converter*. Sinyal PWM yang dikirimkan oleh arduino akan mengatur pengaktifan setiap speaker, berdasarkan pengaturan *delay* antar speaker, untuk mengeluarkan suara. Susunan pin keluaran digital pada mikrokontroler Arduino Due ditunjukkan pada Gambar 3.3. Pengaturan amplitudo sinyal keluaran suara pada speaker dilakukan oleh Arduino Due melalui pin DAC dengan mengatur besarnya nilai DAC sinyal keluaran.



Gambar 3.3 Konfigurasi Pin pada Arduino Due

3.1.1.2 *Logic Level Converter*

Logic Level Converter merupakan sebuah modul pengubah nilai tegangan *logic* dari pin *Input/Output* (I/O) sebuah mikrokontroler dengan menggunakan mosfet BSS138. Dimana modul ini mengubah nilai tegangan 5V menjadi 3.3V atau sebaliknya mengubah nilai tegangan 3.3V menjadi 5V. Pada penelitian ini digunakan mikrokontroler Arduino Due, dimana setiap pin output hanya mampu memberi tegangan 3.3V untuk logika 1. Setiap pin *High Voltage* (HV) pada *Logic Level Converter* dihubungkan dengan pin pada blok *switching* yang menggunakan tegangan 5V untuk pin I/O-nya. Sedangkan setiap pin *Low Voltage* (LV) dihubungkan dengan pin *output* pada Arduino Due yang menggunakan tegangan 3.3V. Masing-masing pin yang terhubung dengan pin *output* Arduino Due digunakan untuk memilih pengaktifan speaker. Cara kerja modul *Logic Level Converter* ini, jika Arduino Due mengirimkan sinyal HIGH (3.3V), maka *Logic Level Converter* akan aktif dan akan menghasilkan sinyal HIGH pada pin HV (5V) sesuai dengan *channel* yang digunakan. Dan sebaliknya juga, jika Arduino Due mengirimkan sinyal LOW (0V) maka akan dihasilkan tegangan LOW (0V) pada pin HV yang terhubung ke blok *switching*. *Logic Level Converter* juga dapat digunakan pada jalur sebaliknya. Jika salah satu pin HV mengirimkan sinyal HIGH (5V) maka pin LV yang terhubung ke Arduino Due juga akan menghasilkan sinyal HIGH menjadi 3.3V. Jika salah satu pin HV mengirimkan sinyal LOW (0V) maka pin LV yang terhubung ke Arduino Due juga akan menghasilkan sinyal LOW menjadi 0V.



Gambar 3.4 Modul *Logic Level Converter*

Untuk menghubungkan kedua perangkat yang berbeda level tegangan tersebut sangat diperlukan modul ini, sehingga dapat mencegah

ah kerusakan pada perangkat dengan tegangan IO lebih rendah dan menjaga kestabilan komunikasi diantara kedua perangkat tersebut.

Logic Level Converter digunakan untuk mengubah level tegangan, sebab keluaran mikrokontroler hanya 3.3V sedangkan blok *Switching* dapat bekerja dengan tegangan masukan 5V. Sehingga, *Logic Level Converter* diperlukan untuk menaikkan tegangan dari mikrokontroler 3.3V menjadi 5V.

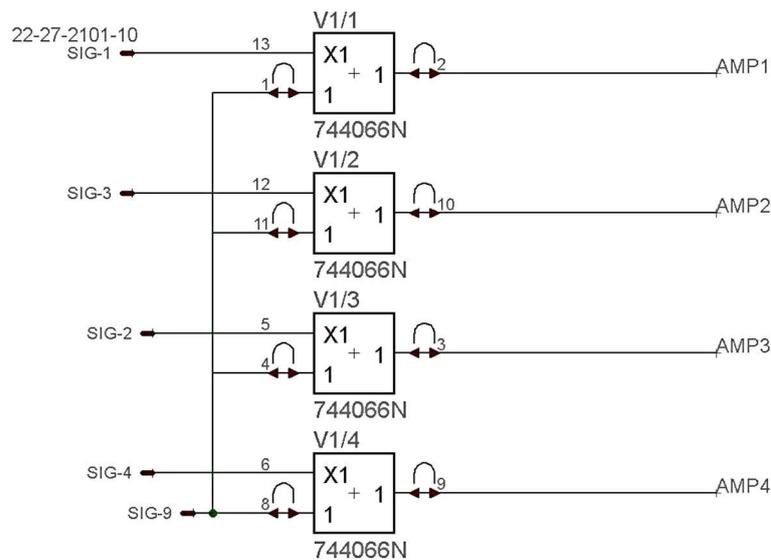
3.1.1.3 *Switching*

Dalam pembuatan alat *Audio Beam Steering*, tidak terlepas dari memanipulasi fasa dari setiap loudspeaker atau mengatur penundaan suara yang keluar dari sumber suara. Untuk melakukan pengarahan suara ke arah tertentu, peneliti memerlukan IC *switching* 74HC4066N untuk fungsi pensaklaran, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.5.

Penggunaan IC *switching* ditujukan untuk mengatur waktu pengaktifan sinyal yang akan dikeluarkan ke speaker. Pengaturan pengaktifan berdasarkan sinyal PWM yang dikeluarkan oleh pin Arduino Due, sehingga sinyal yang dikeluarkan IC *switching* sesuai dengan pengarahan yang diinginkan. Tanpa penggunaan IC *switching* sinyal suara tidak dapat diarahkan. Gambar 3.6 menunjukkan konfigurasi IC *switching* yang digunakan. Pin SIG1 – SIG4 merupakan sinyal PWM dari arduino yang mengatur pengaktifan sinyal suara sedangkan pin SIG 9 merupakan pin penyalur sinyal suara yang akan dikeluarkan.



Gambar 3.5 IC *Switching* 74HC4066N



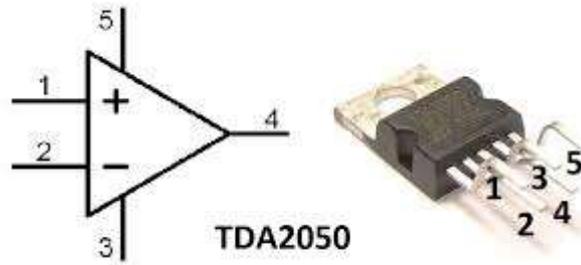
Gambar 3.6 Konfigurasi Pin 74HC4066N

Pada Gambar 3.6, sinyal keluaran pada SIG9 akan diteruskan pada pin keluaran sinyal dari IC *switching* (AMP1, AMP2, AMP3, AMP4) ketika saklar terbuka (ON). Sinyal keluaran dari IC *switching* dialirkan menuju blok penguat (*amplifier*) untuk dikuatkan amplitudo sinyalnya dan diubah menjadi sinyal sinusoidal untuk mengeluarkan suara pada speaker.

3.1.1.4 Amplifier Kelas AB

Amplifier merupakan rangkaian elektronika yang dapat meningkatkan daya suatu sinyal. Amplifier dapat menguatkan tegangan, arus, bahkan tegangan dan arus suatu sinyal. Penguatan ini diperoleh dari sumber daya yang kemudian mencocokkan bentuk sinyal output dengan sinyal input dengan penguatan beberapa kali. Amplifier memiliki beberapa kelas, dan yang digunakan dalam penelitian kali ini adalah amplifier dengan kelas AB.

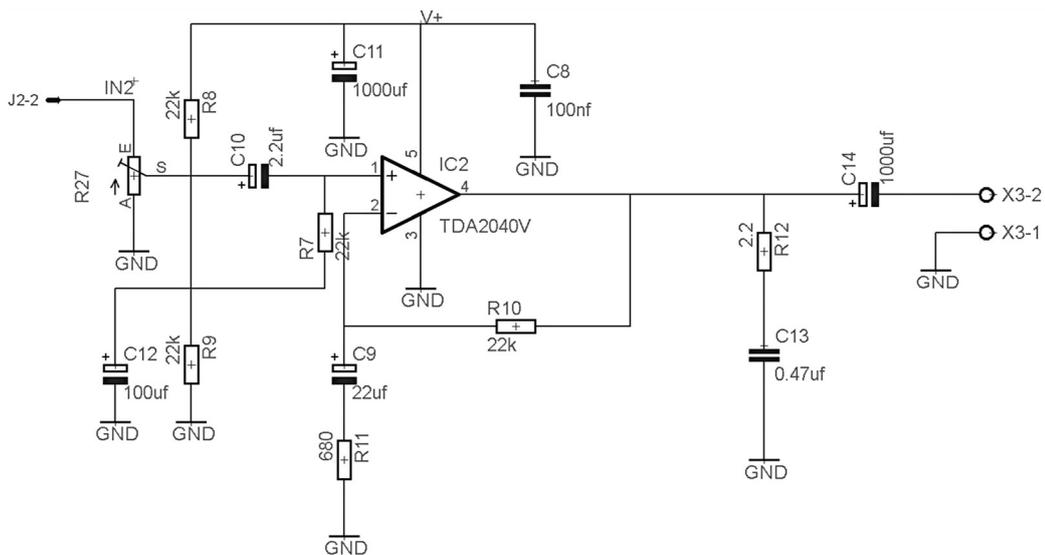
Dengan menempatkan titik kerja rangkaian power amplifier kelas AB berada diantara titik kerja kelas A dan kelas B seperti terlihat pada grafik Gambar 2.11. Penguat kelas AB dimaksudkan mendapatkan karakteristik dasar gabungan dari amplifier kelas A dan amplifier kelas B.



Gambar 3.7 Amplifier TDA2050

Pada sistem perangkat keras ini diperlukan penguat akhir dengan tujuan untuk memperkuat sinyal keluaran mikrokontroler yang tidak mampu untuk menggetarkan konus speaker. Keluaran yang dihasilkan oleh amplifier adalah berupa sinyal sinusoidal, sebab speaker hanya bisa bekerja dengan sinyal dalam bentuk gelombang sinus. Sehingga sinyal yang dihasilkan dari amplifier dapat menyalakan speaker.

Amplifier yang digunakan dalam penelitian ini adalah TDA2050. TDA2050 merupakan penguat audio kelas AB dengan daya output maksimal hingga 32Watt untuk impedansi beban sebesar 8 ohm, THD 10%, suplai tegangan $\pm 22V$, dan frekuensi 1kHz. Amplifier ini dapat diaplikasikan pada penggunaan speaker dengan ukuran 5 hingga 12 inch.



Gambar 3.8 Rangkaian Amplifier kelas AB

Pada amplifier ini digunakan pendingin (*heatsink*) yang besar untuk mengoptimalkan penyerapan panas dan menjaga suhu komponen amplifier agar tetap dingin, sehingga dapat meningkatkan performansi kerja dari amplifier. Sebab, kebanyakan IC amplifier dengan casing pentawatt akan menghasilkan panas yang besar.

Amplifier TDA2050 memiliki jumlah kaki sebanyak 5 pin dengan casing pentawatt, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.7. Tegangan kerja dari TDA2050 adalah sebesar $\pm 4.5V$ hingga $\pm 25V$. Semakin besar tegangan yang dipakai akan semakin besar pula daya yang bisa dihasilkan. Sedangkan pada penelitian ini digunakan suplai tegangan kerja sebesar $\pm 12V$. Rangkaian amplifier TDA2050 dapat ditunjukkan pada Gambar 3.8. Sinyal masukan pada J2-2 (IN2) berasal dari keluaran IC *switching*. Pada penelitian digunakan kapasitor kopling C10 sebesar 2.2uF dan C14 sebesar 1000uF. Penggunaan kapasitor kopling ditujukan agar dapat menghubungkan sinyal AC ke penguat tanpa mengganggu titik Q. Kapasitor kopling digunakan untuk menapis sinyal DC dan melewatkan sinyal AC agar dapat dihasilkan keluaran sinyal sinusoidal, sehingga dapat menggerakkan konus pada speaker. Sedangkan modul rangkaian amplifier yang telah dirancang dapat ditunjukkan pada Gambar 3.9.



Gambar 3.9 Modul Rangkaian Amplifier

3.1.1.5 Speaker

Speaker merupakan sebuah transduser *elektroacoustical* yang mengubah sinyal listrik ke bentuk getaran suara. Speaker membawa sinyal listrik dan mengubahnya kembali menjadi getaran-getaran fisik untuk menghasilkan gelombang-gelombang suara. Loudspeaker sebagai media output yang mengeluarkan sinyal suara yang berasal dari amplifier. Speaker yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari 4 buah loudspeaker dengan ukuran 5 inch, impedansi 8 ohm dan daya maksimal 30W, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.10. Speaker disusun berjajar ke arah horizontal dengan jarak antar speaker 15 cm. Susunan speaker dapat ditunjukkan pada Gambar 3.11.

Pin masukan speaker terhubung dengan keluaran rangkaian amplifier, sepertinya ditunjukkan pada Gambar 3.8. Speaker terhubung pada pin keluaran amplifier X3-2 dan X3-1. Keempat loudspeaker digunakan untuk mengeluarkan suara sesuai dengan fungsi kerja pengarahan suara yang telah diatur dari mikrokontroler. Keluaran dari speaker pada alat *Audio Beam Steering* berupa bunyi atau suara yang dapat didengar oleh pendengar (*audience*).



Gambar 3.10 Speaker 5 inch



Gambar 3.11 Susunan Speaker Secara Horizontal

3.1.1.6 Perancangan Speaker Array

Pada bagian perancangan deret loudspeaker ini digunakan empat buah speaker yang disusun berderet secara horisontal. Untuk menghindari *grating lobes*, maka jarak antar speaker bisa ditentukan dengan menggunakan perhitungan pada Persamaan 3.1,

$$d \leq \frac{\lambda}{1 + \sin \theta_{\max}} \quad (3.1)$$

Dimana d adalah jarak antar speaker (meter), λ adalah panjang gelombang (meter), θ adalah sudut pengarah (dalam derajat) sesuai dengan teori (Anderson dkk 2012).

Karena frekuensi sinyal sinusoidal yang digunakan sebesar 1kHz, maka besarnya panjang gelombang bisa ditentukan dengan menggunakan perhitungan pada Persamaan 3.2,

$$\lambda = \frac{1}{f} c \quad (3.2)$$

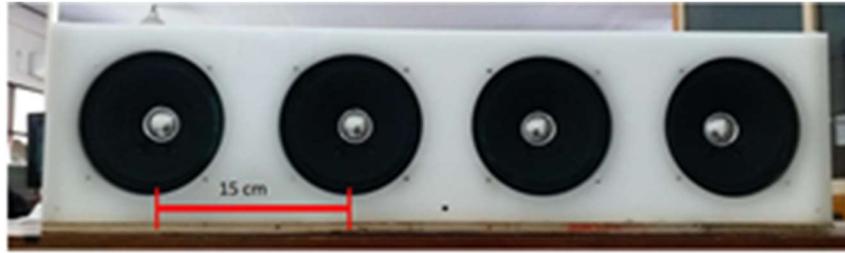
dimana λ adalah panjang gelombang (meter), f adalah frekuensi (Hz), dan c adalah besarnya kecepatan suara (343.3 m/s). Sehingga besarnya panjang gelombang yang dihasilkan dapat ditunjukkan pada Persamaan 3.3,

$$\lambda = \frac{1}{1kHz} * \frac{343,3m}{s} = 0,3m \quad (3.3)$$

Sehingga, berdasarkan Persamaan 3.1 dan hasil perhitungan pada Persamaan 3.3, maka panjang jarak antar speaker dapat dihitung, seperti yang ditunjukkan pada Persamaan 3.4,

$$\lambda \leq \frac{0,3}{1 + \sin 90} \leq \frac{0,3}{1 + 1} \leq 15cm \quad (3.4)$$

Berdasarkan hasil perhitungan pada Persamaan 3.4, maka dapat ditentukan besarnya jarak antar speaker yaitu sebesar 15 cm. Susunan dari deret speaker dapat ditunjukkan pada Gambar 3.12.

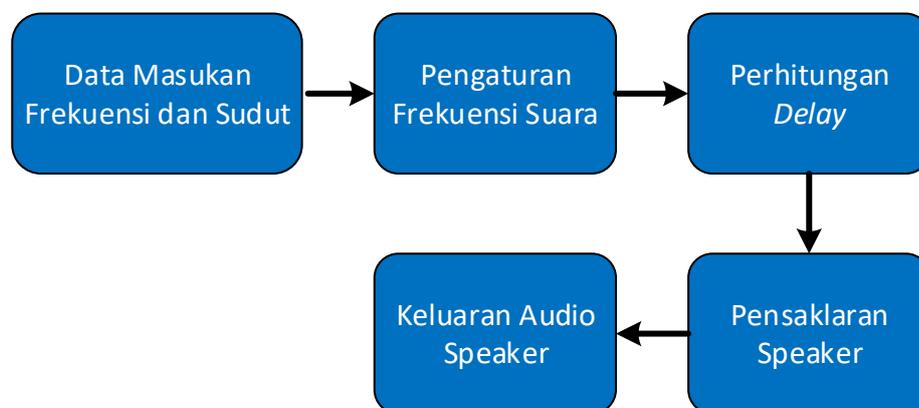


Gambar 3.12 Rancangan Deret Loudspeaker

Agar dapat mengimplementasikan teknik *Audio Beam Steering*, maka banyaknya speaker yang digunakan adalah minimal dua buah. Dalam penelitian ini digunakan speaker sebanyak empat buah, dikarenakan sudah mencukupi untuk luasnya ruang yang diamati. Speaker yang digunakan mempunyai hambatan 8 ohm dan daya 30 watt, dengan diameter sebesar 10cm. Susunan speaker dengan menggunakan empat buah speaker sudah mencukupi, sebab intensitas suara sudah dapat mencapai ujung ruang ketika menggunakan amplifier dengan penguatan maksimal.

3.1.2 Sistem Perangkat Lunak

Audio Beam Steering ini menggunakan frekuensi suara yang dapat didengar oleh telinga manusia. Sinyal suara yang diinginkan yaitu berupa sinyal sinusoidal dengan frekuensi 1 kHz. Pengolahan data dilakukan untuk mengatur frekuensi sinyal keluaran dan menentukan sudut pengarahannya dalam melakukan perhitungan *delay*. Proses pengolahan dan pengaturan suara yang dilakukan pada sistem *Audio Beam Steering* dapat ditunjukkan pada Gambar 3.13.



Gambar 3.13 Diagram Blok Sistem Perangkat Lunak

3.1.2.1 Data Masukan

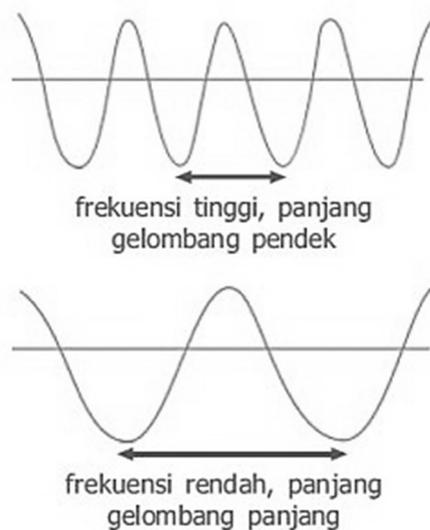
Data masukan yang digunakan pada sistem *Audio Beam Steering* berupa data frekuensi dan sudut pengarah. Data frekuensi digunakan untuk mengatur frekuensi sinyal keluaran pada speaker. Sedangkan data sudut pengarah digunakan dalam perhitungan waktu tunda (*delay*) pengaktifan speaker untuk dilakukan pengarah suara. Pengaturan nilai frekuensi dan sudut dilakukan pada antarmuka GUI pada PC. Sedangkan pengolahan data dari nilai frekuensi dan sudut dilakukan pada mikrokontroler Arduino Due. Data frekuensi dan sudut yang diatur dari antarmuka GUI pada PC dikirimkan ke mikrokontroler melalui komunikasi data serial.

3.1.2.2 Pengaturan Frekuensi Suara

Pengaturan frekuensi suara dilakukan untuk menentukan besarnya frekuensi gelombang sinusoidal yang dihasilkan oleh sistem *Audio Beam Steering*. Pada penelitian ini dilakukan pengaturan nilai frekuensi sebesar 1kHz. Sedangkan besarnya nilai frekuensi sampling yang digunakan adalah lebih dari dua kali frekuensi sinyal keluaran. Pengaturan nilai frekuensi gelombang sinus dapat diatur dari antarmuka GUI sistem *Audio Beam Steering*.

Penggunaan nilai frekuensi pada sinyal gelombang sinus yang berbeda akan menghasilkan keluaran suara yang berbeda juga pada speaker. Besar kecilnya nilai frekuensi yang digunakan akan menentukan tinggi rendahnya nada pada suatu bunyi / suara. Semakin besar frekuensinya, maka akan semakin tinggi nadanya. Sebaliknya, semakin kecil frekuensinya, maka akan semakin rendah nadanya. Pengaruh dari pengaturan nilai frekuensi terhadap tinggi rendahnya nada, dapat ditunjukkan pada Gambar 3.14.

Kuat kerasnya suara tergantung pada besarnya amplitudo sinyal keluaran. Pengaturan besarnya amplitudo menentukan tingkat volume suara. Pengaturan volume suara dapat dilakukan pada antarmuka GUI sistem *Audio Beam Steering*. Semakin besar amplitudo sinyal keluaran, maka semakin keras suara yang terdengar. Sebaliknya, semakin kecil amplitudo sinyal keluaran, maka semakin lemah suara terdengar.



Gambar 3.14 Pengaruh Pengaturan Frekuensi Suara

Selain itu, keras lemahnya suara juga bergantung pada jarak terhadap sumber suara, semakin dekat dengan sumber suara, maka suara terdengar semakin keras. Sebaliknya, semakin jauh dari sumber suara, maka semakin lemah suara yang terdengar.

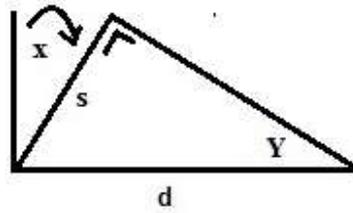
3.1.2.3 Perhitungan *Delay*

Perhitungan *delay* didasarkan pada dasar teori Audio Beam Steering, yang mengharuskan salah satu speaker menggunakan waktu tunda (*delay*) tersebut agar pada akhir *delay*, speaker mengeluarkan gelombang suara secara koheren dengan speaker lainnya. Berdasarkan Gambar 3.15, jumlah dari keseluruhan sudut segitiga adalah sebesar 180° . Maka dapat dihitung besarnya sudut yang dicari yaitu sama dengan sudut 180° dikurangi dengan 90° (sudut siku) dan $90^\circ - x$, dimana x adalah sudut yang dicari. Penjelasan tersebut dapat dilihat dari gambar segitiga pada Gambar 3.15.

Penentuan besarnya nilai sudut yang dicari (x) dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.5 dan Persamaan 3.6,

$$Y = 180^\circ - (90^\circ - x) - 90^\circ \quad (3.5)$$

$$Y = x \quad (3.6)$$



Gambar 3.15 Perhitungan Sudut Pengarahan

Dari Persamaan 3.6, dapat ditunjukkan bahwa sudut pengarahan yang dicari (x) sama dengan sudut Y pada segitiga. Maka, besarnya *delay* dari sinyal suara speaker yang terlebih dahulu mengeluarkan suara dapat dihitung berdasarkan Persamaan 3.7 sampai Persamaan 3.10,

$$\sin x = \frac{s}{d} \quad (3.7)$$

$$s = d \sin x \quad (3.8)$$

$$c\tau = d \sin x \quad (3.9)$$

$$\tau = \frac{d \sin x}{c} \quad (3.10)$$

dimana s adalah panjang gelombang suara (m), c adalah kecepatan suara (m/s), τ adalah besarnya *delay* (s).

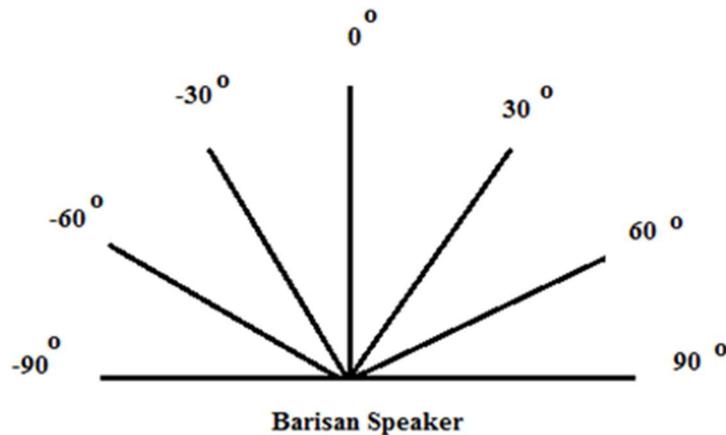
Dari Persamaan 3.10, maka dapat diketahui selisih waktu yang diinginkan atau besarnya *delay* antara speaker. Nilai jarak antara speaker diperlukan dalam perhitungan mencari lamanya *delay*. Jarak antar speaker yang digunakan pada desain penelitian ini adalah sebesar 15 cm atau 0.15 m. Maka besarnya *delay* untuk pengarahan sudut 30 derajat, dapat dihitung pada Persamaan 3.11,

$$\tau = \frac{d \sin \theta}{c} = \frac{0.15(\sin 30)}{343.3} = 220 \mu S \quad (3.11)$$

Beberapa nilai sudut pengarahan digunakan untuk mencari nilai *delay* yaitu sudut 30°, 60° dan 90°. Hasil perhitungan nilai *delay* pada beberapa nilai sudut pengarahan dapat ditunjukkan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Hasil Perhitungan *Delay*

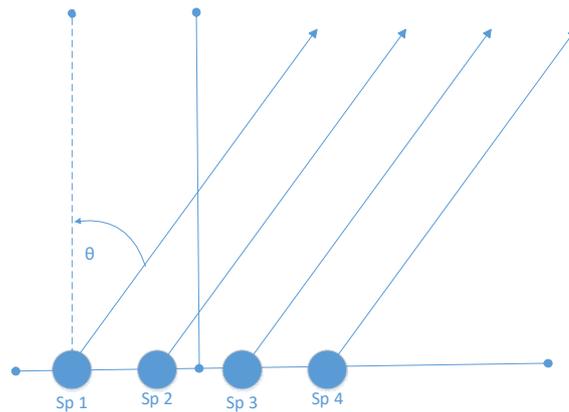
Sudut (°)	Delay (uS)
30	220
60	480
90	440



Gambar 3.16 Penentuan Sudut Untuk Pengambilan Data

Pengambilan sampel juga dilakukan pada sudut yang berlawanan. Sudut pengarahan ditentukan dari titik tengah barisan speaker. Arah kanan dari titik tengah speaker ditentukan sebagai sudut positif dan arah kiri sebagai sudut negatif. Penentuan sudut untuk pengambilan data dapat dilihat pada Gambar 3.16.

Nilai delay dari sudut negatif, sama dengan nilai *delay* pada sudut positif. Akan tetapi, speaker yang mula-mula mengeluarkan suara, berkebalikan dengan sudut positif. Setelah didapatkan nilai *delay* pada masing-masing sudut pengujian, maka sinyal sinus dengan panjang gelombang 1ms (1000 μ s) dibagi menjadi 100 bagian, sehingga menjadi 10 μ s perbagian. Waktu 10 μ s adalah periode dari sinyal PWM. Dengan melakukan pembagian sinyal sinus, maka waktu mulai sinyal bisa ditentukan dengan nilai *delay* yang sudah ditentukan. Konfigurasi deret speaker dengan empat buah speaker dapat ditunjukkan pada Gambar 3.17.



Gambar 3.17 Ilustrasi dari Konfigurasi Deret Loudspeaker

Penentuan bentuk awal gelombang sinus untuk sinyal yang ter-*delay*, dapat ditentukan dengan cara merubah nilai variabel awal dalam program menjadi nilai *delay*. Apabila arah yang diinginkan 30° , maka speaker yang mengeluarkan sinyal pertama memiliki variabel awal (misal i) = 0, dan variable speaker selanjutnya (misal j) = 100-22. Dan berlanjut kelipatan nilai *delay* untuk speaker selanjutnya.

3.1.2.4 Pensaklaran Speaker

Pensaklaran pada speaker dimaksudkan untuk mengaktifkan speaker mana saja yang digunakan untuk mengeluarkan suara. Sehingga dengan adanya pengaturan delay pada setiap speaker, akan dihasilkan sinyal gelombang suara yang koheren dan mengarah pada sudut tertentu sesuai yang dimasukkan pada sistem. Pensaklaran pada speaker dilakukan dengan menggunakan sinyal *Pulse Wide Modulation* (PWM) dengan mengatur besarnya siklus kerja (*duty cycle*) sebesar 50%. Pada setiap pengiriman sinyal PWM, di-*delay* sesuai dengan perhitungan yang telah dilakukan untuk masing-masing speaker. Sinyal PWM yang dihasilkan akan mengatur sinyal masukan pada amplifier, sehingga dihasilkan sinyal sinusoidal pada keluaran amplifier.

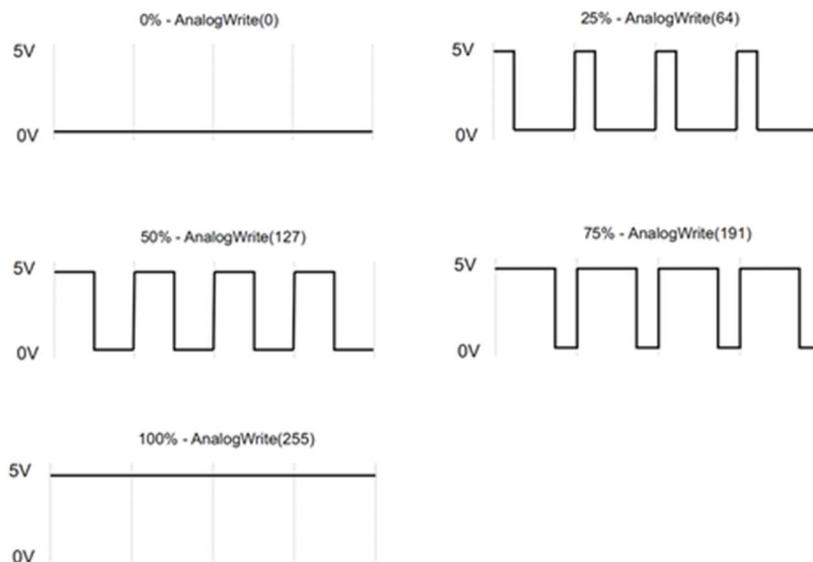
Sinyal sinusoidal dibentuk berdasarkan sinyal PWM sinusoidal. PWM pada arduino bekerja pada frekuensi 500Hz, artinya 500 siklus/ketukan dalam satu detik. Untuk setiap siklus, kita bisa memberi nilai dari 0 hingga 255. Ketika kita memberikan angka 0, berarti pada pin tersebut tidak akan pernah bernilai 5 volt (pin selalu bernilai 0 volt). Sedangkan jika kita memberikan nilai 255, maka sepanjang siklus akan bernilai 5 volt (tidak pernah 0 volt). Jika kita memberikan nilai 127 (kita

anggap setengah dari 0 hingga 255, atau 50% dari 255), maka setengah siklus akan bernilai 5 volt, dan setengah siklus lagi akan bernilai 0 volt. Sedangkan jika jika memberikan 25% dari 255 ($1/4 * 255$ atau 64), maka 1/4 siklus akan bernilai 5 volt, dan 3/4 sisanya akan bernilai 0 volt, dan ini akan terjadi 500 kali dalam 1 detik. Untuk visualisasi siklus PWM, dapat dilihat pada Gambar 3.18.

Sinyal sinus dibentuk dengan cara merubah-ubah tegangan efektif yang keluar dari PWM. Cara ini disebut cara sinusoidal PWM. Rumus tegangan efektif adalah *duty cycle* dikali dengan tegangan output pin mikrokontroller yaitu sebesar 5V. Maka dari itu akan dibuat perhitungan supaya hasil tegangan efektif yang keluar dari sinyal PWM bisa berbentuk sinus. Berikut adalah rumus untuk mencari nilai yang akan dimasukkan dalam register OCR1A dan OCR1B supaya menghasilkan *duty cycle* yang nantinya akan membentuk sinyal dengan tegangan efektif yang menyerupai sinyal sinus. Rumus tegangan efektif supaya berbentuk gelombang sinus ditunjukkan pada Persamaan 3.12,

$$V_{eff} = 2.5 + \left(2.5 \sin\left(\frac{2\pi\theta}{100}\right) \right) \quad (3.12)$$

dimana V_{eff} adalah tegangan efektif pin PWM (Volt), 2π adalah total sudut gelombang sinus (360°), θ adalah sudut yang dicari (dalam satuan derajat).



Gambar 3.18 Siklus Sinyal PWM Pada Arduino

Persamaan 3.12 menggunakan pertambahan 2.5 dengan tujuan untuk dijadikan titik tengah gelombang sinus. Hal tersebut karena nilai tegangan pin PWM hanya antara 0V dan 5V . Perkalian dengan 2.5 dipakai karena nilai sinus hanya antara 0 sampai 1. Dan pembagian dengan nilai 100 untuk tujuan perhitungan *delay*. Setelah menemukan nilai tegangan efektif yang membentuk sinyal sinus, maka dicarilah *duty cycle* dari *pwm* yang menghasilkan tegangan efektif tersebut. Perhitungan untuk mencari *duty cycle* dari PWM dapat ditunjukkan pada Persamaan 3.13 dan Persamaan 3.14,

$$V_{eff} = V \cdot DC \quad (3.13)$$

$$DC = \frac{V_{eff}}{V} \quad (3.14)$$

dimana *DC* adalah *duty cycle* (%), *V* adalah tegangan maksimal pin arduino (5V).

Untuk mencari nilai register OCR1A/OCR1B, maka dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.15 sampai Persamaan 3.17,

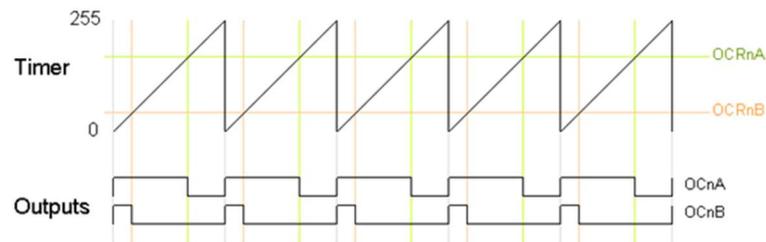
$$DC = \frac{OCRx}{TOP} \quad (3.15)$$

$$DC = \frac{OCRx}{79} \quad (3.16)$$

$$OCRx = DC \cdot 79 \quad (3.17)$$

Nilai-nilai yang akan digunakan register OCR1A dan OCR1B akan disimpan di *lookup table* dan disimpan pada memory penyimpanan di mikrokontroler untuk menghemat tempat.

Bentuk dan frekuensi dari PWM ditentukan dari frekuensi gelombang sinus yang digunakan, yaitu 1kHz. Dari 1kHz gelombang sinus maka didapatkan periode sebesar 1ms (*mili second*) atau yang setara dengan 1.000us (*micro second*). Dari panjang gelombang ini sinus dibagi menjadi 100 bagian, yaitu menjadi 10 us perbagian untuk keperluan pembentukan *delay*. Pembentukan sinyal PWM dalam mikrokontroler dapat ditunjukkan pada Gambar 3.19.



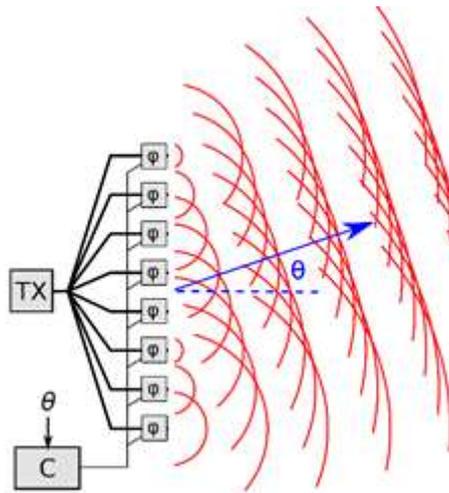
Gambar 3.19 Pembentukan PWM

Gambar 3.19 menunjukkan pembentukan PWM dengan cara mengisi register OCRnA/B pada timer1 mikrokontroler dan menggunakan mode *compare match* (sinyal PWM akan terbentuk ketika nilai *timer* sama dengan nilai OCRnA/B). Maka untuk mendapatkan panjang gelombang PWM sebesar $10\mu\text{s}$, digunakan mode *fast* PWM dengan nilai TOP (nilai maksimal) menggunakan register ICR1 dan menggunakan menggunakan register OCR1A dan OCR1B dari timer1 sebagai batasan *mode compare match*. Nilai yang tersimpan dalam ICR1 dihitung dengan cara menghitung nilai clock yang digunakan *Timer/Counter1* yaitu sebesar 8 Mhz. Nilai setiap kenaikan *counter* yaitu sebesar 0.125 us , jadi untuk menjadi $10\mu\text{s}$ maka perlu 80 kali kenaikan. Maka dari itu nilai yang disimpan pada register ICR1 adalah 79 (karena penghitungan dimulai dari angka 0).

3.1.2.5 Keluaran Audio Speaker

Speaker akan mengeluarkan suara sesuai dengan pengaturan waktu penyalan speaker berdasarkan perhitungan *delay* untuk setiap speaker. Adanya penundaan yang berbeda dalam pengaktifan suara pada speaker akan menghasilkan sinyal keluaran gelombang suara yang koheren.

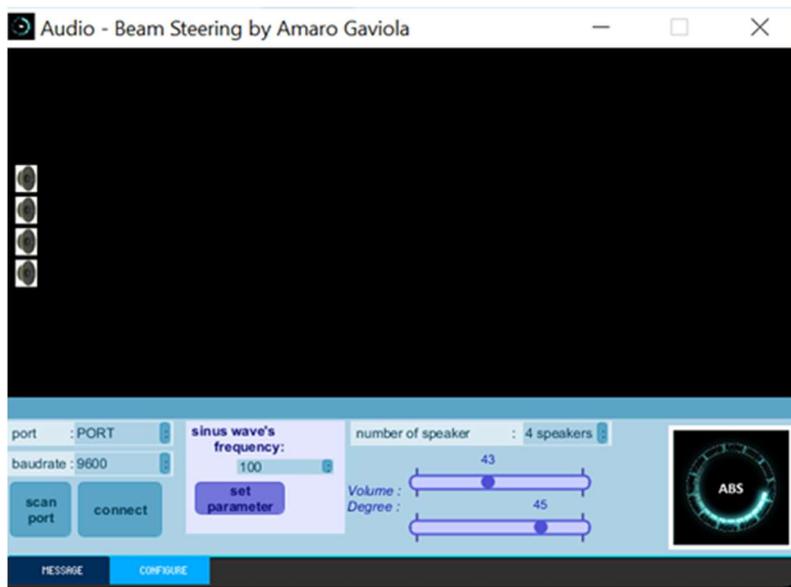
Sinyal keluaran yang koheren akan menghasilkan interferensi konstruktif, sehingga akan memperkuat keluaran suara pada sudut yang telah ditentukan. Ilustrasi keluaran gelombang suara dari setiap speaker pada sudut tertentu dapat ditunjukkan pada Gambar 3.20



Gambar 3.20 Ilustrasi Keluaran Gelombang Suara dari Setiap Speaker

3.2 Perancangan *Graphic User Interface* (GUI)

Pada perancangan GUI, digunakan *software* Processing dari Processing Foundation. Pada aplikasi GUI yang digunakan, *user* dapat menentukan arah tujuan pengiriman gelombang suara secara otomatis berdasarkan posisi titik yang terpilih di grafik yakni memasukkan data sudut dan frekuensi. Suara yang dikirimkan adalah pembangkitan sinyal PWM dari *oscillator* mikrokontroler. Hasil kalkulasi waktu tunda setiap loudspeaker akan dikirim ke pada mikrokontroler melalui jalur serial. Tampilan dari aplikasi antarmuka diperlihatkan pada Gambar 3.21.



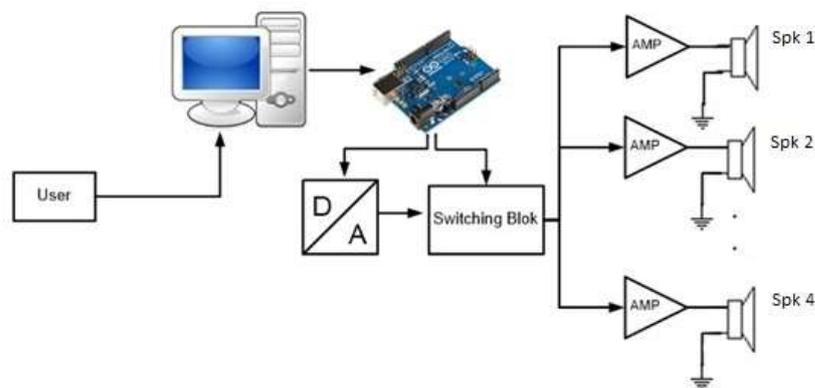
Gambar 3.21 Tampilan GUI Pada Sistem *Audio Beam Steering*

Pada Gambar 3.21, terdapat beberapa parameter yang diatur pada *tab* “Configure” dari tampilan GUI. Komunikasi serial data antara PC dengan mikrokontroler diatur dengan melakukan pemilihan port serial dan nilai *baudrate* yang telah ditentukan. Tombol “scan port” digunakan untuk mengetahui port serial dari mikrokontroler yang terhubung. Sedangkan tombol “connect” digunakan untuk memulai proses kirim terima data antara PC dengan mikronkontroler.

Pada tampilan GUI, terdapat pemilihan jumlah speaker yang digunakan dalam sistem *Audio Beam Steering*. Pengaturan frekuensi dilakukan dengan mengatur nilai pada *slide bar* “sinus wave’s frequency” sesuai yang diinginkan. Tombol “set parameter” digunakan untuk mengirimkan hasil pengaturan parameter dari sistem *Audio Beam Steering* ke mikrokontroler untuk dilakukan proses pengolahan data pada mikrokontroler. Pengaturan nilai sudut pengarahan dilakukan pada *slide bar* “degree” untuk memilih nilai sudut pengarahan dari -90° sampai $+90^\circ$. Sedangkan pengaturan volume dari speaker dapat dilakukan pada *slide bar* “volume” untuk memilih besarnya volume sesuai dengan besarnya nilai amplitudo sinyal keluaran speaker.

3.3 Integrasi Sistem *Audio Beam Steering*

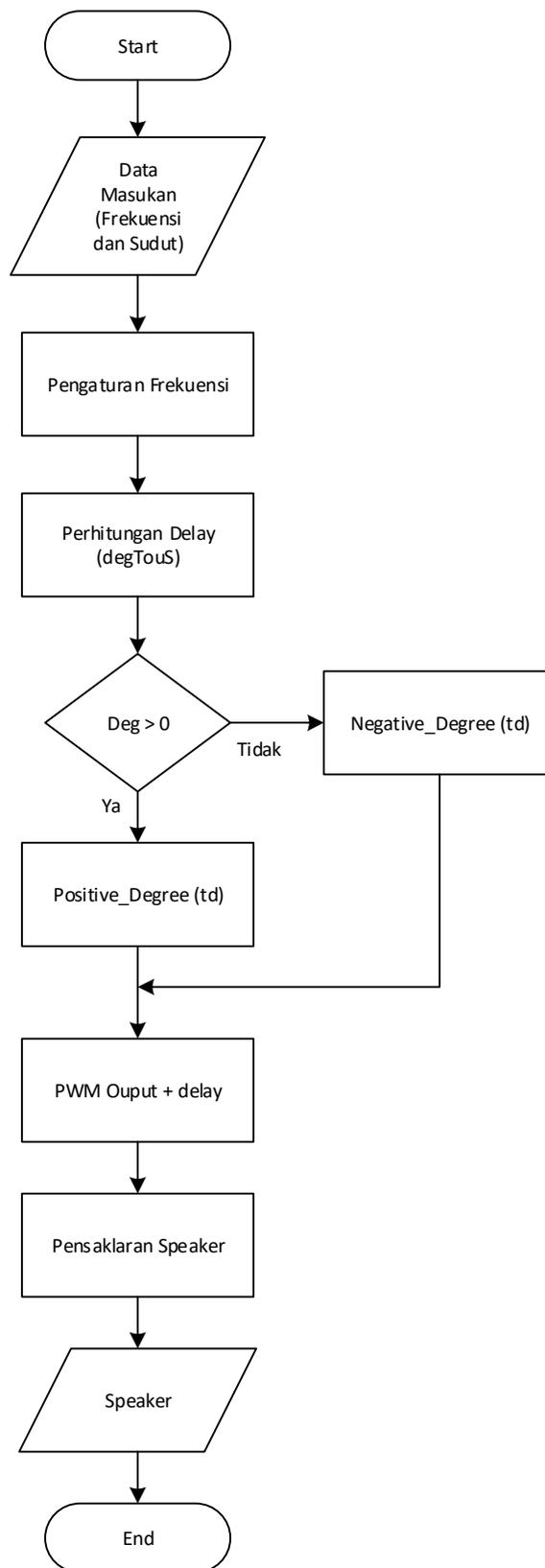
Agar sistem *Audio Beam Steering* bisa berjalan dan memberikan hasil sesuai tujuan yang diinginkan dalam melakukan pengarahan suara, maka diaplikasikan dengan melakukan integrasi atau mengkombinasikan dengan sistem GUI. Kedua sistem digabungkan untuk mempermudah *user* dalam mengakses sistem *Audio Beam Steering*, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.22.



Gambar 3.22 Diagram Integrasi Sistem Rancangan

Secara proses keseluruhan, *user* akan menentukan arah secara horisontal pada layar komputer, yaitu arah sudut yang harus dituju oleh sinyal suara yang dikirimkan oleh deret loudspeaker berdasarkan obyek yang dipilih oleh *user* dengan mengisi nilai sudut dan frekuensi pada aplikasi GUI tersebut. Lalu memilih *serial port*, *baudrate*, mengisi jumlah speaker yang digunakan, dan kemudian menekan tombol “*set parameter*”. Setelah semua pemilihan parameter sudah dipilih, maka data parameter dikirim ke Arduino Due untuk diolah. Sehingga, program yang diimplementasikan pada GUI digunakan untuk mengatur nilai dari tiap parameter dari sistem *Audio beam Steering*. Sedangkan program yang diimplementasikan pada arduino digunakan proses pengolahan data untuk membangkitkan sinyal keluaran pada tiap speaker. Diagram alir (*flowchart*) pada proses pengolahan data dari sistem *Audio Beam Steering* pada mikrokontroler, dapat ditunjukkan pada Gambar 3.23.

Pada Gambar 3.23, data masukan berupa nilai frekuensi dan sudut yang telah diatur pada tampilan GUI, digunakan sebagai parameter pada masukan sistem *Audio Beam Steering*. Nilai frekuensi yang telah ditentukan digunakan pada proses pengaturan frekuensi. Nilai frekuensi dari sinyal keluaran gelombang sinus yang telah diatur, digunakan dalam proses penentuan batas nilai *delay* (t_d) maksimum dan penentuan frekuensi sampling. Besarnya nilai frekuensi sampling harus lebih besar dari dua kali nilai frekuensi sinyal keluaran. Pada proses selanjutnya, nilai sudut, yang telah ditentukan pada tampilan GUI, digunakan dalam proses perhitungan nilai *delay*, sesuai dengan Persamaan 3.10. Proses perhitungan nilai *delay*, dilakukan pada fungsi program *degTouS*. Hasil perhitungan nilai *delay* yang telah didapat, digunakan untuk memberikan jeda waktu pada tiap speaker untuk mulai mengeluarkan suara. Urutan pengaktifan speaker untuk memulai pengeluaran suara, ditentukan berdasarkan nilai sudut pengarahan yang diberikan. Ketika sudut pengarahan berada pada nilai sudut positif, maka urutan pengaktifan speaker dimulai dari speaker paling kiri menuju speaker paling kanan. Sedangkan ketika sudut pengarahan berada pada nilai sudut negatif, maka urutan pengaktifan speaker dimulai dari speaker paling kanan menuju speaker paling kiri.



Gambar 3.23 Diagram Alir Pengolahan Data pada Sistem *Audio Beam Steering*

Proses pengaturan urutan pengaktifan speaker dilakukan pada fungsi program *Positif_Degree(td)* untuk sudut pengarah bernilai positif, dan *Negatif_Degree(td)* untuk sudut pengarah bernilai negatif. Berdasarkan urutan pengaktifan speaker yang telah ditentukan, maka dapat dilakukan proses pembangkitan sinyal PWM dari mikrokontroler dan pemberian *delay* pada speaker. Pembangkitan sinyal PWM digunakan untuk mengatur sinyal keluaran speaker. Sinyal PWM yang dibangkitkan dan nilai *delay* yang telah ditentukan, kemudian digunakan dalam proses pensaklaran untuk melakukan proses pengaktifan pada tiap-tiap speaker, sesuai dengan nilai *delay* yang diberikan. Sinyal keluaran, yang dihasilkan pada proses pensaklaran, dimasukkan pada terminal masukan speaker sehingga dihasilkan suara, sesuai dengan nilai frekuensi yang telah ditentukan.

3.4 Prosedur Pengambilan Data

Pengujian ini dilakukan dengan cara memilih pilihan parameter pada *Graphical User Interface*, kemudian diukur kekuatan suara dengan alat *Sound Level Meter* sejauh dua meter dari speaker terhadap sudut yang diinginkan. Pengukuran juga dilakukan pada jarak dan sudut lain yang berbeda, selain sudut yang dicari dengan tujuan membandingkan hasil pada tiap pengujian. Berbagai nilai jarak dan nilai sudut pengamatan yang digunakan pada pengujian, dapat ditunjukkan pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Berbagai Nilai Jarak dan Sudut Pengamatan pada Pengujian *Audio Beam Steering*

Jarak (cm)	Sudut Pengamatan (derajat)	Jarak (cm)	Sudut Pengamatan (derajat)
200	-60	500	-60
	-45		-45
	-30		-30
	0		0
	30		30
	45		45
	60		60

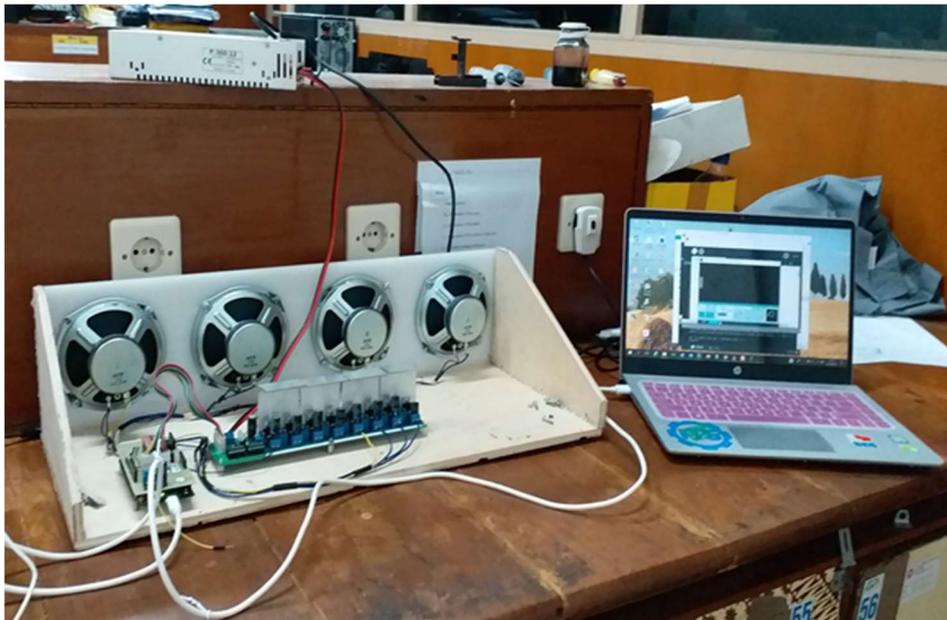
BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

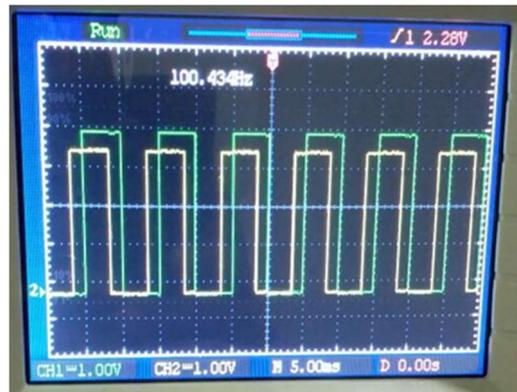
Pengujian sistem Audio Beam Steering terdiri dari beberapa bagian, yaitu pengujian perangkat keras dan perangkat lunak. Tujuan dari pengujian ini untuk mendapatkan parameter dari perancangan sistem tersebut. Perangkat keras *Audio Beam Steering* terdiri dari mikrokontroler sebagai penghasil sinyal gelombang PWM, *switching*, amplifier dan speaker.

4.1 Pengujian Metode *Phased Array*

Tujuan dari pengujian metode *phased array* pada *Audio Beam Steering* dilakukan untuk mendapatkan gambaran apakah sinyal hasil keluaran mikrokontroler sudah sesuai yang diharapkan atau belum. Proses pengujian sistem Audio Beam Steering, dapat ditunjukkan pada Gambar 4.1. Seperti yang dijelaskan sebelumnya, perbedaan fasa dilakukan dengan memasukan waktu tunda antar kanal yang berdekatan. Pada Gambar 4.2, dapat ditunjukkan contoh sinyal PWM yang diukur menggunakan *probe* untuk dilihat hasil keluaran di osiloskop.



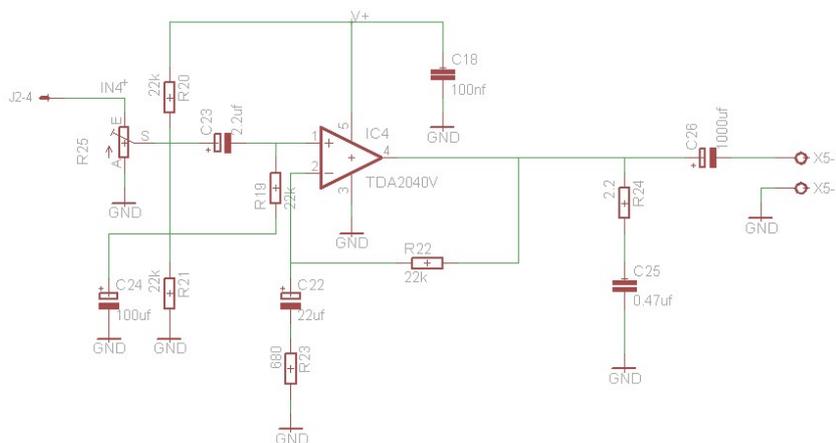
Gambar 4.1 Pengujian Sistem *Audio Beam Steering*



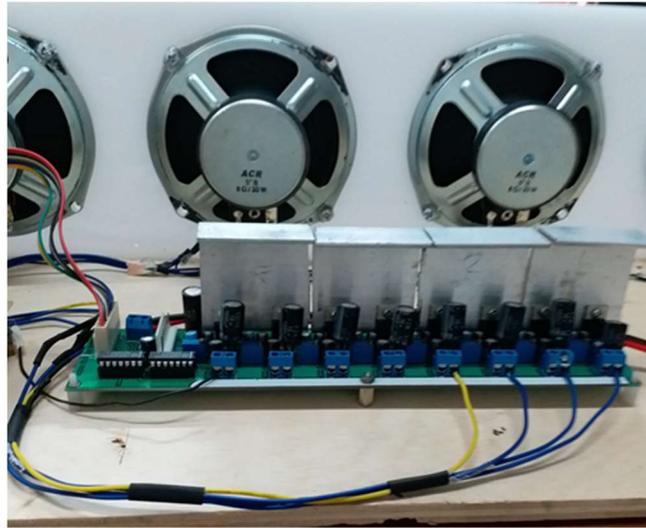
Gambar 4.2 Hasil Sinyal PWM dengan *Delay*

Hasil sinyal keluaran dari osiloskop menunjukkan bahwa ada penundaan fasa yaitu sinyal dari speaker ke-2 muncul setelah waktu tunda berakhir. Tetapi sinyal keluaran mikrokontroler tidak bisa langsung disambungkan ke speaker, karena batasan arus keluaran yang dimiliki. Maka dari itu akan digunakan rangkaian amplifier untuk memperkuat sinyal keluaran mikrokontroler. Amplifier yang digunakan adalah TDA2050. Gambar dari skematik pengujian rangkaian amplifier TDA2050, dapat ditunjukkan pada Gambar 4.3.

Amplifier pada Gambar 4.4 membutuhkan tegangan sebesar 12 volt dan dapat mengeluarkan sinyal suara dengan jelas sampai jarak 20 m penguatan maksimal. Input amplifier akan dipasang pada masing-masing pin keluaran pwm dari mikrokontroler dan output dari amplifier akan dipasang pada masing-masing speaker.



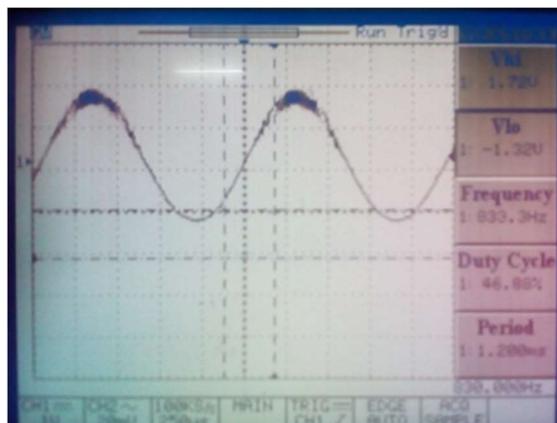
Gambar 4.3 Skematik Rangkaian TDA2050



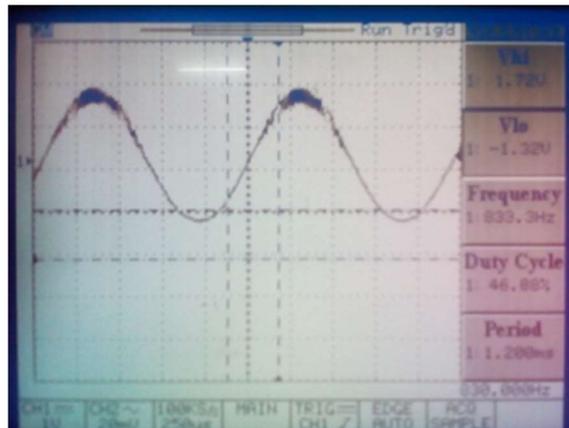
Gambar 4.4 Pemasangan Amplifier pada Speaker

Kemudian dilakukan pengamatan sinyal pwm yang melalui amplifier, apakah masih tetap berbentuk pwm atau tidak. Berikut adalah hasil pengamatan sinyal PWM setelah melalui amplifier dan filter.

Didapatkan bentuk sinyal sinus yang berbeda dengan sinyal keluaran mikrokontroler. Hal ini disebabkan oleh rangkaian filter yang dipasang pada amplifier, dimana rangkaian filter ini berfungsi memfilter sinyal PWM menjadi sinus. Kemudian diamati lagi hasil sinyal sinus yang melalui amplifier, yang tersambung dengan beban. Beban disini adalah speaker. Hasil pengamatan sinyal sinus dilihat dari amplifier yang terhubung dengan speaker, dapat ditunjukkan pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Hasil Sinyal Sinus pada Amplifier



Gambar 4.6 Sinyal Sinus pada Amplifier dengan Beban Speaker

Terlihat tegangan maksimal adalah positif, dan tegangan minimal adalah negatif. Dengan begitu speaker bisa bekerja, menggetarkan membrannya sehingga menghasilkan suara.

4.2 Pengujian *Audio Beam Steering*

Pengujian ini dilakukan di ruang laboratorium B402 maupun di lapangan depan gedung Elektro ITS, dengan cara mengisikan nilai sudut dan nilai frekuensi pada *Graphical User Interface* (GUI) untuk mengarahkan suara dari sumber suara kearah audiens yang dikehendaki. Ruang uji coba dari sistem *Audio Beam Steering* dapat ditunjukkan pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Ruang Uji Coba *Audio Beam Steering*



Gambar 4.8 Kondisi *Ambient* Ruang Pengujian

Intensitas suara diukur pada sudut yang diarahkan menggunakan *Sound Level Meter*, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.8. Sebelum mengukur keluaran speaker, maka diukur terlebih dahulu kondisi awal dari lingkungan sekitar (*ambient*). Kondisi *ambient* diukur supaya terlihat perbedaan intensitas suara antara sebelum dan saat sedang pengujian.

Pengukuran juga dilakukan pada sudut lain selain sudut yang dicari dengan tujuan membandingkan pada tiap-tiap sudut. Pengukuran dilakukan sejauh 2 meter dan 5 meter dari speaker. Dimana 5 meter adalah jarak kritis, yang akan menyebabkan daerah lain memiliki intensitas suara yang hampir mirip dengan intensitas suara dengan arah yang diinginkan.

Hasil pengujian sistem Audio Beam Steering pada sudut pengarahan 30° dengan jarak pengamatan sejauh 200cm dan 500cm, dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Pengarahan Sudut 30°

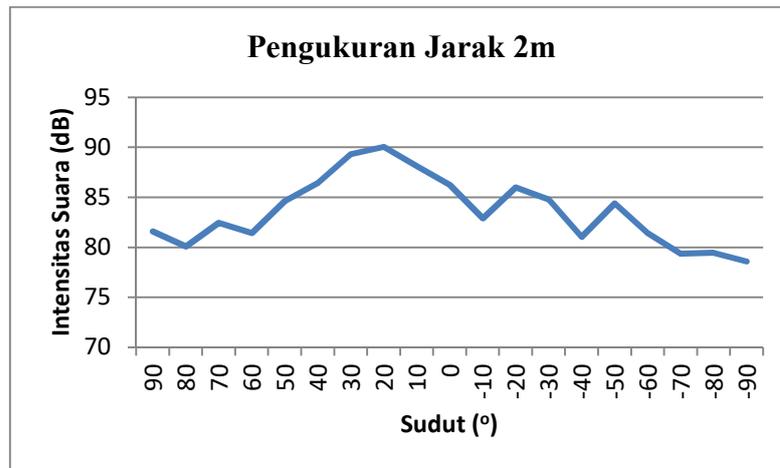
a. Jarak 200cm

Sudut Tujuan (derajat)	Kekuatan Suara (dB)
-90	76,6
-80	79,45
-70	79,35
-60	81.45
-45	81,1
-30	84.8
0	86.25
30	89.32
45	86.44
60	81.44
70	82,45
80	80,1
90	81,6

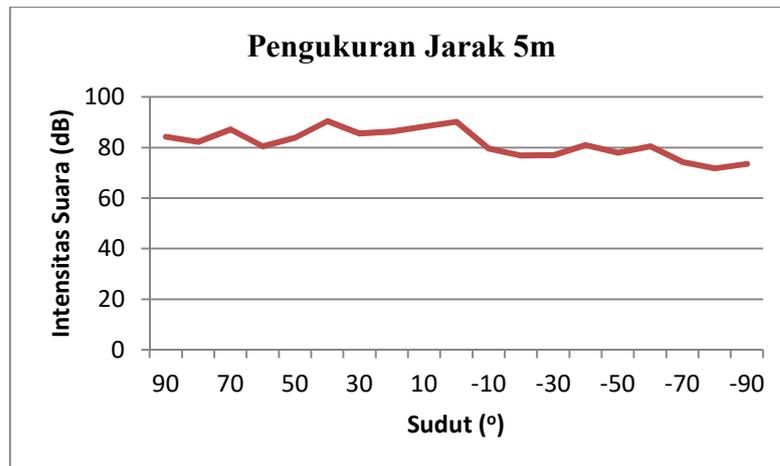
b. Jarak 500cm

Sudut Tujuan (derajat)	Kekuatan Suara (dB)
-60	78.03
-45	77.03
-30	76.8
0	88.4
30	85,52
45	90,2
60	80,5

Sedangkan grafik intensitas suara dengan sudut pengarahan 30° dari tiap sudut pengamatan pada pengujian dengan jarak 2m dan 5m, dapat ditunjukkan pada Gambar 4.9.



(a)



Gambar 4.9 Pengukuran Sudut 30° pada Jarak (a) 2m dan (b) 5m

Terlihat bahwa intensitas suara pada sudut pengarah lebih besar daripada daerah yang lain. Terukurnya intensitas suara yang besar pada sudut yang lain, dikarenakan efek *grating lobe* dan juga ketidakakuratan pengukuran.

Hasil pengujian sistem Audio Beam Steering pada sudut pengarah 60° dengan jarak pengamatan sejauh 200cm dan 500cm, dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Pengarahan Sudut 60°

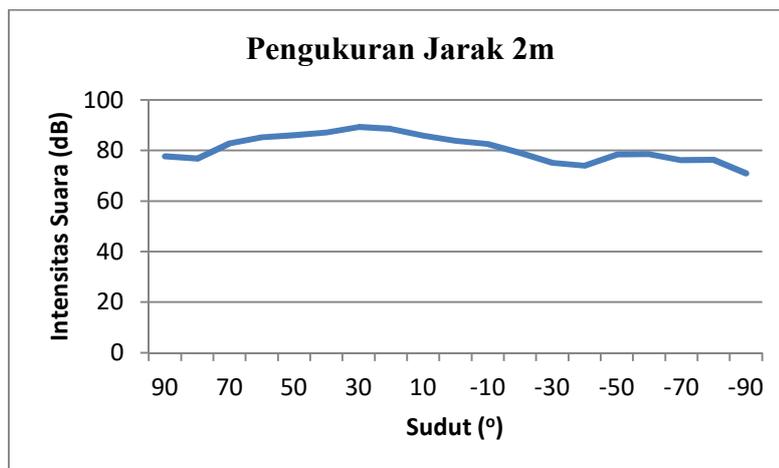
a. Jarak 200cm

Sudut Tujuan (derajat)	Kekuatan Suara (dB)
-60	80
-45	79
-30	82
0	84
30	85
45	84
60	86

b. Jarak 500cm

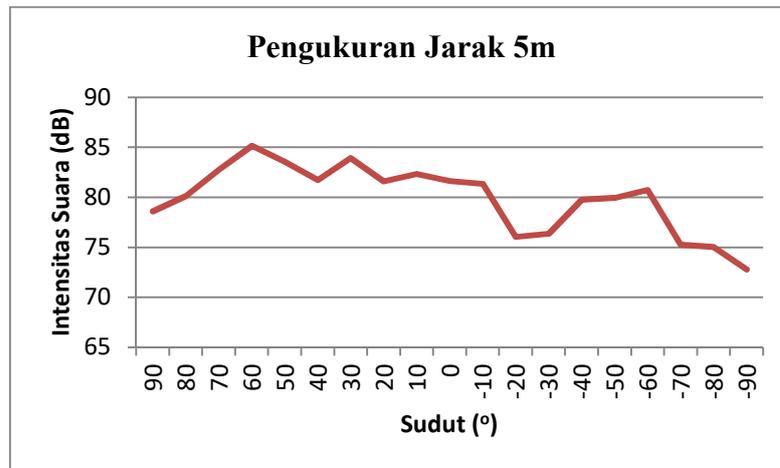
Sudut Tujuan (derajat)	Kekuatan Suara (dB)
-60	67
-45	68
-30	72
0	71
30	74
45	73
60	75

Sedangkan grafik intensitas suara dengan sudut pengarahan 60° dari tiap sudut pengamatan pada pengujian dengan jarak 2m dan 5m, dapat ditunjukkan pada Gambar 4.10.



(a)

Gambar 4.10 Pengukuran Sudut 60° pada Jarak (a) 2m dan (b) 5m



(b)

Gambar 4.10 Pengukuran Sudut 60° pada Jarak (a) 2m dan (b) 5m (lanjutan)

Hasil pengujian sistem Audio Beam Steering pada sudut pengarahan 45° dengan jarak pengamatan sejauh 200cm dan 500cm, dapat dilihat pada Tabel 4.3.

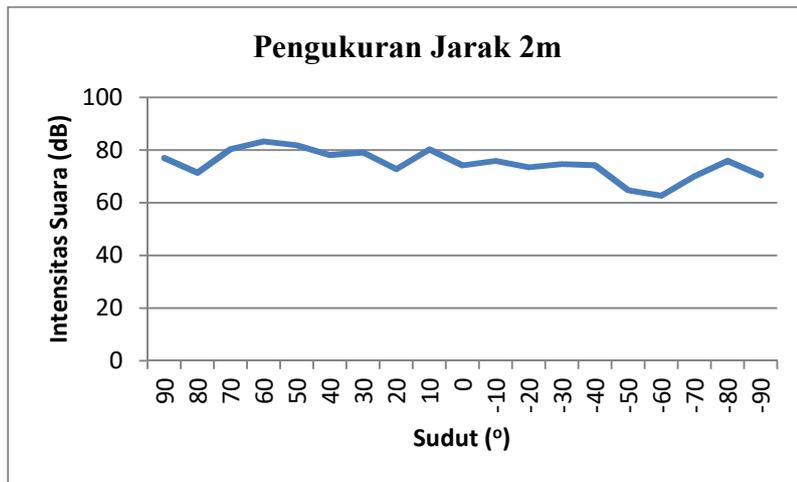
Tabel 4.3 Hasil Pengujian Pengarahan Sudut 45°

a. Jarak 200 cm

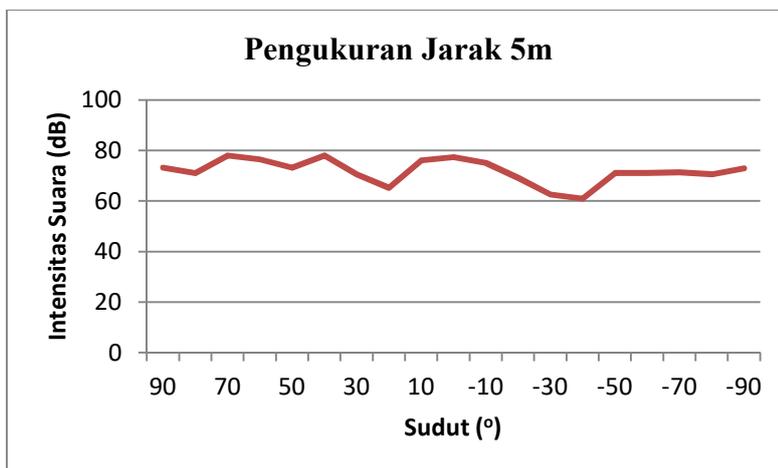
Sudut Tujuan (derajat)	Kekuatan Suara (dB)
-60	78
-45	79
-30	82
0	81
30	84
45	85
60	83

b. Jarak 500cm

Sudut Tujuan (derajat)	Kekuatan Suara (dB)
-60	84
-45	84
-30	86
0	88
30	89
45	86
60	81



(a)



(b)

Gambar 4.11 Pengukuran Sudut 45° pada Jarak (a) 2m dan (b) 5m

Sedangkan grafik intensitas suara dengan sudut pengarahannya 60° dari tiap sudut pengamatan pada pengujian dengan jarak 2m dan 5m, dapat ditunjukkan pada Gambar 4.11. Terlihat dari grafik bahwa data tidak teratur. Hal ini disebabkan karena pengarahannya sudut 45° terlalu tajam.

Hasil pengujian sistem Audio Beam Steering pada sudut pengarahannya 0° dengan jarak pengamatan sejauh 200cm dan 500cm, dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Pengarahan Sudut 0°

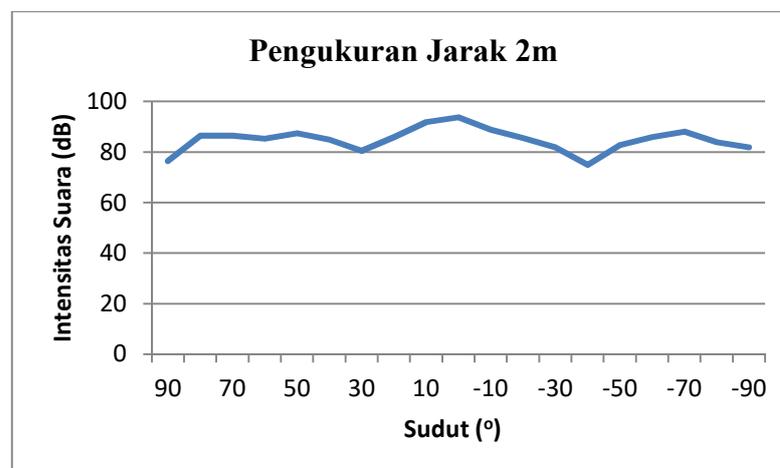
a. Jarak 200cm

Sudut Tujuan (derajat)	Kekuatan Suara (dB)
-60	84
-45	86
-30	87
0	86
30	84
45	81
60	82

b. Jarak 500cm

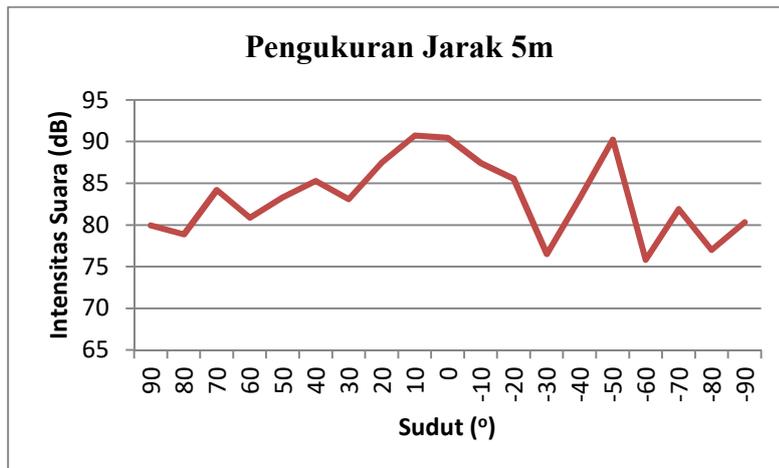
Sudut Tujuan (derajat)	Kekuatan Suara (dB)
-60	71
-45	74
-30	73
0	78
30	74
45	72
60	70

Sedangkan grafik intensitas suara dengan sudut pengarahan 0° dari tiap sudut pengamatan pada pengujian dengan jarak 2m dan 5m, dapat ditunjukkan pada Gambar 4.12.



(a)

Gambar 4.12 Pengukuran Sudut 0° pada Jarak (a) 2m dan (b) 5m



(b)

Gambar 4.12 Pengukuran Sudut 0° pada Jarak (a) 2m dan (b) 5m (lanjutan)

Hasil pengujian sistem Audio Beam Steering pada sudut pengarah -30° dengan jarak pengamatan sejauh 200cm dan 500cm, dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Hasil Pengujian Pengarahan Sudut -30°

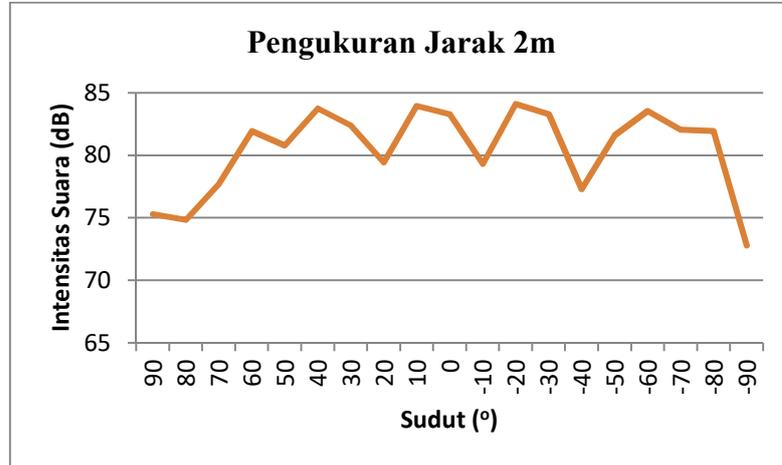
a. Jarak 200cm

Sudut Tujuan (derajat)	Kekuatan Suara (dB)
-60	81
-45	83
-30	84,6
0	83
30	84
45	80
60	78

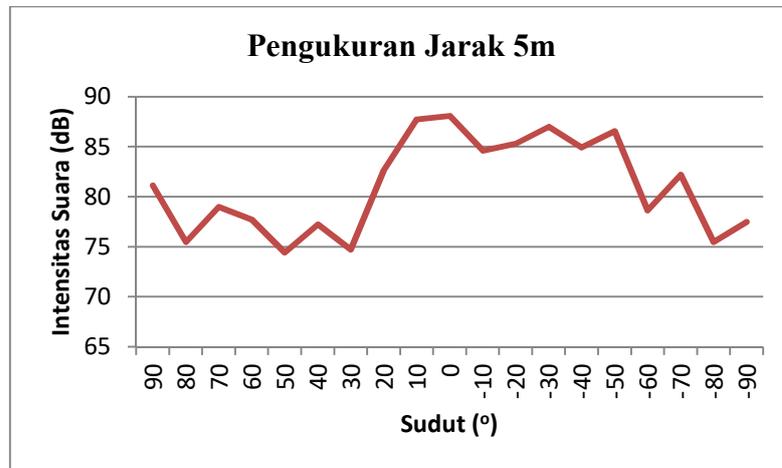
b. Jarak 500cm

Sudut Tujuan (derajat)	Kekuatan Suara (dB)
-60	70
-45	72
-30	75
0	74
30	73
45	70
60	69

Sedangkan grafik intensitas suara dengan sudut pengarahannya -30° dari tiap sudut pengamatan pada pengujian dengan jarak 2m dan 5m, dapat ditunjukkan pada Gambar 4.13.



(a)



(b)

Gambar 4.13 Pengukuran Sudut 0° pada Jarak (a) 2m dan (b) 5m

Intensitas suara pada pengarahannya jarak 5m terlihat jelas dibandingkan dengan jarak 2m. Hal tersebut dikarenakan jarak 2m masih termasuk jarak kritis.

Hasil pengujian sistem Audio Beam Steering pada sudut pengarahannya -45° dengan jarak pengamatan sejauh 200cm dan 500cm, dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Hasil pengujian pengarahannya sudut -45°

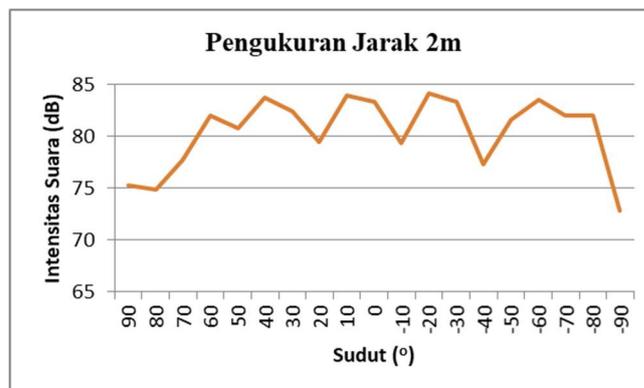
a. Jarak 200 cm.

Sudut Tujuan (derajat)	Kekuatan Suara (dB)
-60	82
-45	84
-30	82
0	82
30	83
45	80
60	79

b. Jarak 500 cm.

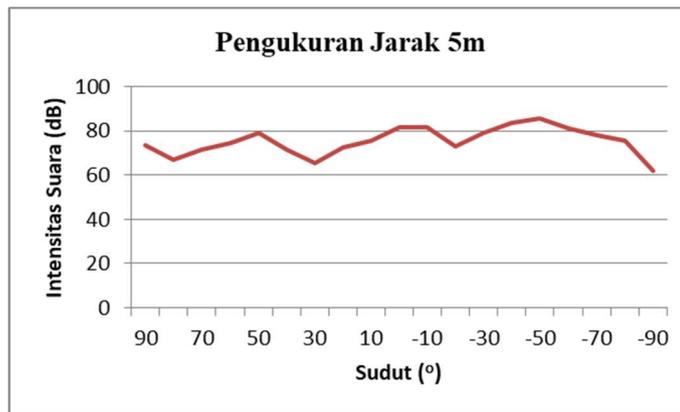
Sudut Tujuan (derajat)	Kekuatan Suara (dB)
-60	75
-45	74
-30	72
0	72
30	73
45	70
60	69

Sedangkan grafik intensitas suara dengan sudut pengarahannya -45° dari tiap sudut pengamatan pada pengujian dengan jarak 2m dan 5m, dapat ditunjukkan pada Gambar 4.14.



(a)

Gambar 4.14 Pengukuran Sudut -45° pada Jarak (a) 2m dan (b) 5m



(b)

Gambar 4.14 Pengukuran Sudut -45° pada Jarak (a) 2m dan (b) 5m (lanjutan)

Hasil pengujian sistem Audio Beam Steering pada sudut pengarahan -60° dengan jarak pengamatan sejauh 200cm dan 500cm, dapat dilihat pada Tabel 4.7.

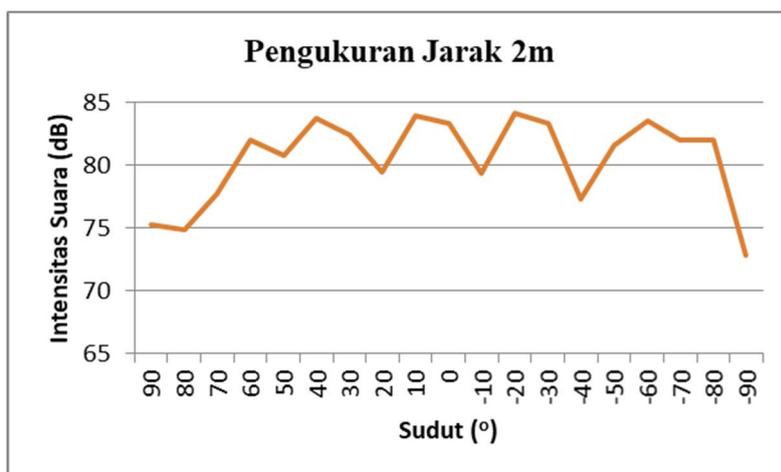
Tabel 4.7 Hasil Pengujian Pengarahan Sudut -60°

a. Jarak 200 cm

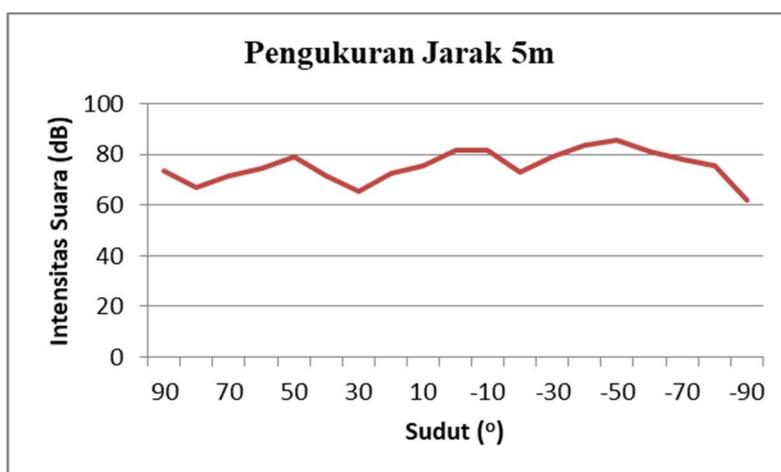
Sudut Tujuan (derajat)	Kekuatan Suara (dB)
-60	86
-45	84
-30	82
0	82
30	81
45	80
60	79

b. Jarak 500 cm

Sudut Tujuan (derajat)	Kekuatan Suara (dB)
-60	75
-45	74
-30	72
0	72
30	73
45	70
60	69



(a)



(b)

Gambar 4.15 Pengukuran Sudut -45° pada Jarak (a) 2m dan (b) 5m

Sedangkan grafik intensitas suara dengan sudut pengarah -45° dari tiap sudut pengamatan pada pengujian dengan jarak 2m dan 5m, dapat ditunjukkan pada Gambar 4.15. Intensitas suara pada pengarah jarak 5m terlihat jelas dibandingkan dengan jarak 2m. Hal tersebut dikarenakan jarak 2m masih termasuk jarak kritis.

Dari data pengujian diatas, terlihat bahwa pengarah pada sudut yang mendekati 0° (30° dan -30°) lebih mendekati kebenaran teori, yaitu memiliki perbedaan intensitas suara yang cukup tinggi dibandingkan sudut lainnya. Pengujian pada jarak 5 m terlihat lebih akurat dibandingkan pengujian pada jarak

2m, karena melebihi jarak kritis terjadinya perpaduan suara. Pengujian pengarahan pada sudut 90° dan -90° dari data diatas terlihat tidak begitu akurat. Hal tersebut diduga karena sudut terlalu tajam.

4.3 Pengujian *Audio Beam Steering* terhadap Audiens

Dilakukan pengujian terhadap audiens, yaitu untuk menentukan keefektifan susunan pada ruang kelas yang sebenarnya. *Array speaker* untuk demonstrasi alat diatur di dalam kelas besar berukuran sekitar 7 m x 10 m, dengan kapasitas tempat duduk sebanyak 20. Gambar 4.16 menunjukkan foto kelas dari sebuah sudut pandang anggota audiens, diambil pada posisi dimana pengukuran kejadian normal dilakukan.

Demonstrasi alat dari *Audio Beam Steering* dimaksudkan agar suara dapat didengar oleh audiens yang berada diam di tengah penonton yang sebenarnya. Pada ruang kelas, *directivity array* diukur dengan *steering array* dalam 2,5 langkah dari 7 sampai 6 dan mengukur respons tekanan dengan *sound level meter*. Spektrum frekuensi rata-rata tekanan sinyal dihitung dan dianalisis untuk setiap sudut rotasi. Tingkat intensitas suara direkam pada frekuensi 1 kHz dengan rata-rata sepuluh.



Gambar 4.16 Ruang Pengujian *Audio Beam Steering*

Tabel 4.8 Hasil Pengujian Terhadap Audiens Ketika Berada pada Sudut 45° di Depan Speaker

Sudut Tujuan (derajat)	Kekuatan Suara (dB)	Kondisi Suara
-60	74	Pelan
-45	75	Pelan
-30	75	Pelan
0	80	Sedang
30	84	Keras
45	88	Sangat Keras
60	87	Keras

Pengujian dilakukan dengan menempatkan alat *Audio Beam Steering* pada sudut tengah ruang pengujian. Kemudian alat *Audio Beam Steering* dinyalakan dan dihasilkan suara dengan pengarahannya menuju sudut yang diinginkan dengan jarak tertentu. Suara diarahkan ke posisi tengah ruang audiens (sudut 0°), kemudian diarahkan ke posisi sebelah kanan (45°), serta diarahkan juga ke posisi sebelah kiri sumber suara (-45°). Dari percobaan di atas kemudian diambil sampel kondisi awal dan kondisi akhir.

Dari hasil pengujian pada tabel 4.8, terlihat bahwa audiens yang terkena suara yang terarahkan akan lebih memperhatikan atau mendengarkan daripada ketika tidak dikenai suara terarahkan. Pada kondisi yang lain, terlihat audiens bereaksi hampir sama dengan sebelumnya. Hal tersebut diduga karena audiens mendengarkan suara dari sumber suara yang tidak begitu keras.

BAB 5

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Pada penelitian telah dibuat suatu Audio Beam Steering dengan metode phased array yang terdiri dari empat speaker. Pengarahan energi suara ditentukan dengan delay di masing masing speaker. Sebuah komputer digunakan sebagai *Graphical User Interface* untuk menentukan arah dan jarak audiens yang akan menerima suara, Mikrokontroler arduino due digunakan untuk menghasilkan delay antara 0 sampai 440us untuk arah 0 sampai 90 derajat. Dari hasil pengukuran sudut yang sudah ditentukan memiliki intensitas suara yang lebih tinggi 8% dibandingkan sudut yang lainnya. Pengarahan pada daerah yang mendekati sudut tegak lurus dari barisan speaker lebih akurat, karena memiliki intensitas suara yang cukup tinggi dibandingkan sudut lainnya. Audiens yang berada pada posisi interferensi konstruktif akan mendengarkan informasi lebih jelas jika dibandingkan dengan audiens yang berada pada posisi sudut lain sebab gelombang suara dari speaker saling melemahkan.

5.2 Saran

Pemakaian speaker yang lebih banyak akan menghasilkan pengarahan suara yang lebih baik dan memiliki kekuatan yang lebih besar. Pengujian bisa dilakukan di ruang tertutup atau terbuka. Audio Beam Steering sebaiknya menggunakan frekuensi dengan harmonisa yang membuat audiens merasa nyaman dengan suara tersebut.

Halaman ini sengaja dikosongkan

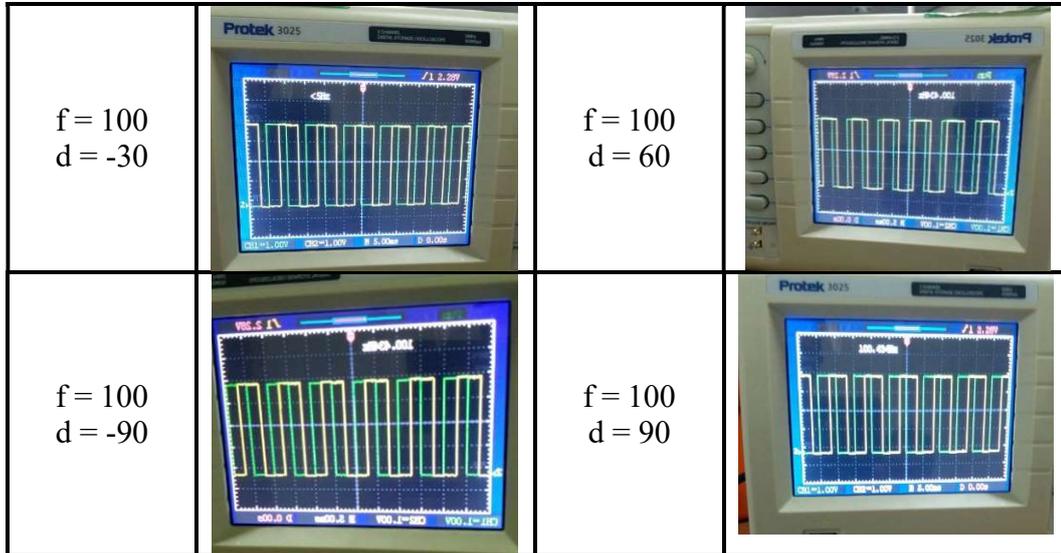
DAFTAR PUSTAKA

- A. Rusdiarna Indrapraja, Muhammad Rivai, A. Arifin, and D. Purwanto, "The detection of organic solvent vapor using polimer coated chemocapacitor sensor," *Journal of Physics*, 2017
- Anderson B. E., Moser G. L., dan Gee K.L., 2012. Loudspeaker Line Array Educational Demonstration. *The Journal of the Acoustical society of America*, 131 (3), Pt 2, pp. 2394-2400.
- Anderson B.E., 2006. Grating lobe reduction in transducer arrays through structural filtering of supercritical plates. Ph.D. thesis, The Pennsylvania State University, University Park, PA, pp. 9-26.
- Atkins, J., 2010. Optimal spatial sampling for spherical loudspeaker arrays. *IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*, pp. 97-100.
- Baykaner, K. H. C. M. R. a. B. S., 2013. The prediction of the acceptability of auditory interference based on audibility. *Proceedings of the 52nd AES International Conference on Sound Field Control*.
- Berthilsson, S. B. A. B. L.-J. a. S. M., 2012. Acoustical zone "reproduction for car interiors using a MIMO MSE framework. *Proceedings of the 48th AES International Conference on Automotive Audio*.
- Blackstock D.T., 2000. *Fundamentals of Physical Acoustics*. Wiley, New York, pp. 495-506.
- Coleman, P., 2014. *Loudspeaker Array Processing for Personal Sound Zone Reproduction*. Guildford: University of Surrey.
- Duran Audio. (2012). Intellivox DDS (Digital Directivity Synthesis). Available:<http://www.duran-audio.com/index.php?page=technical-papers>. Last accessed 17/02/2012.
- H. Widyantara, Muhammad Rivai, and D. Purwanto, "Neural Network for Electronic Nose using Field Programmable Analog Arrays," *IJECE*, vol. 2, No. 6, pp. 739-747, December 2012.
- Hariato, Muhammad Rivai, and D. Purwanto, "Implementation of Electronic Nose in Omni-directional Robot," *IJECE*, vol. 3, No. 3, pp. 399-406, June 2013.
- Ishikawa T., Yokoyama S., Harashima N., Takahashi D., Shiozawa J., Yoshino M., Yasuda A., 2014. A Highly Directional Speaker with Amplitude-Phase Control Using a Digitally Direct-Driven System. *International Conference on Consumer Electronics*, pp. 135-136.

- Kinsler L.E., Frey A.R., Coppens A. B., dan Sanders, J.V., 2000. Fundamentals of Acoustics, 4th ed. Wiley, New York, pp. 195-199.
- Muhammad Rivai, Rendyansyah, and D. Purwanto, "Implementation of Fuzzy Logic Control in Robot Arm for Searching Location of Gas Leak," ISITIA, 2015.
- Patel, Parbhu D., "Fundamentals of Phased Arrays", ASTRON, The Netherlands, 2007
- Szoka, E., 2009. Phased Array Speaker System. *Proceedings of the 127th Audio Engineering Society Convention*.
- Yamada M., Itsuki N., Kinouchi Y., 2004. Adaptive Directivity Control of Speaker Array. International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision, pp. 1443-1448.

LAMPIRAN

Lampiran 1



Gambar 1. Gelombang yang Dihasilkan dari Mikrontroler



Gambar 2. Perangkat Amplifier



Gambar 3. Pengujian *Audio Beam Steering* pada Ruang Kelas 7m x 10m



Gambar 4. Pengujian *Audio Beam Steering* pada Ruang Kelas 3m x 5m

Lampiran 2

Listing Program Arduino

```
#define duty50 127
#define empty false
#define fsMax 10000
#define ampMax 100
volatile uint8_t pin[6] = {7,6,5,4,3,2};
volatile uint8_t pinReverse[6] = {2,3,4,5,6,7};
volatile uint16_t frequency = 10;

volatile uint32_t previousMillis = 0;
volatile unsigned long interval = (1*1000/frequency); // in millis
volatile boolean spk = false;

uint16_t degToUS(float degree)
{ degree = (sin(radians(degree))*2*3.14*0.17)/343.3;
  uint16_t result = int(degree*1000000);
  return result; }
void setup()
{
  for(int i=0; i<6; i++)
  {
    pinMode(pin[i],OUTPUT);
    digitalWrite(pin[i],LOW);
  }
  pinMode(13,OUTPUT);
  Serial.begin(9600);
  inputQuery.reserve(200);
  analogOutput(DAC0, mVtoDec(0));
  PWM_output(13,20); }
int a=0;
void loop()
{
  if (queryStatus)
  {
    executeQUeries();
    inputQuery = "";
    queryStatus = empty; }}
void serialEvent()
{
  while (Serial.available())
  {
    char inChar = (char)Serial.read();
    inputQuery += inChar;
    if ((inChar == '\n') || (inChar == '\t'))
    {
      queryStatus = true; }}}
const char queryCode[]={
  'p', // ping
  'a', // amplitudo 0 ~ 100
  'f', // frequency
  'd' // degree -90 ~ 90
};
float amp = 0, fs = 1, deg = 0;
void executeQUeries()
```

```

{
String pesan="";
uint8_t index=0, i=0;
String temp="";
boolean falseQuery = false;
inputQuery.trim();
do
{
if( inputQuery.charAt(i) == '#')
{
inputQuery.remove(0,i+1);
i=0;
switch(inputQuery.charAt(i))
{
case ('p'): // check ping from serial
Serial.print("OK\n\r");
inputQuery.remove(0,i+1);
break;
case ('a'): // check query of amplitudo
inputQuery.remove(0,i+1);
index=0;
temp="";
do
{
if( (inputQuery.charAt(index)!='.') || ( isDigit(inputQuery.charAt(index)))) )
{
temp=temp+inputQuery.charAt(index);
index++;
}
else
{
temp.trim();
inputQuery.remove(0,index+1);
Errorreply();
break;
}
} while(inputQuery.charAt(index)!='#');
if(temp.length()>0) // there is value
{
amp= temp.toFloat();
amp= (amp>ampMax)?ampMax:amp;
ampStatus=true;
temp="";
pesan=pesan+" Amplitudo="+String(amp)+" % ";
}
break;
case 'f': // check for frequency
inputQuery.remove(0,i+1);
index=0;
temp="";
do
{
if( (inputQuery.charAt(index)!='.') || ( isDigit(inputQuery.charAt(index)))) )
{
temp=temp+inputQuery.charAt(index);
index++;
}
} while(inputQuery.charAt(index)!='#');
if(temp.length()>0) // there is value
{
freq= temp.toFloat();
freq= (freq>freqMax)?freqMax:freq;
freqStatus=true;
temp="";
pesan=pesan+" Frecuencia="+String(freq)+" % ";
}
break;
}
}
}
}

```

```

    }
    else
    {
        temp.trim();
        inputQuery.remove(0,index+1);
        Errorreply();
        break;
    }

    }while(inputQuery.charAt(index)!='#');
    if(temp.length()>0) // there is value
    {
        fs= temp.toFloat();
        fs = (fs>fsMax)?fsMax:fs;
        fs = (fs<2)?2:fs;
        fsStatus=true;
        temp="";
        pesan=pesan+" Frequency="+String(fs);
    }
    break;

case 'D':
case ('d'): // check for degree
    inputQuery.remove(0,i+1);
    index=0;
    temp="";
    do
    {
        if((inputQuery.charAt(index)=='-')||(inputQuery.charAt(index)=='.'))|(
isDigit(inputQuery.charAt(index)))
        {temp=temp+inputQuery.charAt(index);
        index++; }
        else
        { temp.trim();
        inputQuery.remove(0,index+1);
        Errorreply();
        break; }
    }while(inputQuery.charAt(index)!='#');
    if(temp.length()>0) // there is value
    { deg= temp.toFloat();
    degStatus=true;
    temp="";
    pesan=pesan+" Degree="+String(deg);

    else i++;
} while(inputQuery.length()>0);
if(degStatus||ampStatus||fsStatus)
{
    Serial.println(pesan);
    OKreply();
    pesan="";
}
inputQuery="";
setSpeakerParam();
}void setSpeakerParam(){
uint32_t td=0, tmax = uint32_t(1000000/fs);
td= degToUS(abs(deg));
td= (td>tmax)?tmax:td;

```

```

if( fsStatus || degStatus )
{
    frequency=fs;
    if(deg>0)
        positiveDegree(td);
    else
        negativeDegree(td);
    degStatus = false;
    fsStatus = false;
}
if(ampStatus)
{
    if(amp<=0)
        analogOutput(DAC0, mVtoDec(0));
    else
        analogOutput(DAC0, mVtoDec(3500*1/amp));
    ampStatus=false;}}
void OKreply()
{ Serial.println("OK");}
void Errorreply()
{ Serial.println("ERROR");}

```

Lampiran 3

Listing Program GUI

```

int winWidth = 700;
int winHeight = 480;

boolean connectStatus=false;

void setup()
{
    icon=loadImage("anim_ (64).jpg");
    surface.setTitle("Audio - Beam Init System");
    surface.setIcon(icon);
    size(700,480);
    b00tInit();
}

boolean b00tStartUp=true;
void draw()
{
    background(0);
    if(b00tStartUp)
    {
        b00ting();
        println(frameCount);
        surface.setTitle("Audio - Beam Init System on progress");
        if (countB00t!=0)
        {
            textSize(22);
            textAlign(CENTER);
            fill(255, 95);

```

```

text("Welcome to Chiel'z - LAB", 620/2, 410);
fill(#B4AFAF, 50);
text("Welcome to Chiel'z - LAB", 620/2, 420);
}
if (countB00t>=2)
{
textSize(20);
textAlign(LEFT);
fill(#48BAED);
text("Audio - Beam Steering Project", 20, height-20);
fill(0, 102, 153, 60);
text("Audio - Beam Steering Project", 20, height-10);
surface.setTitle("Audio - Beam Init System : DONE");
}
if(offset>20)
{
textSize(13);
fill(255);
text("Scanning serial devices !! ", 10, 60);
if(firstCheckingPort)
{
portArray=null;
portArray=Serial.list();
firstCheckingPort=false;
}
if(portArray.length!=0)
{
text("Well done !\n Found : "+(portArray.length)+" devices",10,85);
portIndex=0;
}
else if(portArray.length==0)
text("No devices found !!!",10,85);
}
if (offset>=numFrames)
{
if (countB00t<=4)
{
countB00t++;
offset=41;
}
else
{
b00tStartUp=false;
surface.setTitle("Audio - Beam Steering by Amaro Gaviola");
GUI_setup();
if(portArray.length!=0)
{
portList.setItems(portArray,1);
portArray=null;
}
timer = CountdownTimerService.getNewCountdownTimer(this).configure(100, 5000);
} } }
else if(!b00tStartUp)
{
fill(185, 65);
rect(0,winHeight-TabHeight-6,width-2,TabHeight+5,2,0,90,0);
fill(#10D5E5);

```

```

rect(1,winHeight-TabHeight-6,width-2,3,90,180,0,0);
loadSpeakerImage ( numSpk );
if(panelConfigure.isVisible())
{
    animationLOGO(); } }
void onTickEvent(CountdownTimer t, long timeLeftUntilFinish)
{
}
void onFinishEvent(CountdownTimer t)
{
    if(notify)
    {
        myDispMessage.setVisible(false);
        myDispMessage.setText("");
    }
}

String inString="";
void serialEvent(Serial myPort)
{
    while (myPort.available() > 0)
    {
        int inByte = myPort.read();
        inString += char(inByte);
        if(inByte == '\n')
        {
            println(inString);
            consoleWritePlainText(inString);
            inString="";
        }
    }
}

```

RIWAYAT HIDUP PENULIS



Amaro da Silva Gaviola dilahirkan di Timor Leste, 15 September 1978. Merupakan anak ke lima dari pasangan João Ruben Gaviola dan Joana Silva Freitas. Penulis memulai pendidikan di sekolah dasar negeri no.5 Aiturilaran pada tahun 1984-1990, kemudian melanjutkan pendidikan ke sekolah menengah pertama negeri no.1 Viqueque pada tahun 1991-1994. Selanjutnya penulis melanjutkan pendidikan di sekolah menengah kejuruan Don Bosco Fatumaca pada tahun 1994-1997. Setelah itu melanjutkan pendidikan tinggi ke universitas wisnu wardana pada tahun 2005-2011, setelah menyelesaikan pendidikan tahap sarjana penulis melanjutkan program pasca sarjana Fakultas Teknik Elektro di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya pada tahun 2016.

