



TUGAS AKHIR - EE 184801

***SMART AMPLIFIER: PENGATURAN GAIN AMPLIFIER
BERDASARKAN ARAH DAN JARAK AUDIENS***

Harits Surya Budhiarso
NRP 0711154000043

Dosen Pembimbing
Dr. Muhammad Rivai, ST., MT.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - EE 184801

***SMART AMPLIFIER: PENGATURAN GAIN AMPLIFIER
BERDASARKAN ARAH DAN JARAK AUDIENS***

Harits Surya Budhiarso
NRP 0711154000043

Dosen Pembimbing
Dr. Muhammad Rivai, ST., MT.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019



FINAL PROJECT - EE 184801

***SMART AMPLIFIER: AMPLIFIER GAIN SETTING BASED
ON DIRECTION AND DISTANCE OF AUDIENCE***

Harits Surya Budhiarso
NRP 0711154000043

Supervisor
Dr. Muhammad Rivai, ST., MT.

ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Electrical Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul "*Smart Amplifier: Pengaturan Gain Amplifier Berdasarkan Arah dan Jarak Audiens*" 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, 1 Juli 2019



Harits Surya Budhiarso
NRP 0711 15 40000 043

**SMART AMPLIFIER: PENGATURAN GAIN
AMPLIFIER BERDASARKAN ARAH DAN JARAK
AUDIENS**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Elektronika
Departemen Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Menyetujui:

Dosen Pembimbing



Dr. Muhammad Rivai, S.T., M.T.
NIP. 196904261994031003



SMART AMPLIFIER: PENGATURAN GAIN AMPLIFIER BERDASARKAN ARAH DAN JARAK AUDIENS

Nama : Harits Surya Budhiarso
Pembimbing : Dr. Muhammad Rivai, ST., MT.

ABSTRAK

Audio amplifier merupakan sebuah device yang digunakan untuk menguatkan sinyal suara sebelum diumpankan ke *loudspeaker*. Penggunaan *amplifier* dan *loudspeaker* tidak dapat dipisahkan. *Loudspeaker* sering kita jumpai sehari-hari di dalam dan luar ruangan. *Loudspeaker* biasanya digunakan untuk menyampaikan informasi kepada audiens. Tentunya suara yang dihasilkan harus jelas agar tidak menimbulkan kebisingan. Terkadang *loudspeaker* juga tetap mengeluarkan suara meski tidak ada audiens. Tentunya hal tersebut merupakan pemborosan daya. Salah satu cara untuk mengatasi masalah tersebut adalah dengan mendeteksi keberadaan audiens dan mengarahkan suaranya sehingga dapat mengurangi penggunaan dayanya. Pada tugas akhir ini dibuat sebuah sistem *Smart Amplifier* yang merupakan pengarah suara berdasarkan arah dan jarak audiens. Sistem yang dibuat terdiri dari termal kamera AMG8833, mikrokontroler Arduino Mega 2560, 3 buah PGA, 3 buah *amplifier* TDA2030, dan 3 buah *loudspeaker*. Termal kamera digunakan untuk mendeteksi arah dan jarak audiens. Sedangkan PGA digunakan untuk mengatur penguatan suara agar intensitas suara dapat diatur sesuai arah dan jarak audiens. Hasilnya, sistem mampu mengarahkan suara di dalam ruangan pada sudut -30° sampai $+30^{\circ}$ dengan rata-rata kesalahan 3,33% pada jarak 1m, 5,6% pada jarak 1,5m, 7,27% pada jarak 2m, dan 20% pada jarak 2,5m. Sedangkan di luar ruangan memiliki rata-rata kesalahan 7,78% pada jarak 1,5m. Diharapkan sistem ini mampu mengurangi penggunaan daya dan menekan biaya pengeluaran yang ditimbulkan akibat penggunaan *audio amplifier*.

Kata Kunci: *Amplifier, Arduino, PGA, Termal Kamera.*

.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....

SMART AMPLIFIER: AMPLIFIER GAIN SETTING BASED ON DIRECTION AND DISTANCE OF AUDIENCE

Name : Harits Surya Budhiarso
Supervisor : Dr. Muhammad Rivai, ST., MT.

ABSTRACT

Audio amplifier is a device to amplify sound signals before its fed to the loudspeaker. Both devices cannot be separated. Loudspeakers are easily found in indoor and outdoor. Loudspeakers are usually used to give information to an audience. The sound produced by loudspeaker must be clear so that it doesn't cause noise. Sometimes the loudspeaker still makes a sound even though there is no audience. This is a waste of power. To overcome this problem, the solution is to detect the presence of the audience and direct the sound so that it can reduce its power usage. In this final project, a Smart Amplifier system is created which is a sound guide based on the direction and distance of the audience. The system consisted of AMG8833 thermal camera, Arduino Mega microcontroller 2560, 3 pieces of PGA, 3 pieces of TDA2030 amplifiers, and 3 pieces of loudspeakers. Thermal cameras are used to detect the direction and distance of the audience. PGA is used to regulate sound reinforcement so that the sound intensity can be adjusted according to the direction and distance of the audience. As a result, the system is be able to direct sound in the room at an angle of -30° to $+30^{\circ}$ with an average error of 3.33% at 1m of distance, 5.6% at 1.5m of distance, 7.27% at 2m of distance, and 20% at 2.5m of distance. Whereas outdoors has an average error of 7.78% at 1.5m of distance. The system is expected to reduce power usage and reduce the costs incurred due to the use of audio amplifiers.

Keyword: Amplifier, Arduino, PGA, Thermal Camera.

.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan nikmat dan karunia-Nya kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir dengan judul “**Smart Amplifier: Pengaturan Gain Amplifier Berdasarkan Arah Dan Jarak Audiens**”, sebagai salah satu persyaratan dalam menyelesaikan pendidikan program studi S1 di Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dan memberikan dukungan dalam penulisan dan penyusunan laporan tugas akhir ini. Terutama kepada semua dosen dan teman-teman yang telah membantu penulis menyelesaikan tugas akhir ini. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih yang tulus dan sebesar-besarnya kepada:

1. Dr. Muhammad Rivai, ST., MT. selaku dosen pembimbing yang telah membimbing dan memberikan saran selama pengerjaan dan penulisan laporan tugas akhir.
2. Astria Nur Irfansyah, ST., M.Eng., Ph.D., Fajar Budiman, ST., M.Sc., Ir. Harris Pirngadi, MT., Ir. Tasripan, MT. sebagai dosen penguji yang telah menyetujui serta memberikan kritik dan saran.
3. Dr. Eng. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng. sebagai Kepala Departemen Teknik Elektro ITS atas kesempatan yang diberikan kepada penulis.
4. Orang tua yang selalu memberikan dukungan dan doa kepada penulis.
5. Teman-teman yang tidak dapat penulis sebutkan namanya satu-persatu.

Penulis berharap agar tugas akhir ini dapat memberikan manfaat kepada siapapun yang membacanya. Penulis juga menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penulisan laporan tugas akhir ini. Oleh karena itu penulis menerima setiap kritik dan saran yang diberikan. Akhir kata penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya.

Surabaya, 1 Juli 2019

Penulis

.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN.....	i
ABSTRAK.....	v
ABSTRACT.....	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL.....	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Metodologi Penelitian.....	3
1.6 Sistematika Penulisan	5
1.7 Relevansi	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Tingkat Kenyamanan Pendengaran Manusia	7
2.1.1 Kebisingan.....	7
2.1.2 Intensitas Suara	7
2.1.3 Ambang Batas dan Standar Kebisingan	8
2.2 Radiasi Benda Hitam (<i>Black Body Radiation</i>)	9
2.3 Termal Kamera.....	11
2.3.1 Jenis-Jenis Sensor Termal Kamera.....	12
2.3.2 Cara Kerja Termal Kamera	13
2.4 <i>Thermopile Array Sensor</i>	13
2.5 AMG8833.....	15
2.6 Audio Amplifier Kelas AB	16
2.7 Amplifier TDA2030A	18
2.8 <i>Programmable Gain Amplifier (PGA)</i>	20
2.9 <i>Digital Potentiometer X9C103</i>	21
2.10 <i>Microcontroller Arduino Mega 2560</i>	23
2.11 Komunikasi I2C.....	26
BAB III PERANCANGAN SISTEM	29
3.1. Gambaran Umum Sistem.....	29
3.2. Perancangan Mekanik Sistem.....	32
3.2.1 Akrilik Dudukan <i>Loudspeaker</i> dan Termal Kamera	32
3.2.2 Akrilik Tempat <i>Board</i> Elektronik	34

3.3. Perancangan Elektronik Sistem.....	35
3.3.1 Elektronik <i>Power Supply</i>	35
3.3.2 Elektronik <i>Microcontroller Board</i>	36
3.3.3 Elektronik PGA.....	39
3.4. Perancangan <i>Software</i>	42
3.4.1 Mengakses Sensor AMG8833	42
3.4.2 Mengirim Data Suhu ke PC	43
3.4.3 Mengakses <i>Digital Potentiometer X9C103</i> dan Mengatur <i>Gain</i> PGA	45
3.5. Implementasi Sistem <i>Smart Amplifier</i>	47
3.5.1 Memasang Keseluruhan Komponen Elektronik.....	47
3.5.2 Pemasangan Termal Kamera dan <i>Loudspeaker</i>	47
3.5.3 Mendeteksi Posisi Audiens	48
3.5.1 Mendeteksi Jarak Audiens	51
3.5.2 Menentukan <i>Gain</i> PGA.....	52
BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISIS	53
4.1 Pengujian Termal Kamera AMG8833.....	53
4.2 Pengujian <i>Digital Potentiometer X9C103</i>	55
4.2.1 Perbandingan Nilai Resistansi <i>Digital Potentiometer</i> <i>X9C103</i> Berdasarkan Perhitungan dan Pengukuran	56
4.3 Pengujian <i>Output</i> PGA.....	58
4.3.1 <i>Output</i> PGA Berdasarkan Perhitungan	59
4.3.2 <i>Output</i> PGA Berdasarkan Pengujian.....	60
4.4 Pengujian <i>Output Amplifier</i> TDA2030.....	64
4.4.1 Respon Frekuensi <i>Amplifier</i>	66
4.5 Pengujian Sistem <i>Smart Amplifier</i>	68
4.5.1 Perhitungan Kesalahan.....	78
4.5.2 Pengujian Intensitas Suara Terhadap Jarak	80
BAB V PENUTUP	85
5.1 Kesimpulan	85
5.2 Saran.....	85
DAFTAR PUSTAKA	87
LAMPIRAN A	91
LAMPIRAN B.....	105
LAMPIRAN C.....	109
LAMPIRAN D	115
LAMPIRAN E.....	117
BIODATA PENULIS	123

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Radiasi elektromagnetik benda hitam (a) <i>Mid-Wavelength Infrared</i> (MWIR) (b) <i>Long-Wavelength Infrared</i> (LWIR).....	10
Gambar 2.2 Cara kerja termal kamera.	13
Gambar 2.3 Thermocouple vs thermopile.....	14
Gambar 2.4 Bagian sensor infrared.....	14
Gambar 2.5 Bagian utama sensor AMG8833.	15
Gambar 2.6 Diagram blok AMG8833.....	16
Gambar 2.7 Konfigurasi <i>amplifier</i> kelas AB.....	17
Gambar 2.8 Modul <i>amplifier</i> TDA2030A.....	18
Gambar 2.9 Rangkaian modul TDA2030A.....	19
Gambar 2.10 <i>Fixed-gain inverting amplifier</i>	20
Gambar 2.11 PGA menggunakan <i>digital potentiometer</i>	21
Gambar 2.12 Modul X9C103.....	21
Gambar 2.13 Diagram blok X9C103.	22
Gambar 2.14 Arduino Mega 2560.	23
Gambar 2.15 Blok diagram Arduino Mega 2560.....	24
Gambar 2.16 Sinyal start dan stop.	26
Gambar 2.17 Sinyal ACK.	27
Gambar 2.18 Kondisi transfer data.	27
Gambar 3.1 Gambaran umum sistem Smart Amplifier.....	29
Gambar 3.2 Blok diagram sistem Smart Amplifier.....	30
Gambar 3.3 Flowchart sistem Smart Amplifier.	31
Gambar 3.4 Desain 3D akrilik.	32
Gambar 3.5 Tampak serong, atas, dan samping desain akrilik.	32
Gambar 3.6 Desain 2D mounting loudspeaker dan termal kamera.	33
Gambar 3.7 Desain 3D tempat elektronik.	34
Gambar 3.8 Desain 2D akrilik tempat elektronik.....	34
Gambar 3.9 Skematik power supply.	35
Gambar 3.10 Skematik microcontroller board Arduino Mega.....	36
Gambar 3.11 Hasil routing skematik microcontroller board.	37
Gambar 3.12 Wiring diagram AMG8833 dengan Arduino.....	38
Gambar 3.13 Skematik PGA.....	39
Gambar 3.14 Hasil routing skematik PGA.....	39
Gambar 3.15 Wiring diagram PGA dengan Arduino.....	41
Gambar 3.16 Tampilan visualisasi piksel di Processing.	45

Gambar 3.17 Rancangan penempatan komponen elektronik.....	47
Gambar 3.18 Pembagian piksel termal kamera.	49
Gambar 3.19 Posisi audiens saat pengujian termal kamera.	54
Gambar 4.1 Posisi dan jarak pada pengujian termal kamera AMG8833.	53
Gambar 4.2 Grafik suhu pembacaan termal kamera.	55
Gambar 4.3 Proses pengujian digital potentiometer X9C103.....	56
Gambar 4.4 Grafik perbandingan nilai resistansi digital potentiometer.	58
Gambar 4.5 Proses pengujian PGA.	59
Gambar 4.6 Hasil output PGA dengan amplitudo (a)104mVpp dan (b)5,84Vpp.	61
Gambar 4.7 Grafik perbandingan amplitudo output PGA.	63
Gambar 4.8 Hasil output amplifier TDA2030 dengan amplitudo (a)560mVpp (b)12,8Vpp.....	64
Gambar 4.9 Grafik penguatan amplifier TDA2030.	66
Gambar 4.10 Respon frekuensi amplifier TDA2030.	68
Gambar 4.11 Posisi dan sudut pengukuran.	69
Gambar 4.12 Pembagian sudut pada pengujian sistem.	69
Gambar 4.13 Posisi audiens pada pengujian sistem.	70
Gambar 4.14 Grafik sound lobe pengujian sistem pada jarak 1m.....	71
Gambar 4.15 Grafik sound lobe pengujian sistem pada jarak 1,5m.....	73
Gambar 4.16 Grafik sound lobe pengujian sistem pada jarak 2m.....	74
Gambar 4.17 Grafik sound lobe pengujian sistem pada jarak 2,5m.....	76
Gambar 4.18 Grafik sound lobe pengujian sistem pada jarak 1,5m di luar ruangan.....	77
Gambar 4.19 Grafik Pengukuran intensitas suara pada posisi 1.	81
Gambar 4.20 Grafik Pengukuran intensitas suara pada posisi 2.	82
Gambar 4.21 Grafik Pengukuran intensitas suara pada posisi 3.	82
Gambar 4.22 Grafik Pengukuran intensitas suara pada posisi 4.	83
Gambar 4.23 Grafik Pengukuran intensitas suara pada posisi 5.	83

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Nilai Ambang Batas (NAB) kebisingan.	8
Tabel 2.2 Standar tingkat kebisingan.	9
Tabel 3.1 Koneksi AMG8833 dengan Arduino	38
Tabel 3.2 Koneksi X9C103 dengan Arduino.	41
Tabel 3.3 Logic mode digital potentiometer X9C103.....	46
Tabel 3.4 Pembagian bobot masing-masing loudspeaker.	49
Tabel 4.1 Pembacaan suhu termal kamera.	54
Tabel 4.2 Perbandingan nilai resistansi digital potentiometer X9C103.	57
Tabel 4.3 Perhitungan nilai penguatan dan amplitudo sinyal output PGA.....	60
Tabel 4.4 Pengujian nilai penguatan PGA.	62
Tabel 4.5 Pengujian output amplifier TDA2030.....	65
Tabel 4.6 Pengukuran intensitas suara pada jarak 1m.....	71
Tabel 4.7 Pengukuran intensitas suara pada jarak 1,5m.....	72
Tabel 4.8 Pengukuran intensitas suara pada jarak 2m.....	74
Tabel 4.9 Pengukuran intensitas suara pada jarak 2,5m.....	75
Tabel 4.10 Pengukuran intensitas suara pada jarak 1,5m di luar ruangan.	77
Tabel 4.11 Perhitungan kesalahan pada jarak 1m.	78
Tabel 4.12 Perhitungan kesalahan pada jarak 1,5m.	79
Tabel 4.13 Perhitungan kesalahan pada jarak 2m.	79
Tabel 4.14 Perhitungan kesalahan pada jarak 2,5m.	79
Tabel 4.15 Perhitungan kesalahan pada jarak 1,5m di luar.	80
Tabel 4.16 Pengujian intensitas suara terhadap jarak.....	81

.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Saat ini penguat suara banyak digunakan disekitar kita baik di dalam (*indoor*) ataupun di luar (*outdoor*) ruangan untuk menyampaikan informasi kepada pendengar atau audiens. Sejatinya penguat suara tersebut disebut dengan *amplifier* atau lebih tepatnya *audio amplifier*. Pengertian dari *amplifier* sendiri merupakan sebuah *device* yang digunakan untuk menguatkan sinyal masukan sebelum diteruskan ke *device* selanjutnya [1]. Sinyal masukan disini berupa sinyal suara yang biasanya berasal dari *microphone*, *audio player* ataupun dari sumber suara lainnya. Sinyal suara yang telah dikuatkan selanjutnya akan dimasukkan ke *loudspeaker* atau biasa kita sebut *speaker* saja. Jika sinyal suara tidak dikuatkan terlebih dahulu maka suara yang terdengar akan sangat lemah. Hal tersebut menyebabkan *amplifier* tidak bisa kita pisahkan dari penggunaan *loudspeaker* sebagai sebuah penguat suara.

Loudspeaker di tempat-tempat umum seperti di taman bermain, *mall*, kebun binatang dan tempat umum lainnya, biasanya diletakan pada titik-titik tertentu untuk memberikan informasi penting kepada pengunjung. Pada saat pemberian informasi tersebut tentunya suara yang dihasilkan harus jelas agar informasi dapat tersampaikan dan tidak menimbulkan gangguan pada orang lain akibat suara yang dihasilkan terlalu keras [2]. Sedangkan gangguan pendengaran dapat terjadi akibat suara yang melebihi ambang batas sebesar 85dB apabila didengar secara terus menerus. Sedangkan peralatan audio yang biasanya kita pakai dapat mengeluarkan suara sebesar 75dB-136dB [3]. Kita juga sering menjumpai bahwa *loudspeaker* akan tetap mengeluarkan suara meski tidak adanya audiens di lokasi tertentu. Hal tersebut tentu merupakan sebuah pemborosan daya apalagi *loudspeaker* yang biasanya dipasang di tempat-tempat umum memiliki daya (*watt*) yang tinggi, sehingga tentu membutuhkan *amplifier* yang memiliki daya tinggi pula. Jika daerah yang harus dijangkau merupakan daerah yang luas maka dibutuhkan beberapa *loudspeaker* yang tentunya akan sangat memakan banyak daya.

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang sangat pesat menjadikan salah satu aspek yaitu efisiensi daya menjadi suatu hal yang dikembangkan saat ini. Salah satunya efisiensi daya pada *audio amplifier*. Pengembangan *audio amplifier* sudah dilakukan sejak lama,

dua aspek pengembangan *audio amplifier* adalah menciptakan *audio amplifier* yang memiliki efisiensi daya yang tinggi dan memiliki distorsi yang rendah. Efisiensi daya merupakan faktor penting karena biasanya *amplifier* digunakan dalam jangka waktu yang lama. Selain itu, distorsi yang ditimbulkan terkait dengan kualitas suara yang dihasilkan dari *amplifier* karena *amplifier* itu sendiri merupakan jembatan antara sinyal audio dengan *loudspeaker* sebagai pengatur kuat gelombang ke *loudspeaker* atau biasa kita sebut sebagai *loudspeaker driver*. Jadi apabila sinyal terdistorsi maka suara yang dihasilkan akan terdengar kurang baik atau kurang jernih. Ada banyak tipe kelas *amplifier* diantaranya yaitu kelas A, B, dan AB. Setiap kelas *amplifier* tersebut memiliki kelebihan dan kekurangannya masing-masing. Misalnya *amplifier* kelas AB yang dibuat untuk menutupi kekurangan *amplifier* kelas A yang memiliki penguatan sangat baik atau dengan kata lain memiliki distorsi yang rendah sehingga suara yang dihasilkan terdengar baik namun memiliki efisiensi yang rendah. Sedangkan kelas B memiliki efisiensi yang baik namun memiliki penguatan dibawah kelas A karena sinyal keluarannya sedikit terdistorsi.

Selain pengembangan dari segi rangkaian *amplifier*, pengaturan pada sistem audio secara keseluruhan juga bisa menjadi solusi dari permasalahan di atas. *Smart amplifier* pada tugas akhir ini menawarkan solusi pada sistem audio secara keseluruhan. Sistem ini terdiri dari tiga buah *loudspeaker*, *programmable gain amplifier* (PGA), *audio amplifier* kelas AB, sebuah termal kamera bertipe Adafruit AMG8833, dan sebuah *microcontroller* Arduino Mega 2560. Termal kamera digunakan untuk mengetahui posisi audiens. Selanjutnya data berupa posisi tersebut akan diolah oleh *microcontroller* untuk mengatur penguatan atau *gain* dari PGA yang terhubung ke *amplifier* sebelum masuk ke *loudspeaker*. Sehingga suara yang dihasilkan dapat diatur penguatannya. Pengaturan *gain* pada masing-masing *loudspeaker* tersebut dapat digunakan untuk mengatur arah suara sesuai dengan keberadaan audiens. Arah suara diatur agar tidak menurunkan kualitas suara dan untuk mengurangi kebisingan yang dihasilkan. Hal tersebut karena intensitas suara yang terarah pada audiens akan mengurangi efek ruangan (*room effect*) yang dapat menurunkan kualitas suara yang ditimbulkan oleh *loudspeaker* yaitu dengan mengatur sinyal masukannya [4]. Diharapkan dengan penambahan sensor dan kontrol yang sesuai, efisiensi dayanya menjadi lebih baik dan tingkat kebisingan dapat dikurangi.

1.2 Perumusan Masalah

Rumusan masalah pada tugas akhir ini sebagai berikut:

1. Bagaimana cara menentukan arah dan jarak audien.
2. Bagaimana cara mengatur *gain amplifier*.
3. Bagaimana cara mengatur arah suara.
4. Jenis *microcontroller* yang digunakan.

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian pada tugas akhir ini memiliki tujuan sebagai berikut:

1. Penerapan kamera termal untuk mengetahui posisi audiens.
2. Pengaturan *gain amplifier* menggunakan *programmable gain amplifier* (PGA).
3. Penggunaan tiga buah *amplifier* kelas AB dan speaker yang masing-masing dapat diatur *volume* suaranya.
4. *Microcontroller* Arduino Mega 2560 digunakan untuk membaca data dari termal kamera dan mengatur volume *amplifier* melalui PGA.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam tugas akhir ini sebagai berikut:

1. Penggunaa sistem audio *amplifier* hanya terbatas di dalam ruangan.
2. *Background* atau latar memiliki suhu yang relatif seragam.
3. Objek yang dideteksi hanya manusia.

1.5 Metodologi Penelitian

Langkah-langkah yang dikerjakan pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Studi literatur berisi kegiatan pengumpulan dan pengkajian dasar teori yang terpercaya untuk menunjang penulisan tugas akhir ini. Literatur dapat bersumber dari paper, jurnal, artikel, buku, maupun website yang bertaraf nasional dan internasional, serta dari hasil konsultasi dengan dosen pembimbing.

2. Observasi dan Analisa Masalah

Pada tahap ini dilakukan observasi terkait *audio amplifier* dan termal kamera serta komponen lainnya yang menunjang dalam pembuatan sistem. Pada tahap ini juga dilakukan analisa mengenai masalah yang dihadapi dan solusi yang tepat untuk masalah tersebut. Misalnya

mengenai bagaimana cara meningkatkan efisiensi dari sebuah *amplifier* dan cara mendeteksi audiens menggunakan termal kamera. Pada tahap ini sumber-sumber yang digunakan berasal dari *website*, *paper*, jurnal, buku, dan sumber-sumber yang dapat dipercaya lainnya.

3. Persiapan Alat dan Bahan

Pada tahap ini dilakukan pencarian alat dan bahan yang tepat untuk digunakan pada sistem *smart amplifier*. Selain itu juga dilakukan pencarian komponen elektronik yang akan digunakan pada sistem ini. Komponen-komponen tersebut dapat berupa *module* ataupun rangkaian yang dibuat sendiri. Pemilihan komponen yang akan digunakan ditentukan dengan mempelajari *datasheet* dan juga cara kerjanya. Komponen yang dibutuhkan antara lain tiga buah *loudspeaker*, *programmable gain amplifier* (PGA), *audio amplifier* kelas AB, sebuah termal kamera bertipe Adafruit AMG8833, dan sebuah *microcontroller* Arduino Mega 2560.

4. Perancangan

Pada tahap ini dilakukan perancangan desain mekanik dan elektronik. Sebelum dicetak, desain mekanik disketsa terlebih dahulu menggunakan aplikasi desain 3D agar bentuknya dapat divisualisasi dan disesuaikan dengan mudah. Selanjutnya desain yang telah jadi dicetak menggunakan bahan akrilik. Pada perancangan elektronik, rangkaian disimulasikan terlebih dulu. Kemudian dicoba menggunakan *breadboard* sebelum akhirnya dicetak menggunakan PCB. Komponen elektronik yang berupa *module* dicoba terlebih dulu untuk memastikan fungsinya sesuai yang diharapkan.

5. Pembuatan

Proses pembuatan dilakukan dengan memasang tiap komponen sesuai desain yang telah dibuat sebelumnya. Pada tahap ini juga dilakukan penyolderan komponen pada PCB. Masing-masing *loudspeaker* dipasang dengan *mounting* berupa *spacer* agar beban terdistribusi dengan rata. Komponen elektronik lainnya dibuat bersusun agar mudah jika ingin dipindahkan. Setelah semua komponen terpasang, selanjutnya dilakukan *wiring* agar semua komponen saling terhubung dan juga dapat dilakukan pemrograman. Tahap terakhir adalah pemrograman sistem secara keseluruhan.

6. Pengujian Sistem

Tahap pengujian dilakukan dengan menguji masing-masing komponen terlebih dahulu. Pengujian yang dilakukan antara lain pengujian termal kamera, PGA, dan *audio amplifier*. Pada pengujian

termal kamera, dilihat pembacaan suhu pada objek yaitu manusia. Pengujian PGA dilakukan dengan mengamati besarnya perubahan nilai penguatan terhadap sinyal masukan. Sedangkan pada *audio amplifier* dilihat berapa besar penguatan akhir terhadap sinyal masukan yang terhubung ke *loudspeaker*. Selanjutnya dilakukan pengujian untuk mendeteksi posisi audiens dan penentuan besarnya penguatan atau *gain* agar intensitas suara yang terdengar sesuai yang diharapkan. Pada tahap terakhir dilakukan pengujian sistem secara keseluruhan.

7. Analisa dan Evaluasi

Analisa dilakukan terhadap hasil pengujian sensor dan komponen sehingga karakteristik komponen yang digunakan dapat diketahui untuk dianalisa lebih lanjut. Analisa dilakukan pada respon pembacaan suhu pada termal kamera terhadap posisi dan jarak audiens serta analisa sinyal keluaran PGA terhadap sinyal masukannya. Selanjutnya dilakukan evaluasi agar performa dari pendeteksian termal kamera dapat ditingkatkan akurasi. Nilai penguatan PGA juga diamati agar sinyal keluaran akhir tidak mencapai titik saturasi

8. Penyusunan Laporan Tugas Akhir

Penyusunan laporan merupakan tahap terakhir dari pengerjaan tugas akhir. Semua hal mengenai pengerjaan tugas akhir dari tahap awal berupa studi literatur hingga tahap analisa dan kesimpulan dituliskan dalam buku laporan tugas akhir.

1.6 Sistematika Penulisan

Dalam buku tugas akhir ini, pembahasan mengenai sistem yang dibuat terbagi menjadi lima bab dengan sistematika penulisan sebagai berikut:

- **BAB I: Pendahuluan**
Bab ini meliputi penjelasan latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, metodologi, sistematika penulisan, dan relevansi.
- **BAB II: Tinjauan Pustaka**
Bab ini berisi mengenai teori yang mendasari penyusunan laporan tugas akhir secara umum khususnya teori yang berhubungan dengan komponen yang akan digunakan.
- **BAB III: Perancangan Sistem**
Bab ini menjelaskan tentang perencanaan sistem yang meliputi perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*) untuk pembuatan alat pada tugas akhir ini.

- BAB IV: Pengujian dan Analisis
Bab ini berisi tentang pengujian alat pada sistem yang telah dibuat dan analisa hasil dari pengujian yang telah didapat.
- BAB V: Penutup
Bab ini berisi tentang kesimpulan yang diperoleh dari alat yang telah dibuat serta saran untuk pengembangan lebih lanjut.

1.7 Relevansi

Smart Amplifier yang dibuat pada tugas akhir ini digunakan untuk meminimalisir penggunaan daya dari sebuah *amplifier* dengan mengarahkan dan mengatur intensitas suaranya. Selain itu suara yang terarah juga dapat mengurangi polusi suara akibat dari *speaker* yang tetap mengeluarkan suara dan terkadang suara yang dihasilkan juga terlalu keras. Prinsip kerja dari *Smart Amplifier* adalah dengan mendeteksi keberadaan audiens menggunakan termal kamera kemudian mengatur intensitas suara yang dikeluarkan sesuai keberadaan dan posisi audiens untuk mengatur arah suara tersebut.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tingkat Kenyamanan Pendengaran Manusia

2.1.1 Kebisingan

Menurut Peraturan Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi No. 13 tahun 2011, kebisingan adalah semua suara yang tidak dikehendaki yang bersumber dari alat-alat proses produksi dan/atau alat-alat kerja yang pada tingkat tertentu dapat menimbulkan gangguan pendengaran. Kebisingan sering digunakan sebagai istilah untuk menyatakan suara yang tidak diinginkan yang disebabkan oleh kegiatan manusia atau aktifitas-aktifitas alam. Kebisingan suara banyak kita temui dalam kehidupan sehari-hari. Berdasarkan data WHO (*World Health Organization*), kebisingan yang terjadi di tempat-tempat umum setidaknya ikut menyumbang angka penyandang cacat pada manusia sebanyak 1-1,6 juta orang di negara-negara Eropa barat [5]. Pada tempat-tempat rekreasi sering kali kita temui tingkat suara yang melebihi batas aman seperti klub malam, diskotik, bar, bioskop, konser, acara olahraga dan bahkan di dalam kelas [6]. Selain itu, kebisingan juga dapat timbul dari perangkat hiburan yang dioperasikan pada volume yang tidak aman misalnya *smartphone*, konsol *game* dan televisi. Hal tersebut juga dapat memicu kerusakan pendengaran [7], [8]. WHO memperkirakan bahwa 1,1 miliar anak muda diseluruh dunia dapat beresiko mengalami gangguan pendengaran karena sering mendengarkan suara diluar batas aman. Bahkan hampir setengah dari remaja dan orang dewasa (umur 12 – 35 tahun) di negara dengan penghasilan menengah keatas terpapar tingkat suara yang cenderung merusak pendengaran [3].

2.1.2 Intensitas Suara

Telinga manusia dirancang untuk memproses tingkat suara dengan intensitas tertentu yang ada di lingkungan sekitar. Telinga manusia dapat memproses suara yang sangat pelan hingga sangat keras tergantung intensitasnya. Intensitas suara atau disebut sebagai taraf intensitas (TI) merupakan logaritma yang membandingkan intensitas bunyi (I) dalam satuan W/m^2 dengan taraf intensitas bunyi pendengaran manusia (I_0) sebesar $10^{-12} W/m^2$. Satuan yang digunakan untuk menyatakan intensitas suara adalah desibel (dB).

Jadi, nilai 10dB menyatakan bahwa nilai tersebut lebih kuat 10 kali dibandingkan 1dB. Sedangkan 20dB lebih kuat 100 kali dibandingkan 1dB dan begitu seterusnya. Alat yang digunakan untuk mengukur intensitas suara adalah *Sound Level Meter*. Persamaan taraf intensitas (TI) sebagai berikut.

$$TI = 10 \log \frac{I}{I_0} \quad (1.1)$$

2.1.3 Ambang Batas dan Standar Kebisingan

Faktor yang mempengaruhi tingkat keamanan pendengaran adalah intensitas dan durasi dari suara yang didengar [9]. Intensitas suara tertinggi yang dianggap aman sebesar 85dB selama durasi waktu kurang lebih 8 jam [3]. Setiap kenaikan 3dB maka waktu untuk mendengarkan akan berkurang sebesar setengahnya. Sedangkan perangkat audio yang sering kita gunakan sehari-hari biasanya memiliki intensitas suara sebesar 75dB-136dB [8]. Sering kali kita biasanya mengatur tingkat suara perangkat audio sekitar 75dB-105dB [10]. Selain itu tingkat kebisingan yang dihasilkan di sebuah konser musik berkisar antara 104dB-112dB [10]. Sedangkan tingkat kebisingan yang tinggi juga sering ditemui pada tempat acara olahraga yang berkisar antara 80dB-117dB [11].

Menurut Keputusan Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi No. 70 tahun 2016 Nilai Ambang Batas (NAB) kebisingan sebagai berikut.

Tabel 2.1 Nilai Ambang Batas (NAB) kebisingan.

No	Waktu	Intensitas (dB)
1	8 jam	85
2	4 jam	88
3	2 jam	91
4	1 jam	94
5	30 menit	97
6	15 menit	100
7	7,5 menit	103
8	3,75 menit	106
9	1,88 menit	109

Sedangkan standar tingkat kebisingan menurut Peraturan Menteri Kesehatan No. 48 tahun 2016 sebagai berikut.

Tabel 2.2 Standar tingkat kebisingan.

No	Peruntukan Ruang	Intensitas (dB)
1	Ruang kantor (umum/terbuka)	55-65
2	Ruang kantor (pribadi)	50-55
3	Ruang umum dan kantin	65-75
4	Ruang pertemuan dan rapat	65-70

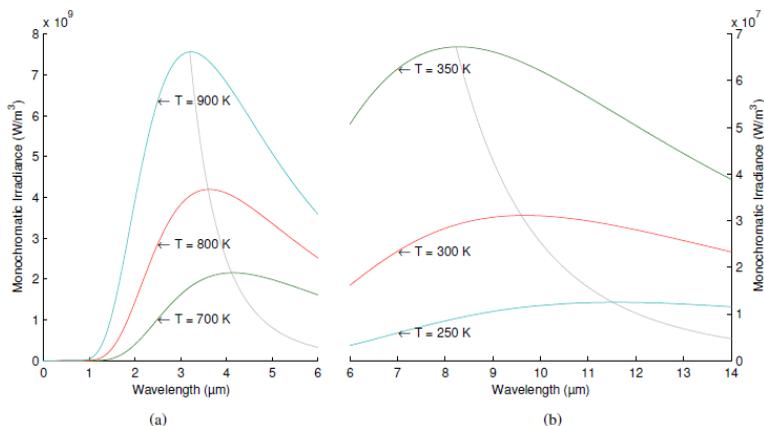
2.2 Radiasi Benda Hitam (*Black Body Radiation*)

Secara teori, semua benda dengan suhu diatas 0° K atau -273° C akan memancarkan radiasi elektromagnetik berupa radiasi inframerah [12]. Radiasi tersebut merepresentasikan perubahan dari energi panas benda menjadi energi elektromagnetik. Hal tersebut juga dikenal sebagai radiasi panas. Radiasi panas yang dilepaskan secara spontan oleh kebanyakan benda dapat disebut sebagai radiasi benda hitam. Benda hitam adalah sebutan bagi benda yang menyerap semua radiasi elektromagnetik yang datang disemua panjang gelombang. Radiasi benda hitam merupakan radiasi elektromagnetik yang dipancarkan oleh benda ketika benda tersebut berada pada kesetimbangan termal pada suhu yang konstan dan seragam [13]. Ketika pada kondisi tersebut, radiasi yang dipancarkan benda hitam hanya tergantung dari suhu atau temperatur benda hitam itu sendiri.

Radiasi elektromagnetik dari benda hitam dapat dihitung menggunakan hukum Planck dengan rumus:

$$W_{\lambda b} = \frac{c_1 \lambda^{-5}}{e^{\frac{c_2}{\lambda T}} - 1} \quad (1.2)$$

C_1 dan C_2 merupakan konstanta, λ merupakan panjang gelombang dalam meter (m), dan T adalah temperatur dalam Kelvin (K). Hasil dari hukum Planck tersebut adalah daya yang diemisikan per area per panjang gelombang yang merupakan fungsi dari λ dan T.



Gambar 2.1 Radiasi elektromagnetik benda hitam (a) *Mid-Wavelength Infrared (MWIR)* (b) *Long-Wavelength Infrared (LWIR)* [14].

Pada gambar 2.1 diatas menunjukkan distribusi radiasi elektromagnetik yang dipancarkan oleh benda hitam pada temperatur yang berbeda. Kurva tersebut menunjukkan seberapa besar energi yang dipancarkan pada tiap panjang gelombang. Dapat kita lihat bahwa puncak dari kurva dengan objek yang lebih panas terlihat lebih tinggi. Pada kurva tersebut dapat juga kita lihat bahwa ada hubungan terbalik antara temperatur dengan panjang gelombang. Ketika temperatur naik, maka panjang gelombangnya akan lebih pendek.

Puncak panjang gelombang untuk suatu temperatur tertentu dapat dihitung menggunakan hukum Wien. Fisikawan asal Jerman yang bernama Wilhelm Wien menjelaskan bahwa panjang gelombang pada intensitas maksimum akan bergeser ke panjang gelombang yang lebih pendek apabila suhunya semakin meningkat. Pernyataan tersebut disebut hukum pergeseran Wien yang dituliskan dalam rumus:

$$\lambda_{\max} = \frac{C}{T} \quad (1.3)$$

λ_{\max} merupakan panjang gelombang intensitas maksimum dalam meter, C adalah konstanta pergeseran Wien sebesar $2.9 \times 10^{-3} \text{mK}$, dan T adalah suhu dalam Kelvin (K). Seperti ditunjukkan pada gambar diatas yang menunjukkan hubungan intensitas radiasi benda hitam terhadap panjang gelombang pada suhu yang berbeda. Dapat dilihat bahwa ketika suhu

benda hitam meningkat, panjang gelombang untuk intensitas maksimum (λ_{maks}) bergeser ke nilai panjang gelombang yang lebih pendek. Aplikasi hukum perpindahan Wien untuk emisi tubuh manusia sebesar kurang lebih 32°C atau 305K menghasilkan puncak panjang gelombang pada:

$$\lambda_{\text{max}} = \frac{2.9 \times 10^{-3} \text{ K.m}}{305 \text{ K}} = 9.5 \mu\text{m}$$

Oleh karena itu peralatan pencitraan termal untuk manusia paling sensitif pada panjang gelombang sekitar 8–14 μm (*Long-Wavelength Infrared*).

2.3 Termal Kamera

Termal kamera atau yang biasa disebut kamera inframerah merupakan sebuah *device* yang membentuk gambar dari pancaran radiasi panas sebuah benda. Alat pengukur radiasi inframerah yang paling sederhana adalah sebuah *pyrometer* yang menghasilkan *output* tunggal menggunakan sebuah sensor tunggal. Sedangkan alat yang lebih canggih biasanya menggunakan banyak sensor (*sensor array*) untuk menghasilkan informasi yang lebih detail [14]. Radiasi yang dipancarkan oleh benda akan diubah ke sinyal elektronik untuk mendapatkan gambar yang dapat dilihat mata [15]. Gambar yang diperoleh dari termal kamera diubah ke gambar yang bisa kita lihat dengan menetapkan warna pada tiap pancaran energi inframerah. Gambar tersebut biasa disebut dengan *thermogram*. Perbedaan termal kamera dengan kamera biasa adalah apabila pada kamera biasa, gambar yang didapatkan merupakan pantulan dari cahaya ke objek sedangkan pada termal kamera, gambar yang didapatkan merupakan representasi pancaran radiasi dari objek. Sehingga termal kamera dapat bekerja tanpa adanya sumber cahaya.

Beberapa keunggulan utama dari termal kamera adalah sebagai berikut.

- Perangkat tidak bersentuhan dengan objek, sehingga perangkat dapat digunakan untuk mengukur suhu benda berbahaya seperti asam.
- Perangkat menghasilkan gambar dua dimensi yang dapat diolah untuk berbagai kepentingan dan analisa.
- Perangkat dapat mengukur benda diam dan bergerak dengan *real time*.
- Perangkat tidak memiliki efek radiasi berbahaya seperti *X-ray imaging* jadi dapat digunakan dalam waktu yang lama.
- Perangkat tidak mengganggu atau mempengaruhi objek.

2.3.1 Jenis-Jenis Sensor Termal Kamera

Ada dua jenis termal kamera yaitu termal kamera dengan *cooled detector* dan *uncooled detector*.

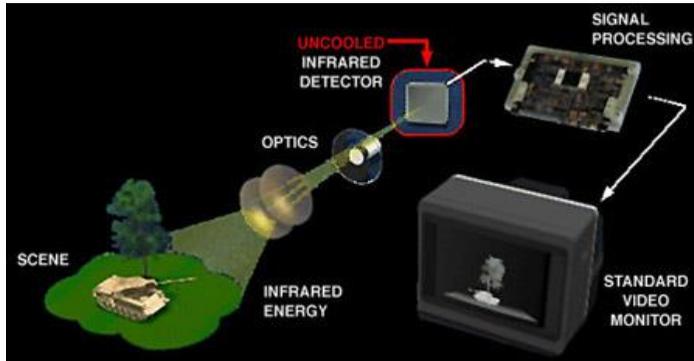
1. *Cooled Detector*

Termal kamera dengan sensor jenis ini menggunakan sensor yang didinginkan dengan sebuah *cryocooler*. *Cryocooler* tersebut membuat suhu sensor pada kamera turun mendekati suhu *cryogenic*. Hal tersebut dilakukan untuk mengurangi *noise* akibat induksi termal di dalam sensor tersebut ke tingkat yang lebih rendah dibandingkan benda atau objek yang sedang dideteksi. Jika tidak didinginkan maka sensor tidak dapat mendeteksi objek karena terganggu oleh radiasi dari sensor itu sendiri. Kamera dengan sensor jenis ini memiliki sensitivitas tinggi untuk mendeteksi perubahan yang sangat kecil sekalipun. Sensor jenis ini memiliki *moving parts* di dalamnya yang akan mengalami aus seiring penggunaan sekitar 10.000 - 13.000 jam pemakaian [16]. Sensor jenis ini mampu mendeteksi inframerah pada area MWIR dan LWIR. Namun kamera dengan sensor jenis ini memiliki beberapa kekurangan yaitu memiliki harga yang relatif mahal, dibutuhkan beberapa waktu untuk pendinginan, dan terdapat beberapa *moving parts* sehingga memiliki durabilitas yang kurang baik untuk jangka waktu yang lama.

2. *Uncooled Detector*

Termal kamera ini tidak membutuhkan pendingin. Desain dari detektor pada sensor disebut *microbolometer*. *Microbolometer* merupakan resistor *vanadium oxide* kecil pada sebuah elemen silikon yang memiliki temperatur koefisien besar dengan isolasi suhu yang baik. *Bolometer* pada dasarnya merupakan termometer resistansi yang memiliki respon pada radiasi. Perubahan suhu objek menyebabkan perubahan suhu *bolometer* yang akan dikonversi menjadi sebuah gambar. Sensor jenis ini hanya mampu mendeteksi inframerah pada area LWIR. Harganya cenderung lebih murah dibandingkan dengan tipe *cooled* sensor. Termal kamera jenis ini memiliki durabilitas yang lebih baik karena tidak terdapat *moving parts* didalamnya.

2.3.2 Cara Kerja Termal Kamera



Gambar 2.2 Cara kerja termal kamera [17].

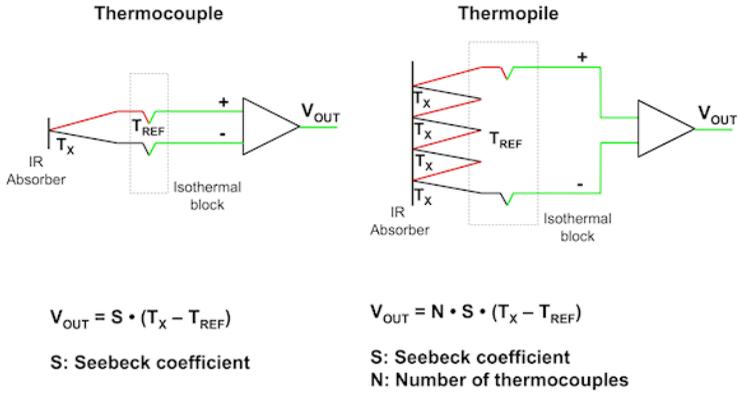
Secara umum cara kerja termal kamera kurang lebih sebagai berikut.

1. Sebuah lensa khusus akan memfokuskan radiasi panas yang dipancarkan semua objek yang tertangkap kamera.
2. Sebuah *infrared array detector* akan membentuk pola dari pancaran radiasi panas secara detail yang disebut *thermogram*. Hanya dibutuhkan sekitar 0,03 detik untuk membuat sebuah *thermogram*. Sebuah *thermogram* didapatkan dari beberapa *array detector*.
3. *Thermogram* yang terbentuk akan diterjemahkan kedalam sinyal listrik untuk diproses pada bagian *signal processing*.
4. Setiap intensitas panas akan diterjemahkan kedalam cahaya tampak untuk ditampilkan di layar.

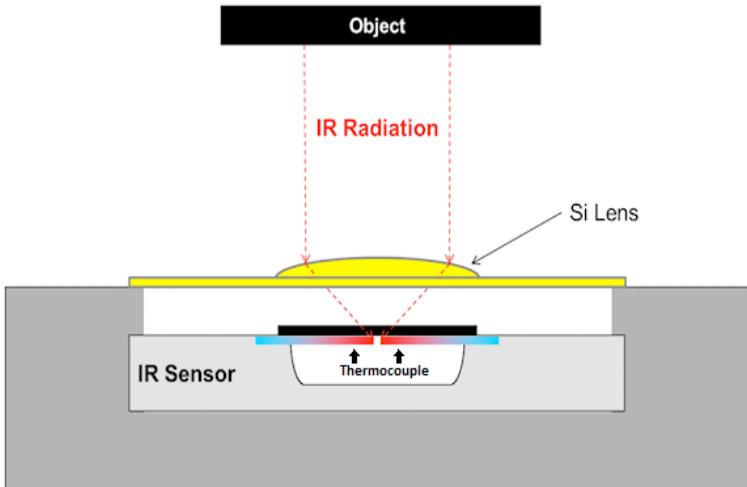
2.4 *Thermopile Array Sensor*

Thermopile merupakan gabungan dari beberapa *thermocouple* yang disusun secara seri atau paralel. Hal tersebut terjadi karena tegangan yang terukur sangat kecil apabila hanya menggunakan sebuah *thermocouple*. Sehingga dibutuhkan beberapa *thermocouple* yang disusun seri yang kemudian disebut *thermopile*. Prinsip kerja *thermoelectric sensor* dan *thermocouple* berdasarkan prinsip *Seebeck Effect*. Jadi prinsip kerja *thermopile* sama dengan *thermocouple* hanya konfigurasi saja yang berbeda dengan disusun seri atau paralel. Kelebihan dari sensor *thermopile* adalah bahwa sensor dapat mendeteksi benda diam ataupun

bergerak. Selain itu sensor yang bertipe *array* dapat digunakan untuk mendeteksi posisi pada bidang dua dimensi termasuk posisi dan keberadaan manusia [18]. Berikut ini perbedaan antara *thermopile* dan *thermocouple*.



Gambar 2.3 *Thermocouple vs thermopile* [19].

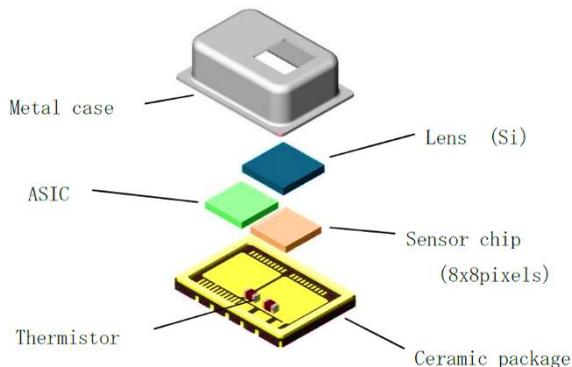


Gambar 2.4 Bagian sensor infrared [19].

Berikut prinsip kerja utama dari sebuah *thermopile sensor*.

1. *Thermopile infrared sensor* memiliki beberapa *thermocouple* yang terhubung seri dimana *hot junction* pada *thermocouple* menempel pada *infrared absorber* yang biasanya terbuat dari silikon.
2. Temperatur dari *absorber* akan naik atau turun karena perbedaan temperatur *absorber* dan objek tergantung radiasi yang diterima.
3. Untuk mengukur temperatur objek, harus dipastikan bahwa objek masuk dalam sudut pandang / *field of view* sensor.
4. Lensa silikon digunakan untuk menahan cahaya tampak karena silikon akan melewatkan cahaya dengan panjang gelombang lebih dari $2\mu\text{m}$.
5. Radiasi yang diterima sensor inframerah akan membuat *thermocouple* menghasilkan tegangan.

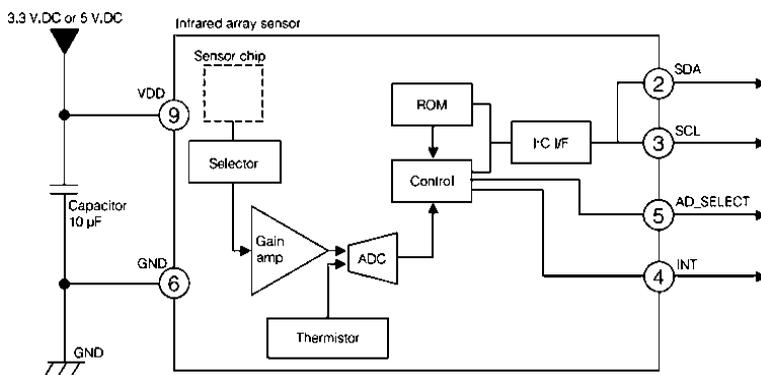
2.5 AMG8833



Gambar 2.5 Bagian utama sensor AMG8833 [20].

Sensor AMG8833 merupakan sebuah *thermopile infrared array sensor* dengan menggunakan teknologi MEMS (*Micro Electro Mechanical System*) buatan Panasonic. Sensor tersebut dikemas dalam *SMD package* sehingga berukuran kecil. AMG88 memiliki beberapa jenis tipe sensor yaitu tergantung dua huruf terakhir dari namanya misalnya AMG8833, angka 88 berarti sensor memiliki piksel sebanyak 8x8. Sedangkan angka 3 pertama menunjukkan tegangan operasi pada 3,3V dan angka 3 kedua menunjukkan *high gain amplification factor*. Pada tugas

akhir ini akan digunakan jenis sensor bertipe AMG8833. Sensor tersebut merupakan jenis *infrared array sensor* yang berjumlah total 64 piksel dengan kemampuan mendeteksi 0°C hingga 80°C dengan toleransi pembacaan $\pm 2,5^\circ\text{C}$. Sensor dapat beroperasi pada tegangan sebesar 3,3VDC dengan batas toleransi $\pm 0,3\text{VDC}$. Sensor tersebut dapat mendeteksi objek dengan jarak maksimal 5meter dengan *viewing angle* sebesar 60°. Sensor mengkonsumsi arus sekitar 4.5mA pada kondisi normal, 0.2mA pada *sleep mode*, dan 0.8mA pada *standby mode*. Jalur komunikasi yang digunakan adalah I2C dengan *address* 0x69 atau 0x68. Sensor ini memiliki fitur agar dapat diatur dengan mode *framerate* 1 fps ataupun 10 fps dan memiliki dua kali *moving average*. Pada sensor ini juga terdapat *thermistor* untuk mengukur suhu lingkungan.

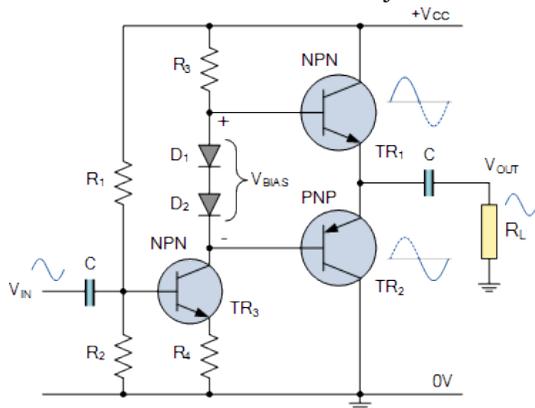


Gambar 2.6 Diagram blok AMG8833 [21].

2.6 Audio Amplifier Kelas AB

Tujuan utama dari penggunaan *amplifier* adalah untuk menghasilkan sinyal keluaran yang mengikuti karakteristik sinyal masukan namun tetap mampu untuk mensuplai beban yang terhubung ke *amplifier* tersebut. Ada dua masalah yang menjadi fokus utama mengenai *amplifier* yaitu masalah efisiensi daya dan distorsi yang dihasilkan. Beberapa jenis *amplifier* yang ada saat ini yaitu kelas A, B, AB, C, D, E, F, G, H, dan S. *Amplifier* kelas A merupakan jenis *amplifier* yang memiliki karakteristik penguatan terbaik dibanding *amplifier* jenis lain. Hal tersebut dikarenakan *amplifier* kelas A bekerja dengan menguatkan sinyal penuh sebesar 360° tanpa adanya distorsi. Namun, *amplifier* tersebut memiliki efisiensi yang rendah

karena transistor akan selalu aktif meskipun tidak ada sinyal yang dikuatkan. Sedangkan *amplifier* kelas B memiliki karakteristik yang berkebalikan dengan *amplifier* kelas A. *Amplifier* kelas B memiliki penguatan tidak sebaik kelas A karena konfigurasi yang digunakan menggunakan dua transistor NPN-PNP yang biasa disebut konfigurasi *push-pull*. Kedua transistor bekerja secara bergantian setiap siklusnya yaitu masing-masing sebesar 180° . Hal tersebut membuat *amplifier* kelas B memiliki efisiensi yang lebih baik dibanding kelas A. Namun memiliki distorsi lebih dibanding *amplifier* kelas A karena terjadi *cross-over distortion* ketika kedua transistor beralih menuju kondisi “on” atau aktif.



Gambar 2.7 Konfigurasi *amplifier* kelas AB [22].

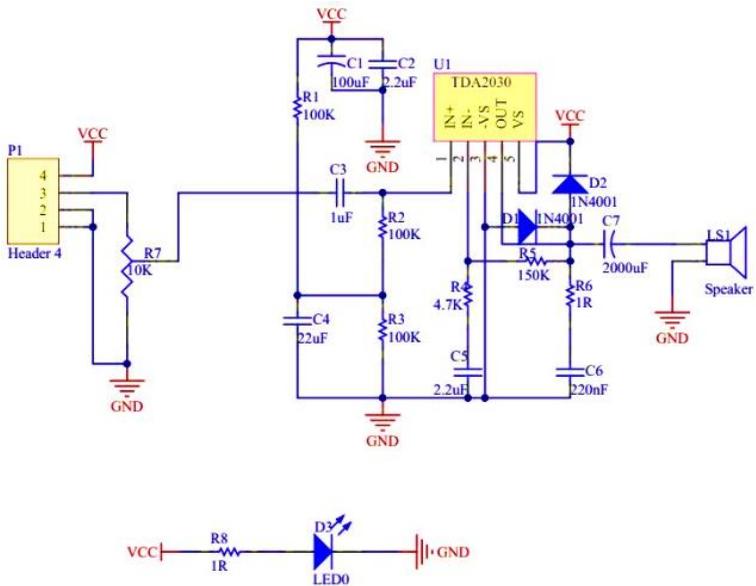
Kekurangan masing-masing dari *amplifier* kelas A dan kelas B mendasari dibuatnya *amplifier* kelas AB. Masalah distorsi yang dihasilkan dari *amplifier* kelas B dapat diatasi dengan menempatkan titik bias transistor sedikit diatas *cut-off*. Tujuan dasar dibuatnya *amplifier* kelas AB adalah dengan mempertahankan konfigurasi kelas B namun dengan meningkatkan linearitasnya. Linearitas *amplifier* kelas B dapat diatasi dengan membiaskan setiap transistor sedikit di atas *cut-off*-nya. Pada gambar diatas terdapat dioda D1 dan D2 yang berfungsi sebagai tegangan bias dari kedua transistor. Sehingga tegangan konstan sekitar 1,4 V membiaskan kedua transistor diatas *cut-off*. Adanya transistor TR3 bertindak sebagai *current source* yang mengatur arus bias yang diperlukan oleh dioda untuk mengatur transistor mana yang akan aktif sesuai sinyal masukan.

2.7 Amplifier TDA2030A



Gambar 2.8 Modul *amplifier* TDA2030A [23].

Modul TDA2030A merupakan sebuah modul *amplifier* dengan IC *amplifier* TDA2030A yang merupakan jenis *amplifier* kelas AB yang diproduksi oleh *STMicroelectronics*. Terdapat beberapa fitur diantaranya *very low harmonic and crossover distortion*, *short circuit protection*, dan *thermal shutdown*. Jadi secara spesifikasi IC tersebut dapat menghasilkan suara yang baik dengan *range frekuensi* 40Hz-15kHz. IC tersebut memiliki proteksi terhadap panas berlebih sampai suhu 150°C. TDA2030 dapat digunakan dengan *single* atau *dual supply circuit*. Power maksimum yang dapat dikeluarkan dengan *supply* 16V sebesar 18watt pada *speaker* 4ohm dan 12watt pada *speaker* 8ohm.



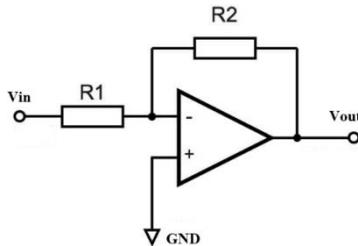
Gambar 2.9 Rangkaian modul TDA2030A [23].

Rangkaian pada gambar 2.9 diatas merupakan konfigurasi rangkaian pada sistem *single supply* untuk IC TDA2030A. Agar rangkaian dapat bekerja pada *single supply* maka dibutuhkan sebuah bias setengah tegangan pada input yaitu pada pembagian tegangan R1 dan R3 sehingga menghasilkan setengah dari VCC. Dioda D1 dan D2 berfungsi sebagai pengaman yang memotong tegangan lebih yang muncul pada output IC. Kapasitor C1 dan C2 berfungsi sebagai filter tegangan dimana C1 berfungsi menghilangkan *ripple* frekuensi rendah dan C2 untuk menghilangkan *ripple* frekuensi tinggi. Sedangkan R6 dan C6 berfungsi membuang *noise* frekuensi tinggi agar suara lebih jernih dan tidak mudah beresilasi karena *feedback*. Kapasitor C3 berfungsi untuk menahan sinyal DC agar tidak mempengaruhi bias.

2.8 Programmable Gain Amplifier (PGA)

Programmable gain amplifier (PGA) merupakan sebuah *operational amplifier* dimana *gain* atau nilai penguatan dapat dikontrol dengan *range* tertentu secara eksternal dengan *input* digital. PGA merupakan salah satu komponen penting pada banyak komunikasi contohnya pada *automatic gain control* pada sebuah *wireless* dan *wireline communication transceivers*. Pada aplikasi di bidang komunikasi tersebut, PGA digunakan untuk mengatur amplitudo dari sinyal masukan yang diterima. PGA akan menguatkan sinyal masukan sebelum masuk ke tahap berikutnya. Ada beberapa parameter performa dari sebuah PGA yaitu *noise*, *linearity*, *gain*, dan *bandwidth*.

Perbedaan dari PGA dengan *op-amp* biasa adalah kemampuan mengubah penguatan tergantung dari *input* yang kita inginkan. Misalnya pada *inverting amplifier* biasa, nilai penguatan bersifat tetap tergantung dari konfigurasi resistor yang kita gunakan seperti gambar dibawah ini

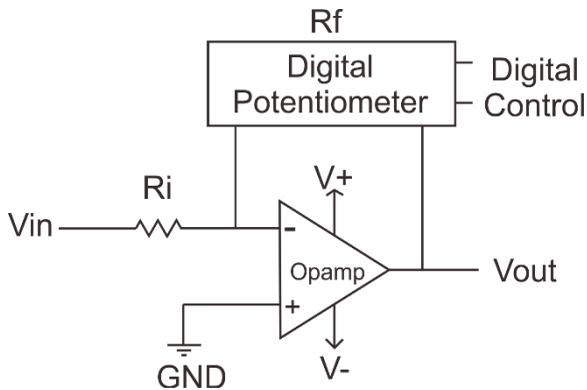


Gambar 2.10 Fixed-gain inverting amplifier

nilai penguatan *inverting amplifier* sebesar:

$$V_{out} = -\frac{R_2}{R_1} V_{in} \quad (1.4)$$

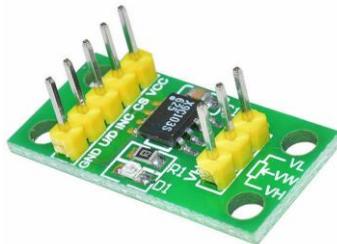
Tentunya untuk mengubah nilai penguatan dari *inverting amplifier* tersebut harus dengan mengubah nilai dari R1 atau R2. Hal tersebut menjadi kurang praktis. Oleh karena itu dibuatlah sebuah PGA. Jadi, pada PGA nilai penguatannya dapat diprogram dengan sebuah perangkat lunak. Hal ini sangat berguna jika dibutuhkan besaran tegangan analog yang bersifat dinamis dan membutuhkan besaran *gain* yang fleksibel. Berikut ini adalah salah satu contoh konfigurasi PGA menggunakan sebuah *digital potentiometer* dan *op-amp*.



Gambar 2.11 PGA menggunakan *digital potentiometer*.

Pada gambar 2.11 tersebut resistor *feedback* (R_f) berupa *digital potentiometer* yang dapat dihubungkan dengan pin digital pada sebuah *microcontroller* untuk mengatur besarnya resistansi yang sesuai agar *gain* dapat diubah. Kemampuan PGA pada rangkaian tersebut akan lebih baik jika *digital potentiometer* yang digunakan memiliki nilai resistansi yang tinggi. Sehingga nilai *gain* dapat diatur menjadi lebih tinggi dengan resolusi penguatan yang lebih teliti.

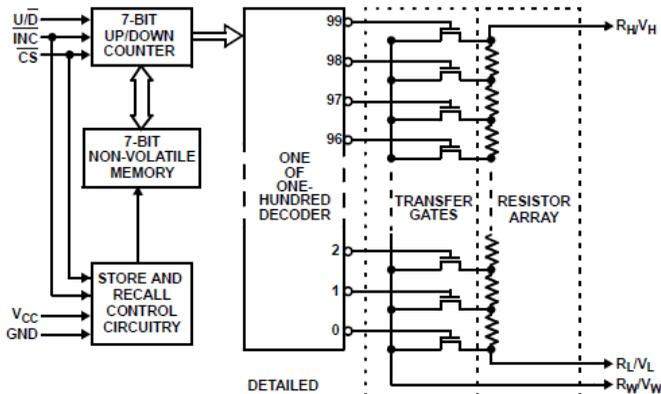
2.9 Digital Potentiometer X9C103



Gambar 2.12 Modul X9C103 [24].

X9C103 merupakan sebuah IC dari keluarga X9Cxxx yang berfungsi sebagai potensiometer atau *variable resistor* yang dapat diatur menggunakan pin digital. X9C103 merupakan potensiometer yang memiliki nilai resistansi sebesar 10K ohm. Jika potensiometer biasanya

diputar untuk mengubah nilai resistansinya, maka potensiometer digital menggunakan pin digital untuk mengubah nilai resistansinya. Pada potensiometer tersebut terdapat resistor *array* sebanyak 100 (0-99) yang dapat diatur menggunakan *three-wire interface* yaitu lewat pin INC, U/D, dan CS. Pada IC tersebut juga terdapat memori untuk menyimpan nilai resistansi sehingga nilainya dapat tersimpan meskipun suplai dimatikan. Berikut ini adalah diagram blok dari X9C103.



Gambar 2.13 Diagram blok X9C103 [25].

Berikut ini merupakan penjelasan dari tiap pin X9C103 dan cara kerjanya.

1. **INC = INCREMENT**, merupakan pin yang digunakan untuk menaikkan atau menurunkan *wiper* yang terhubung ke *resistor array* untuk menaikkan atau menurunkan nilai resistansi. Pin ini tergantung pada pin U/D.
2. **U/D = UP/DOWN**, merupakan pin yang digunakan untuk menentukan apakah pin INC akan naik atau turun.
3. **V_H/R_H** dan **V_L/R_L** = merupakan bagian samping yang sama halnya bagian potensiometer biasa.
4. **V_w/R_w** = merupakan bagian tengah pada potensiometer biasa yang nilai resistansinya berubah terhadap **V_H/R_H** dan **V_L/R_L**.
5. **CS** = merupakan pin yang digunakan untuk menyimpan nilai resistansi pada memori yang terdapat pada IC.

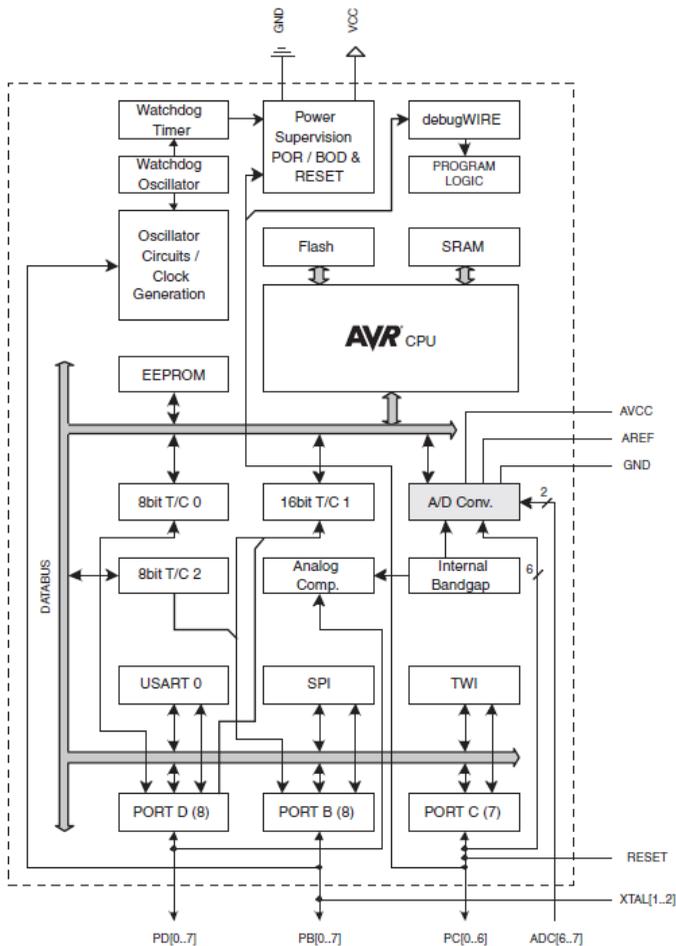
2.10 Microcontroller Arduino Mega 2560



Gambar 2.14 Arduino Mega 2560 [26].

Arduino Mega 2560 merupakan sebuah *board microcontroller* bertipe *open source* yang menggunakan chip ATmega2560. *Microcontroller* tersebut memiliki 54 pin digital *input/output* dimana 15 diantaranya dapat digunakan sebagai *output PWM (Pulse Width Modulation)*. *Microcontroller* tersebut juga memiliki 16 pin analog *input*, 4 pin UART (*Universal Asynchronous Receiver-Transmitter*), osilator kristal sebesar 16 MHz, koneksi USB, sebuah *power jack*, sebuah *header ICSP (In-Circuit Serial Programming)*, dan sebuah tombol reset.

Arduino Mega 2560 dapat diprogram menggunakan *software IDE (Integrated Development Environment)* buatan Arduino menggunakan sebuah kabel USB tanpa perlu *hardware* tambahan. Hal itu karena di dalamnya telah terdapat suatu *bootloader* dan sebuah rangkaian *USB-to serial converter* yang menggunakan chip ATmega8U2. Komunikasi yang digunakan *bootloader* adalah *STK500 protocol*. Kita juga dapat *bypass bootloader* tersebut untuk memprogram Arduino Mega lewat pin ICSP.



Gambar 2.15 Blok diagram Arduino Mega 2560 [27].

Pada Arduino Mega juga telah terdapat *fuse* sebagai pengaman antara *microcontroller* dengan komputer yang kita gunakan. Meskipun komputer sudah memberikan rangkaian pengaman untuk *short circuit* dan *overcurrent*, namun *fuse* tersebut menyediakan pengaman ekstra. Jadi, jika ada arus melebihi 500mA melewati koneksi USB antara komputer dan Arduino, maka *fuse* tersebut akan putus.

Arduino Mega dapat disuplai lewat kabel USB atau suplai dari sumber lain. Suplai yang digunakan akan dipilih secara otomatis. Suplai dapat berasal AC-DC *adapter* ataupun baterai. AC-DC *adapter* dapat dihubungkan melalui konektor 2.1 mm pada Arduino. Sedangkan baterai dapat dihubungkan dengan pin VIN dan GND. Pin VIN dapat menerima tegangan suplai sebesar 6V-20V dengan tegangan *recommended* sebesar 7V-12V saja.

Berikut adalah *power pin* yang dimiliki arduino mega 2560:

1. **VIN:** Pin ini dapat digunakan sebagai sumber *external (unregulated)* untuk daya pada Arduino yang dapat diberi *input* sebesar 7-12V.
2. **5V:** Pin ini merupakan pin 5V hasil dari tegangan yang telah melewati *regulator*.
3. **3V3:** Pin ini merupakan pin 3,3V hasil dari tegangan yang telah melewati *regulator* dengan arus maksimal 50mA.
4. **GND:** *Ground pin*.
5. **IOREF:** Pin ini menyediakan tegangan referensi yang digunakan oleh Arduino untuk memilih besar tegangan *output pin* sebesar 5V atau 3,3V.

Arduino Mega 2560 memiliki 16 pin analog *input* atau biasa disebut ADC (*Analog to Digital Converter*) dengan resolusi 8 dan 10 bit. Selain terdapat pin GPIO (*General Purpose Input Output*), pada Arduino Mega juga terdapat juga pin yang memiliki beberapa fungsi khusus yaitu *serial ports*, *external interrupts*, *PWM (Pulse Width Modulation)*, *SPI (Serial Peripheral Interface)*, dan *TWI (Two Wire Interface)*, dan AREF (*Analog Reference*). Berikut ini untuk lebih jelasnya:

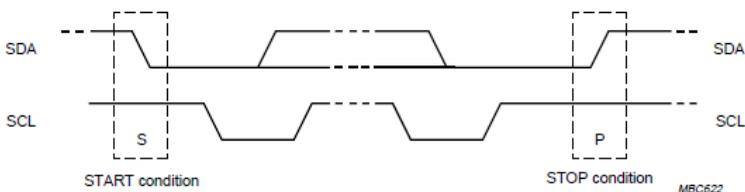
1. **Serial:** Pin ini digunakan untuk berkomunikasi dengan protokol *serial* yang menggunakan dua pin TX (*transmit*) dan RX (*receive*). Setiap TX dan RX berpasangan sebagai berikut; Serial: 0 (RX) and 1 (TX); Serial 1: 19 (RX) and 18 (TX); Serial 2: 17 (RX) and 16 (TX); Serial 3: 15 (RX) and 14 (TX).
2. **External Interrupt:** Pin ini digunakan untuk memicu masuknya program ke program *interrupt*. Pin ini terdiri dari: 2 (*interrupt 0*), 3 (*interrupt 1*), 18 (*interrupt 5*), 19 (*interrupt 4*), 20 (*interrupt 3*), and 21 (*interrupt 2*).
3. **PWM:** Pin ini digunakan untuk membangkitkan sinyal PWM yang terdiri dari pin 2-13 dan 44-46 dengan resolusi sebesar 8 bit.
4. **SPI:** Pin ini digunakan untuk berkomunikasi dengan protokol SPI yang terdiri dari pin 50 (MISO), 51 (MOSI), 52 (SCK), 53 (SS).

5. **TWI:** Pin ini digunakan untuk berkomunikasi dengan protokol I2C yang terdiri dari 20 (SDA) and 21 (SCL).
6. **AREF:** Pin ini digunakan oleh Arduino sebagai tegangan referensi *analog input*.

Arduino Mega 2650 memiliki *flash memory* sebesar 256 KB yang digunakan untuk menyimpan program yang kita buat. Memori tersebut dipakai sebesar 8 KB sebagai *bootloader*, 8 KB sebagai SRAM, dan 4 KB sebagai EEPROM.

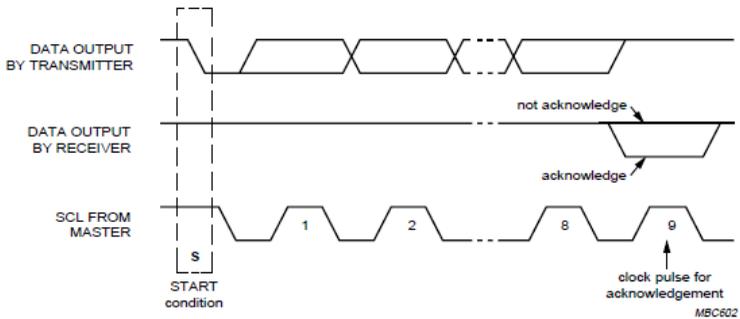
2.11 Komunikasi I2C

Sesuai namanya, komunikasi I2C (*Inter-Integrated Circuit*) adalah protokol komunikasi yang dibuat untuk menyediakan komunikasi antara perangkat-perangkat terintegrasi seperti sensor, EEPROM, RTC, dan lainnya. I2C bersifat *synchronous* karena terdapat *clock* yang menyamakan ketukan antara pengirim dan penerima. I2C menggunakan *two-wire interface* yaitu pin SDA (*Serial Data*) dan SCL (*Serial Clock*). Perangkat yang menggunakan komunikasi I2C memiliki alamat sebesar 1-byte yang terdiri dari 7-bit alamat dan 1-bit perintah R/W (*Read/Write*). Pada pin SDA dan SCL perlu diberikan resistor *pull-up* karena bersifat *open drain*. Pada komunikasi I2C ada yang bertindak sebagai *master* dan *slave*. *Master* merupakan perangkat yang menghasilkan sinyal *clock*, *start*, dan *stop*. Sedangkan *slave* merupakan perangkat yang dialamatkan oleh *master*. Pada komunikasi I2C terdapat beberapa sinyal yaitu, sinyal *start*, *data*, *ACK*, dan *stop*.



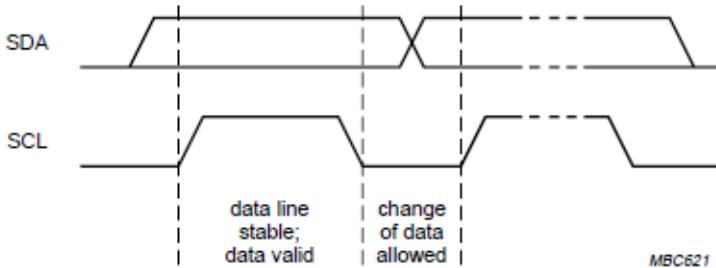
Gambar 2.16 Sinyal *start* dan *stop* [28].

Sinyal *start* merupakan sinyal yang digunakan untuk memulai komunikasi, ditandai dengan kondisi SDA berubah dari HIGH ke LOW ketika SCL dalam kondisi HIGH. Sinyal *stop* merupakan sinyal untuk mengakhiri komunikasi, ditandai dengan kondisi SDA dari LOW ke HIGH ketika SCL dalam kondisi HIGH.



Gambar 2.17 Sinyal ACK [28].

Setiap *receiver* wajib mengirimkan sinyal ACK atau sinyal balasan setiap selesai pengiriman 1-byte atau 8-bit data. Saat itu, *master* harus memberikan *clock* tambahan pada SCL, yaitu *clock* kesembilan untuk memberikan kesempatan *receiver* mengirimkan sinyal ACK ke *transmitter* berupa keadaan LOW pada SDA selama SCL dalam kondisi HIGH.



Gambar 2.18 Kondisi transfer data [28].

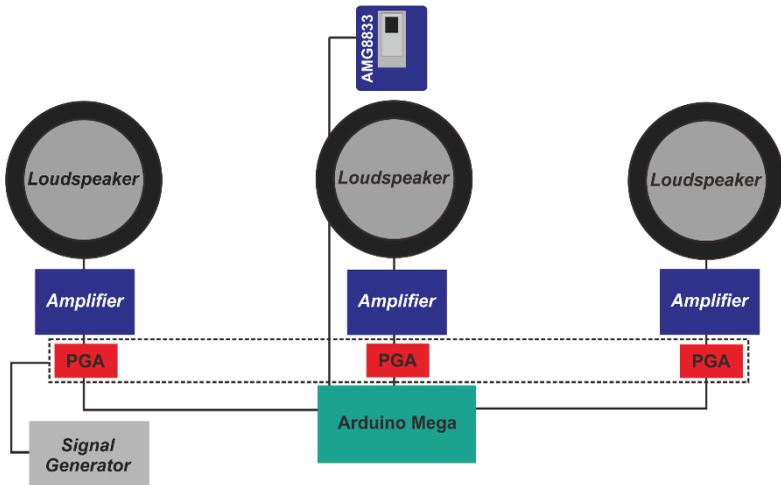
Pada proses transfer data, keadaan data SDA harus stabil dan kondisi SCL harus dalam keadaan HIGH. Sedangkan jika akan melakukan perubahan data, hanya dapat dilakukan ketika SCL dalam kondisi LOW. Jika terjadi perubahan data ketika SCL dalam kondisi HIGH, maka hal tersebut bisa dianggap sinyal *start* atau *stop*.

.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....

BAB III PERANCANGAN SISTEM

3.1. Gambaran Umum Sistem

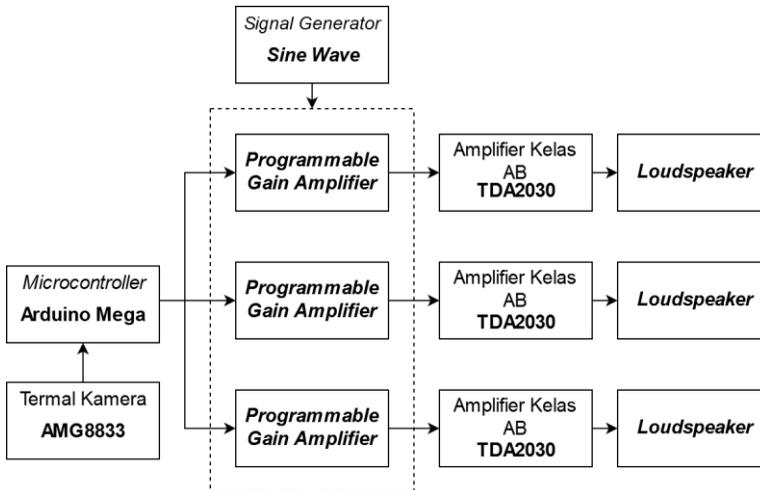
Smart amplifier yang dibuat pada tugas akhir ini secara umum terdiri dari termal kamera, *microcontroller* Arduino Mega, 3 buah PGA, 3 buah *amplifier* kelas AB, 3 buah *loudspeaker*, dan *signal generator* sebagai sumber suara. Termal kamera digunakan untuk mengetahui keberadaan berupa posisi dan jarak audiens. *Microcontroller* digunakan untuk mengakses termal kamera dan mengatur penguatan dari PGA atau *programmable gain amplifier*. PGA digunakan untuk mengatur kuat sinyal atau amplitudo yang berasal dari *signal generator* sebelum masuk ke *amplifier* sebagai *driver* dari *loudspeaker*. Berikut ini adalah gambaran umum sistem yang dibuat.



Gambar 3.1 Gambaran umum sistem *Smart Amplifier*.

Termal kamera yang digunakan bertipe AMG8833 yang merupakan sensor buatan Panasonic. *Microcontroller* yang digunakan adalah Arduino Mega 2560. PGA dibuat menggunakan *op-amp* LM741 dengan konfigurasi *inverting*. Penguatan pada *op-amp* tersebut diatur

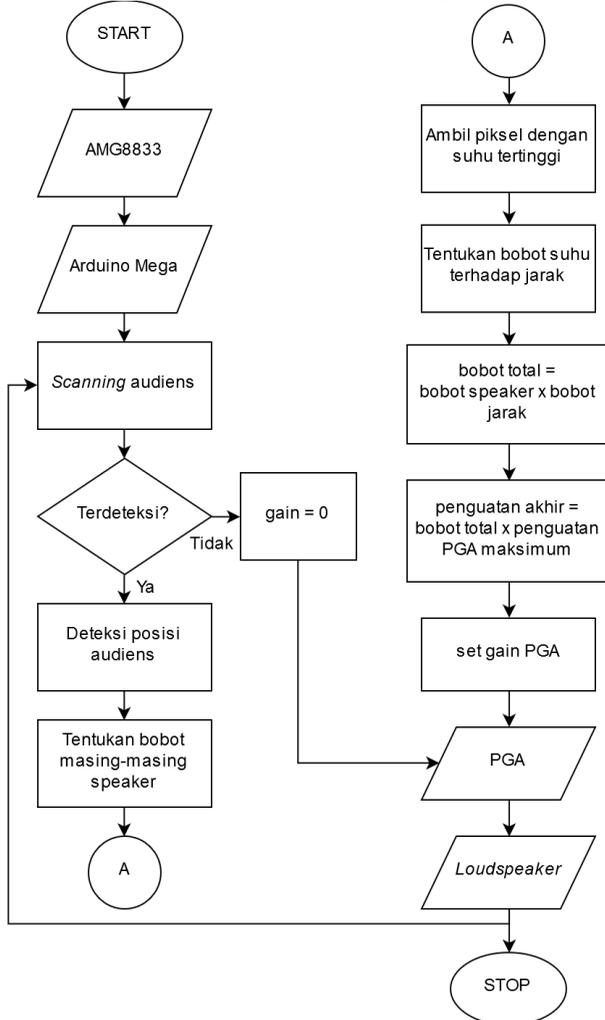
menggunakan potensiometer digital bertipe X9C103 yang digunakan sebagai *feedback* pada *op-amp* tersebut. *Amplifier* yang digunakan merupakan *amplifier* kelas AB dengan modul TDA2030 yang memiliki daya maksimum 18watt. *Loudspeaker* yang digunakan sebesar 4inch dengan impedansi 4ohm dan daya maksimum sebesar 30watt. Sinyal suara yang digunakan dapat berasal dari *smartphone* atau *function generator*. Namun pada pengujian keseluruhan sumber suara yang digunakan berupa gelombang sinus sebesar 650 mVpp dengan frekuensi 1kHz yang berasal dari *function generator*. Berikut adalah diagram blok lengkap dari sistem *smart amplifier*.



Gambar 3.2 Blok diagram sistem *Smart Amplifier*.

Cara kerja dari *smart amplifier* secara singkat sebagai berikut. Termal kamera akan mendeteksi keberadaan audiens dengan mendeteksi panas atau suhunya. Daerah yang dideteksi termal kamera dibagi menjadi 5 posisi sesuai pembagian piksel pada termal kamera. Selanjutnya *microcontroller* akan menentukan dimana posisi dan jarak audiens yang terdeteksi berdasarkan data suhu yang diperoleh dari termal kamera. Setelah menentukan posisi dan jaraknya, *microcontroller* akan mengatur penguatan sinyal suara melalui PGA sebelum sinyal suara tersebut masuk ke *amplifier* dan *loudspeaker*. *Loudspeaker* akan mengeluarkan suara

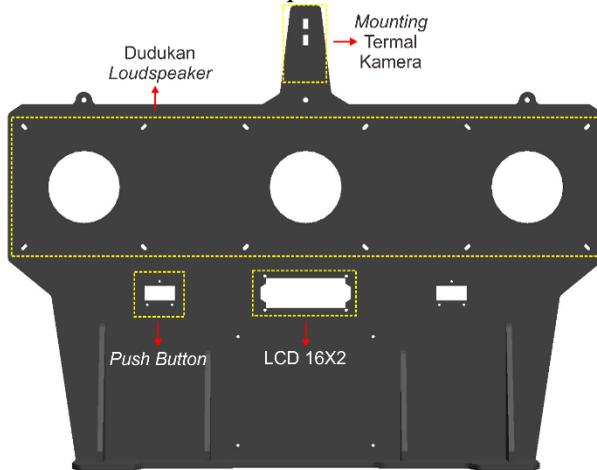
sesuai penguatan dari PGA. Pengaturan penguatan (*gain*) suara dilakukan agar suara yang dihasilkan intensitasnya sesuai dengan posisi dan jarak audiens. Namun jika audiens tidak terdeteksi maka penguatan dari PGA akan bernilai nol dan *loudspeaker* tidak mengeluarkan suara. Berikut ini adalah *flowchart* dari sistem *smart amplifier*.



Gambar 3.3 *Flowchart* sistem *Smart Amplifier*.

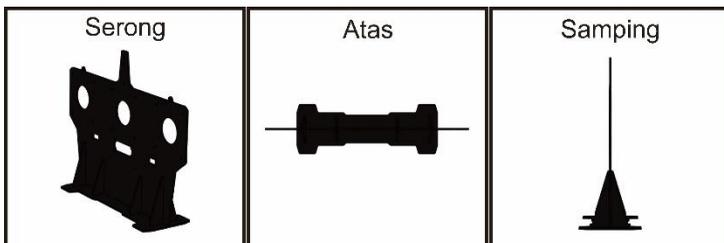
3.2. Perancangan Mekanik Sistem

3.2.1 Akrilik Dudukan *Loudspeaker* dan Termal Kamera



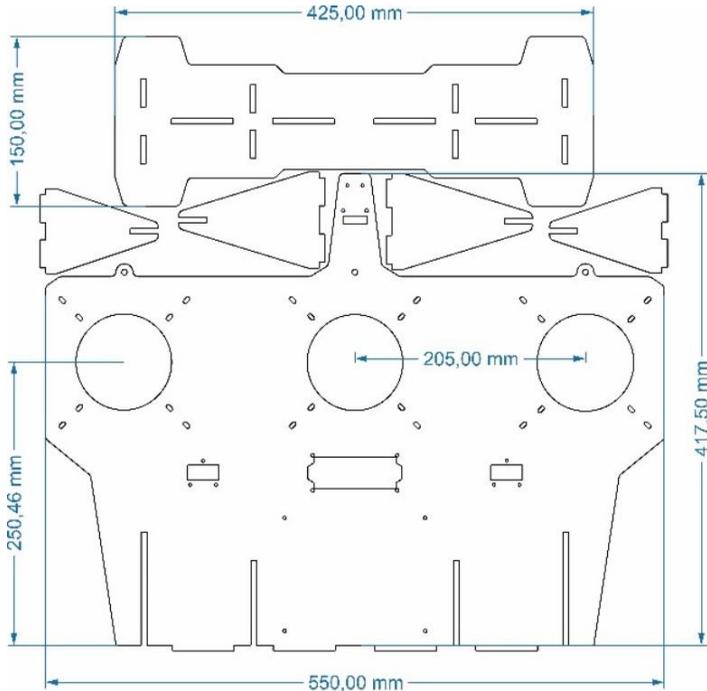
Gambar 3.4 Desain 3D akrilik.

Pada perencanaan desain mekanik, digunakan *software* desain tiga dimensi agar bentuknya mudah diamati. Desain dibuat sedemikian rupa agar mudah mengatur posisi *loudspeaker* dan termal kamera. Desain sistem meliputi dudukan untuk tiga buah speaker 4 inch, lubang tempat LCD, dan dua buah lubang tempat *push button board*. Selain itu disiapkan pula tempat *mounting* termal kamera AMG8833 pada bagian atas. Pada desain awal, posisi peletakan termal kamera berada di atas dan sengaja dibuat tidak tetap agar posisinya dapat diubah dan dapat menyesuaikan dengan sudut pandang yang dibutuhkan.



Gambar 3.5 Tampak serong, atas, dan samping desain akrilik.

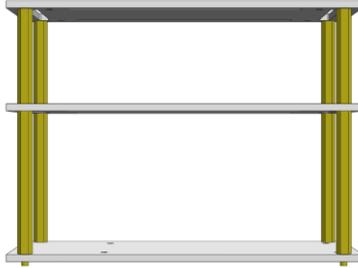
Berikut ini adalah dimensi dari desain akrilik untuk *mounting loudspeaker* dan termal kamera.



Gambar 3.6 Desain 2D *mounting loudspeaker* dan termal kamera.

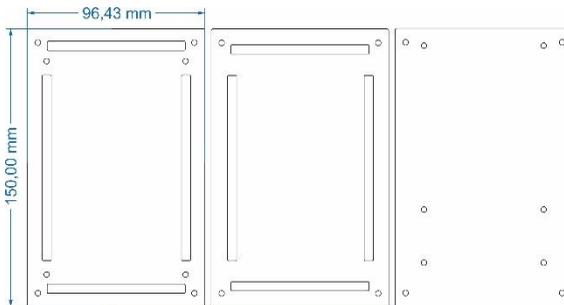
Gambar 3.6 merupakan desain mekanik hasil *import* dari desain tiga dimensi menggunakan *software* dua dimensi agar gambar dapat dicetak menggunakan *laser cutting* dengan bahan akrilik. Pada saat perancangan mekanik, digunakan akrilik dengan tebal 5mm agar kuat menopang 3 buah *loudspeaker*. Pada desain yang dibuat, jarak antara pusat *loudspeaker* sebesar 205 mm dengan jarak dari bawah sebesar 250,46 mm. Agar akrilik dapat berdiri dengan kuat, dibuat penyangga yang berbentuk seperti segitiga sebanyak 4 buah. Secara keseluruhan sistem memiliki dimensi sebesar 550mm x 150mm x 417,5mm.

3.2.2 Akrilik Tempat *Board* Elektronik



Gambar 3.7 Desain 3D tempat elektronik.

Pada perancangan tempat elektronik menyesuaikan dengan panjang dan lebar *board* elektronik yang telah dibuat sebelumnya. Material yang digunakan yaitu akrilik dengan tebal 3mm sebagai dudukan masing-masing *board* agar komponen elektronik tertata dengan rapi dan mudah dalam melakukan *wiring*. Desain dibuat bertingkat agar tidak membutuhkan kabel yang terlalu panjang dan mudah untuk dipindah-pindah.

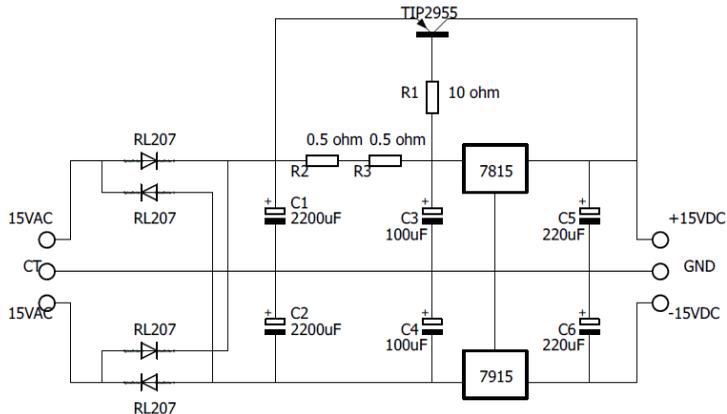


Gambar 3.8 Desain 2D akrilik tempat elektronik.

Pada desain mekanik untuk tempat elektronik digunakan akrilik dengan tebal 3mm. Bagian paling bawah merupakan bagian *power supply* sistem. Bagian tengah merupakan bagian elektronik *main board*. Sedangkan bagian paling atas terdiri dari *board* PGA dan modul TDA2030. Dimensi secara keseluruhan yaitu 150mm x 96,43mm x 125mm.

3.3. Perancangan Elektronik Sistem

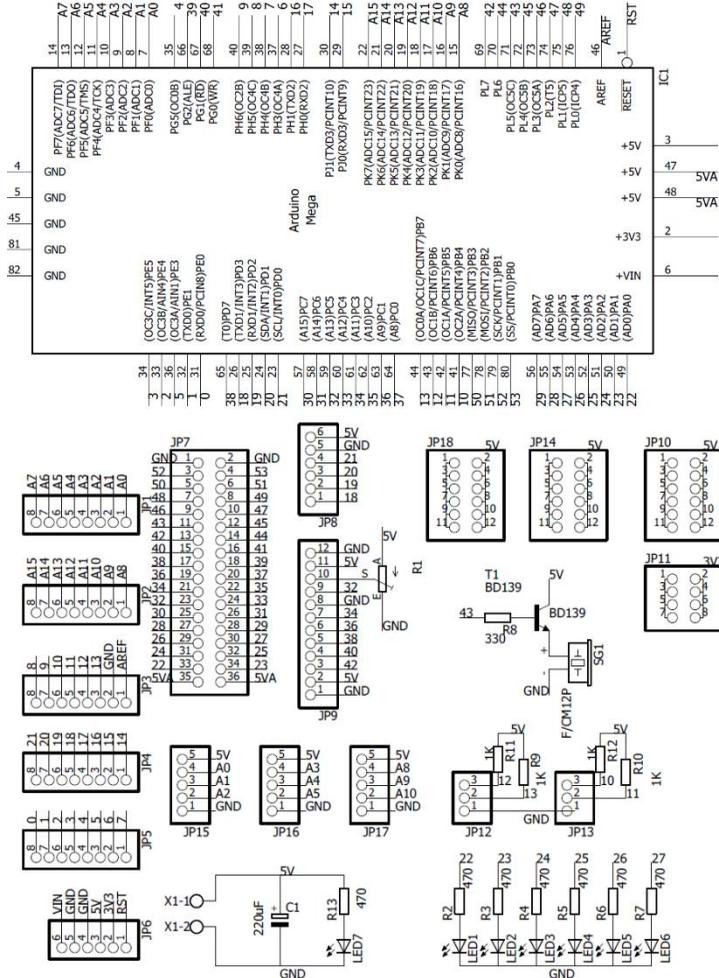
3.3.1 Elektronik Power Supply



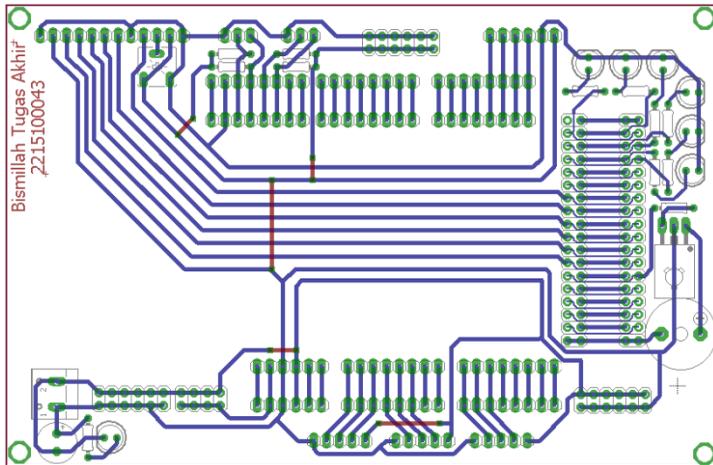
Gambar 3.9 Skematik power supply.

Power supply dibuat dengan sumber utama listrik 220VAC yang diturunkan ke 15VAC dengan sebuah trafo CT dengan arus 2A. Selanjutnya tegangan 15VAC disearahkan dengan dioda RL207 dengan arus maksimum 2A agar menjadi tegangan DC. Tegangan DC yang diperoleh dimasukkan ke kapasitor 2200uF agar menjadi DC sempurna. Oleh karena trafo yang digunakan berjenis CT, maka didapatkan dua tegangan DC sebesar kurang lebih 18VDC setelah melalui *diode rectifier*. Masing-masing tegangan tersebut dimasukkan ke *positive* dan *negative linear voltage regulator* untuk mendapatkan tegangan +15VDC dan -15VDC. IC *linear voltage regulator* yang digunakan yaitu 7815 sebagai *postive voltage regulator* dan 7915 sebagai *negatif voltage regulator*. Sedangkan untuk mendapatkan tegangan 5V digunakan modul *buck converter* dengan menurunkan tegangan 15V. Tegangan 5V tersebut digunakan untuk mensuplai berbagai perangkat yang membutuhkan tegangan 5V. Tegangan $\pm 15V$ digunakan untuk *supply* op-amp. Sedangkan TDA2030 menggunakan *supply* 15V.

3.3.2 Elektronik *Microcontroller Board*

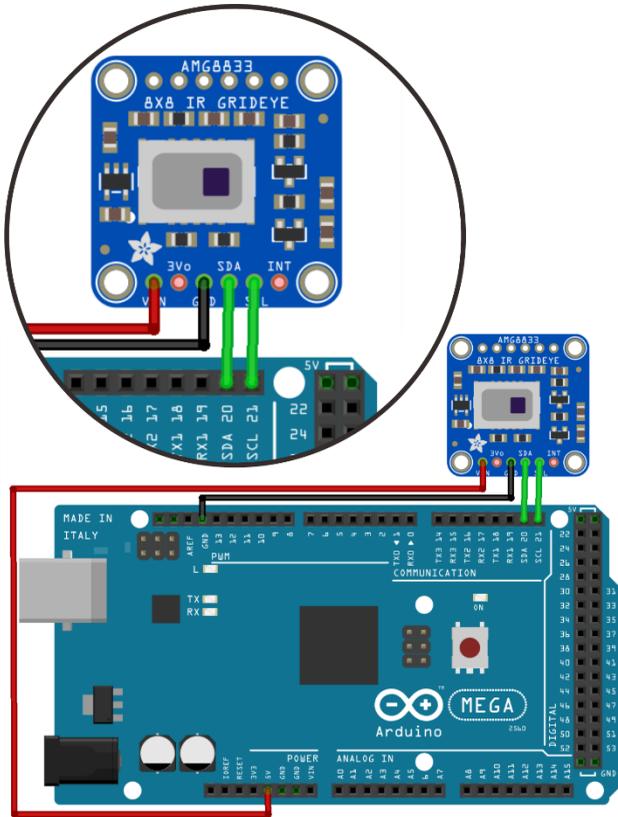


Gambar 3.10 Skematik *microcontroller board* Arduino Mega.



Gambar 3.11 Hasil routing skematik *microcontroller board*.

Pada *microcontroller board* terdapat indikator LED daya dan sebuah kapasitor untuk menstabilkan tegangan. Terdapat juga beberapa *pinheader* daya 5V dan 3,3V apabila dibutuhkan. Selain itu juga terdapat *extension pin* dari Arduino Mega dan *extension pin* dari beberapa komponen yang digunakan seperti pin LCD, *push button*, *digital potentiometer*, dan termal kamera. Termal kamera AMG8833 dihubungkan dengan Arduino ke pin D1 (SDA) dan D0 (SCL). Pada *board* dilengkapi dengan 6 buah LED (3 berwarna merah dan 3 berwarna hijau), 4 buah *push button*, dan sebuah *buzzer*. Hal tersebut sangat berguna untuk mempermudah melakukan *debugging* ketika melakukan pemrograman. LED dan *buzzer* digunakan untuk berbagai indikator, sedangkan *push button* digunakan sebagai *input* untuk mengatur dan mengubah berbagai variabel yang dibutuhkan. *Supply* sebesar 5V berasal dari *buck converter* yang terhubung melalui *pinscrew*.



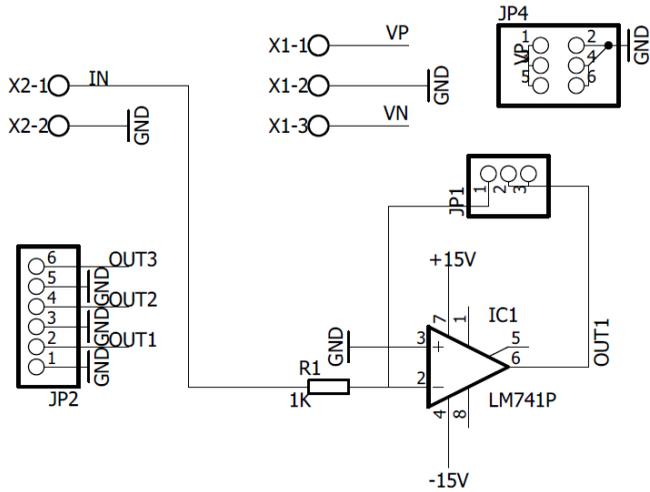
fritzing

Gambar 3.12 Wiring diagram AMG8833 dengan Arduino.

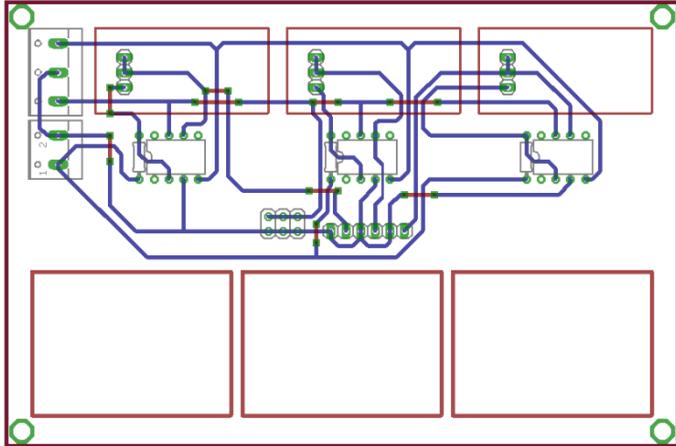
Tabel 3.1 Koneksi AMG8833 dengan Arduino

Pin AMG8833	Pin Arduino Mega
VCC	5V
GND	GND
SCL	D0
SDA	D1
INT	-
ADD	-

3.3.3 Elektronik PGA



Gambar 3.13 Skematik PGA.



Gambar 3.14 Hasil routing skematik PGA.

Programmable gain amplifier dibuat dengan menggunakan op-amp LM741 karena mudah didapat. Konfigurasi yang dipakai adalah *inverting amplifier* dengan *dual supply* sebesar $\pm 15V$. Hal tersebut dikarenakan suara yang dihasilkan terdengar lebih jernih dan penguatan yang dihasilkan dapat mendekati atau bernilai 0. Jadi, dengan kata lain tidak ada suara yang dikuatkan. Penguatan maksimum yang digunakan dalam rancangan sebesar 10 kali yaitu dengan *range* 0-10 kali. Besarnya nilai penguatan maksimum dapat dihitung dengan menggunakan persamaan penguatan *inverting op-amp* seperti berikut:

$$Av = -\frac{Rf}{Ri} \quad (2.1)$$

$$Av = -\frac{10K}{1K}$$

$$Av = -10$$

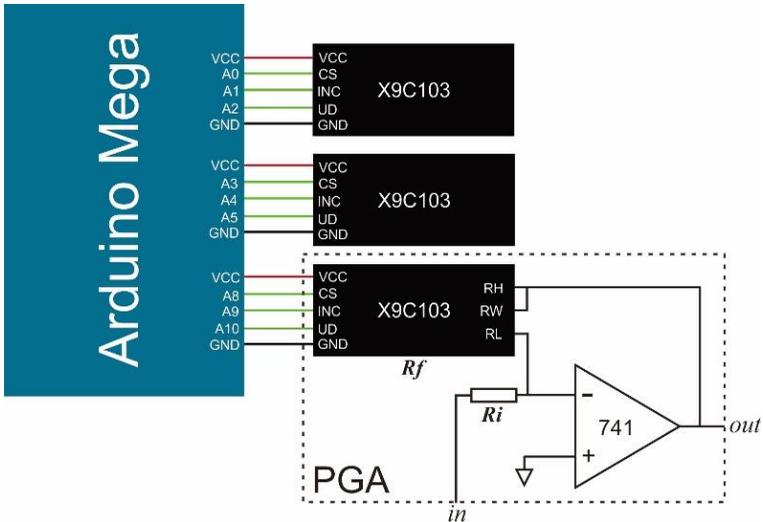
dimana Rf adalah nilai resistansi dari resistor *feedback* yang berupa *digital potentiometer* X9C103 dengan resistansi maksimum sebesar 10K ohm agar dapat dikontrol melalui Arduino. Sedangkan Ri merupakan resistor yang nilainya tetap yaitu sebesar 1K ohm. Amplitudo sinyal *input* yang digunakan sebesar 650mVpp untuk menghindari gangguan *noise* yang dapat mengganggu suara yang dihasilkan. Hal tersebut dapat terjadi karena jika amplitudo sinyal *input* terlalu kecil maka *noise* lebih kuat dan mengganggu sinyal yang telah dikuatkan. Amplitudo sinyal *output* PGA maksimum yang digunakan pada rancangan sebesar 6500mVpp atau 6,5Vpp menggunakan persamaan berikut:

$$Vout = Av \cdot Vin \quad (2.2)$$

$$Vout = -10 \times 650mVpp$$

$$Vout = -6500mVpp$$

$$Vout = -6,5Vpp$$



Gambar 3.15 Wiring diagram PGA dengan Arduino.

Tabel 3.2 Koneksi X9C103 dengan Arduino.

No	Pin X9C103	Pin Arduino Mega
1	VCC	5V
	CS	A0
	INC	A1
	UD	A2
	GND	GND
2	VCC	5V
	CS	A3
	INC	A4
	UD	A5
	GND	GND
3	VCC	5V
	CS	A8
	INC	A9
	UD	A10
	GND	GND

3.4. Perancangan *Software*

3.4.1 Mengakses Sensor AMG8833

Termal kamera AMG8833 merupakan sebuah sensor suhu berjenis *thermopile array* dengan jumlah piksel sebanyak 64. Data *raw* tiap piksel terdapat pada *temperature register* dengan alamat 0x80 - 0xFF yang dapat dibaca dengan komunikasi I2C. Masing-masing piksel memiliki dua buah alamat *register* misal 0x80 dan 0x81 untuk piksel pertama. Untuk lebih lengkapnya berikut cara mendapatkan data suhu tiap piksel dari termal kamera AMG8833.

1. *Microcontroller* akan membaca data pada *temperature register* yang berisi data *raw* tiap piksel yang terdiri dari 2byte (16bit) data. Namun hanya 12bit data yang terisi, dimana 12bit terdiri dari 11bit data suhu dan sebuah *sign bit* untuk menandakan suhu positif atau negatif.
2. *Microcontroller* akan membaca data *raw* pada alamat pertama yaitu 0x80 maka akan didapat 1byte data *raw* pertama.
3. 1byte data *raw* yang terbaca pertama akan digeser untuk selanjutnya ditambahkan dengan 1byte data selanjutnya pada alamat 0x81 untuk mendapatkan data *raw* piksel pertama.
4. Setelah 2byte data *raw* diterima, maka data *raw* tersebut dapat dikonversi untuk mendapatkan data suhu sebuah piksel dengan mengalikan dengan 0,25.
5. Tahap diatas diulang untuk mendapatkan data suhu yang lain.

Pengambilan data suhu tiap piksel pada sensor AMG8833 akan lebih mudah apabila menggunakan *library* dari Adafruit yaitu <Adafruit_AMG88xx.h> melalui komunikasi I2C daripada mengaksesnya secara manual. Namun cara kerja *library* tersebut kurang lebih sama seperti cara manual diatas. *Library* tersebut telah menyediakan fungsi 'readPixels' yang akan menyimpan data pembacaan suhu 64 pixel. Hasil pembacaan tiap piksel dapat disimpan disebuah variabel bertipe *array* bernama 'pixel' sebanyak 64 seperti berikut.

```
//read all pixels and stored to pixel variable  
amg.readPixels(pixel);
```

Ada dua *frame rate* yang dapat digunakan yaitu 1 fps dan 10 fps. *Frame rate* 1 fps memiliki pembacaan yang lebih stabil dan tahan terhadap *noise* namun pembacaan atau *scanning* yang lebih lambat. Sedangkan 10 fps dapat melakukan *scan* secara cepat namun pembacaannya kurang stabil dan sangat fluktuatif. Pada tugas akhir ini digunakan *frame rate* sebesar 1 fps dengan cara mengaturnya melalui *library* seperti berikut.

```
//set to 1 FPS
_fpsc.FPS = AMG88xx_FPS_1;
write8(AMG88xx_FPSC, _fpsc.get());
```

3.4.2 Mengirim Data Suhu ke PC

Untuk mempermudah pengamatan, data suhu yang terbaca dikirim ke PC melalui komunikasi serial dengan *interface* USB dan ditampilkan di aplikasi Processing untuk divisualisasi. Berikut potongan program untuk mengirim data dari Arduino ke PC.

```
/*=====kirim data suhu ke PC=====*/
Serial.print("amg8833\n");
for(int i=0; i<64; i++)
{
  Serial.print(pixel[i]);
  Serial.print(" ");
  if ((i+1)%8 == 0)
  {
    Serial.print("\n");
  }
}
Serial.print(batas);
Serial.print(" ");
Serial.print("\n");
/*=====*/
```

Pada potongan program diatas juga turut dikirim *threshold* yang digunakan sebagai batas untuk mendeteksi keberadaan audiens. Nilai *threshold* tersebut digunakan untuk membedakan

warna piksel yang mendeteksi audiens yaitu dengan warna merah. Sedangkan suhu tertinggi ditandai dengan warna kuning Setelah data suhu dikirim kemudian data suhu diterima melalui aplikasi Processing dan ditampilkan dengan visualisasi warna tiap piksel yang akan berubah sesuai suhu yang terbaca. Berikut adalah potongan program yang digunakan untuk menerima data suhu dari Arduino lewat aplikasi Processing.

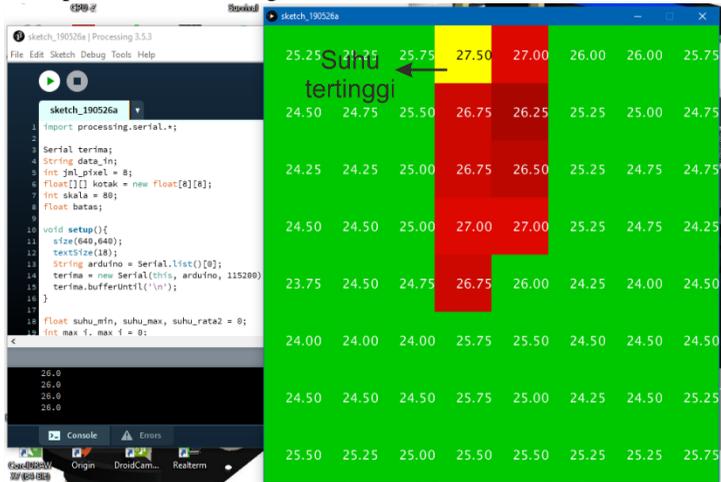
```

/*=====terima data suhu =====*/
int a,b = 0;
float[] nilai_suhu;
float[] nilai_threshold;
void serialEvent(Serial data){
  data_in = trim(data.readString());

  if (data_in.length() == 7)
  {
    if (data_in.equals("amg8833")){
      b = 1;
    }
  }
  else if (b > 0 && b <=8){
    nilai_suhu = float(split(data_in,' '));
    for (a=0; a<jml_pixel; a++)
    {
      kotak[a][b-1] = nilai_suhu[a];
    }
    b++;
  }
  else if (b == 9){
    nilai_threshold = float(split(data_in,' '));
    batas = nilai_threshold[0];
    b = 0;
  }
}
/*=====*/

```

Berikut adalah tampilan dari data suhu yang telah diterima PC dan ditampilkan di Processing.



Gambar 3.16 Tampilan visualisasi piksel di Processing.

3.4.3 Mengakses *Digital Potentiometer X9C103* dan Mengatur *Gain PGA*

PGA yang digunakan dapat diatur penguatannya dengan mengganti nilai resistansi dari *digital potentiometer X9C103* yang menjadi *feedback* dari *op-amp 741*. *Digital potentiometer* dapat diatur nilai resistansinya dengan memberikan perintah logika yang tepat pada masing-masing pin CS, U/D dan INC sesuai cara kerjanya seperti pada tabel 3.3. Berikut cara kerja untuk mengatur nilai resistansi dari *digital potentiometer X9C103*.

1. Pada tahap pertama yaitu dengan memberikan logika LOW pada pin CS agar nilai resistansi dapat diubah.
2. Untuk menaikkan resistansi, pin U/D diberi logika HIGH lalu ketika pin INC terjadi perubahan dari HIGH ke LOW maka resistansi akan naik satu *step*.
3. Untuk mengurangi resistansi, pin U/D diberi logika LOW lalu ketika pin INC terjadi perubahan dari HIGH ke LOW maka resistansi akan turun satu *step*.

Tabel 3.3 *Logic mode digital potentiometer X9C103.*

$\overline{\text{CS}}$	$\overline{\text{INC}}$	$\text{U}/\overline{\text{D}}$	Mode
L	$\text{H} \rightarrow \text{L}$	H	<i>Wiper Up</i>
L	$\text{H} \rightarrow \text{L}$	L	<i>Wiper Down</i>
$\text{L} \rightarrow \text{H}$	H	X	<i>Store Wiper Position</i>
H	X	X	<i>Standby Current</i>
$\text{L} \rightarrow \text{H}$	L	X	<i>No Store, Return to Standby</i>
$\text{H} \rightarrow \text{L}$	L	H	<i>Wiper Up (not recommended)</i>
$\text{H} \rightarrow \text{L}$	L	L	<i>Wiper Down (not recommended)</i>

Agar lebih mudah dalam melakukan perubahan nilai resistansi, maka digunakan *library* <FastX9CXXX.h>. Pada *library* tersebut telah disediakan fungsi ‘JumpToStep’ untuk mengubah nilai resistansi dengan *input* berupa nilai *integer* 1-100. Secara teori, nilai tersebut mencerminkan nilai resistansi dari 0 ohm – 10K ohm. Penguatan PGA akan berubah jika kita mengubah nilai resistansi dari *digital potentiometer* sebagai R_f pada rangkaian PGA. Jadi untuk mengubah nilai resistansi sekaligus mengubah penguatan PGA kita dapat menggunakan perintah sebagai berikut:

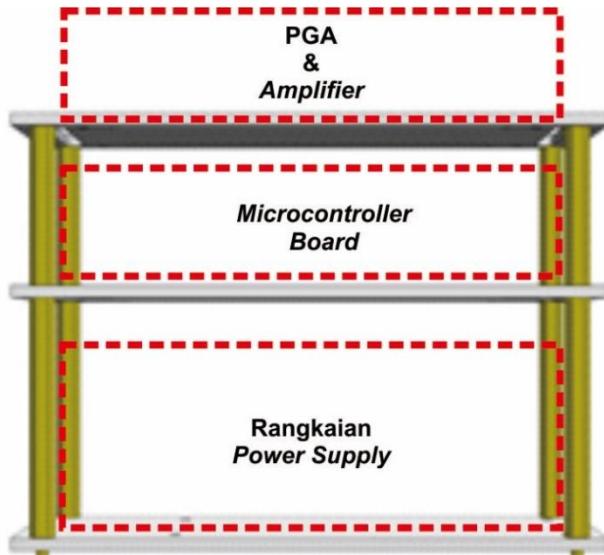
```
//set digital pot value  
pga1.JumpToStep(/*input value 1-100 here*/);  
pga2.JumpToStep(/*input value 1-100 here*/);  
pga3.JumpToStep(/*input value 1-100 here*/);
```

Perintah diatas digunakan untuk mengatur penguatan dari masing-masing PGA. Jadi, nilai integer yang dimasukan seperti merepresentasikan berapa persen dari penguatan PGA yang akan kita gunakan. Misalnya kita memasukkan perintah `pga1.JumpToStep(50);` maka nilai resistansi dari *digital potentiometer* kurang lebih sebesar 50% dari resistansi maksimal. Hal tersebut juga berlaku pada penguatan PGA, dimana nilai penguatan akan bernilai setengah dari penguatan maksimum.

3.5. Implementasi Sistem *Smart Amplifier*

3.5.1 Memasang Keseluruhan Komponen Elektronik

Pada tahap ini, semua rangkaian elektronik yang telah dibuat dipasang dan ditempatkan pada akrilik tempat elektronik. Bagian paling bawah berisi sebuah trafo, rangkaian *power supply* $\pm 15V$ dan sebuah *buck converter* untuk menurunkan tegangan 15V ke 5V. Bagian tengah berisi *board* Arduino. Sedangkan paling atas terdiri dari rangkaian PGA dan tiga buah *amplifier* TDA2030. Berikut ini adalah gambaran rancangan penempatan semua komponen dan rangkaian elektronik yang akan dibuat.



Gambar 3.17 Rancangan penempatan komponen elektronik.

3.5.2 Pemasangan Termal Kamera dan *Loudspeaker*

Pada tahap ini, termal kamera dipasang pada bagian atas dan dihadapkan sedikit kebawah agar sudut pandang kamera bagian atas tidak mendeteksi *background* yang dapat mengganggu. Jadi, termal kamera sedikit dihadapkan kebawah dengan menggunakan dudukan hasil cetak 3D. Ketiga *loudspeaker* dipasang menggunakan spacer 3cm agar distribusi bobotnya merata, LCD dan *push button* dipasang

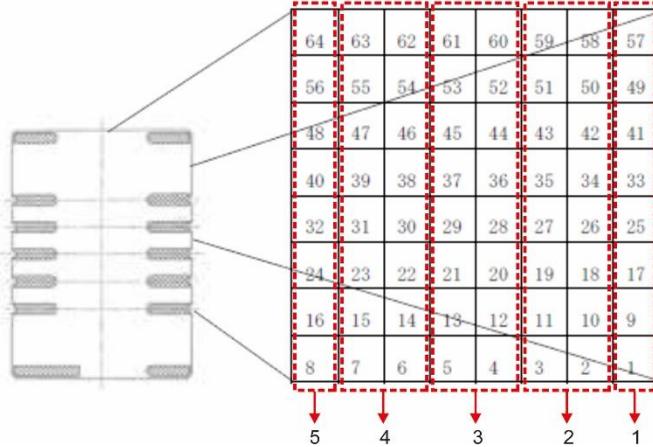
dengan baut 3mm pada lubang yang sudah disediakan. LCD digunakan untuk menampilkan berbagai informasi yang dibutuhkan. Sedangkan *push button* digunakan sebagai *input* untuk mengganti berbagai variabel yang dibutuhkan.

3.5.3 Mendeteksi Posisi Audiens

Metode yang digunakan untuk mengetahui keberadaan audiens yaitu dengan menggunakan *threshold* atau batas nilai tertentu. Apabila suhu yang terdeteksi melewati *threshold* yang sudah ditentukan, maka dapat dianggap ada audiens yang berada di posisi tertentu dalam *frame* termal kamera. *Threshold* yang digunakan pada sistem ini sebesar 25°C. Berikut adalah potongan program yang digunakan.

```
jml_detect = 0;
for(int i=0; i<64; i++)
{
    if(pixel[i] >= batas)
    {
        pos_detect[jml_detect] = i+1;
        jml_detect++;
    }
}
```

Selanjutnya untuk menentukan posisi audiens diperlukan metode yang tepat agar posisi audiens dapat dideteksi dengan baik. Metode yang digunakan dalam tugas akhir ini yaitu dengan membagi daerah termal kamera menjadi 5 bagian seperti pada gambar 3.18 dibawah ini. Hal tersebut dilakukan karena jumlah piksel dan sudut pandang yang terbatas serta keterbatasan kemampuan *microcontroller* yang digunakan. Pembagian menjadi 5 daerah tersebut juga dikarenakan jumlah *loudspeaker* yang digunakan hanya berjumlah 3 buah saja. Jadi, kelima posisi tersebut adalah posisi paling kiri, posisi diantara *loudspeaker* kiri dan tengah, posisi tengah, posisi diantara *loudspeaker* kanan dan tengah, dan yang terakhir posisi paling kanan.



Gambar 3.18 Pembagian piksel termal kamera.

Setelah posisi audiens ditentukan, maka langkah selanjutnya adalah memberikan bobot pada masing-masing *loudspeaker* agar suara dapat diarahkan sesuai posisi yang telah berhasil dideteksi. Pemberian bobot pada masing-masing *loudspeaker* bertujuan agar intensitas suara yang dikeluarkan *loudspeaker* sesuai dengan posisi dari audiens. Jadi, *loudspeaker* yang memiliki bobot 1 akan mengeluarkan suara dengan intensitas terbesar. Sedangkan *loudspeaker* yang memiliki bobot 0 akan mati. Hal tersebut dikarenakan nantinya bobot dari masing-masing *loudspeaker* akan dikalikan dengan penguatan dari PGA. Berikut adalah tabel untuk bobot masing-masing *loudspeakaer*.

Tabel 3.4 Pembagian bobot masing-masing *loudspeaker*.

Posisi	Bobot		
	<i>Loudspeaker 1</i>	<i>Loudspeaker 2</i>	<i>Loudspeaker 3</i>
1	1	0	0
2	0,5	0,5	0
3	0	1	0
4	0	0,5	0,5
5	0	0	1

Berikut ini adalah potongan program yang digunakan untuk membagi piksel kedalam 5 bagian.

```
for(int i=0; i<=jml_detect; i++){  
  
if(pos_detect[i]==1||pos_detect[i]==9||pos_detect[i]==17||pos_detect[i]==25||pos_detect[i]==33||pos_detect[i]==41||pos_detect[i]==49||pos_detect[i]==57){  
    if(pixel[(pos_detect[i]-1)] >= pixel_max[1]){  
        pixel_max[1] = pixel[(pos_detect[i]-1)];  
    }  
  
if(pos_detect[i]==2||pos_detect[i]==10||pos_detect[i]==18||pos_detect[i]==26||pos_detect[i]==34||pos_detect[i]==42||pos_detect[i]==50||pos_detect[i]==58||pos_detect[i]==3||pos_detect[i]==11||pos_detect[i]==19||pos_detect[i]==27||pos_detect[i]==35||pos_detect[i]==43||pos_detect[i]==51||pos_detect[i]==59){  
    if(pixel[(pos_detect[i]-1)] >= pixel_max[2]){  
        pixel_max[2] = pixel[(pos_detect[i]-1)];  
    }  
  
if(pos_detect[i]==4||pos_detect[i]==12||pos_detect[i]==20||pos_detect[i]==28||pos_detect[i]==36||pos_detect[i]==44||pos_detect[i]==52||pos_detect[i]==60||pos_detect[i]==5||pos_detect[i]==13||pos_detect[i]==21||pos_detect[i]==29||pos_detect[i]==37||pos_detect[i]==45||pos_detect[i]==53||pos_detect[i]==61){  
    if(pixel[(pos_detect[i]-1)] >= pixel_max[3]){  
        pixel_max[3] = pixel[(pos_detect[i]-1)];  
    }  
  
if(pos_detect[i]==6||pos_detect[i]==14||pos_detect[i]==22||pos_detect[i]==30||pos_detect[i]==38||pos_detect[i]==46||pos_detect[i]==54||pos_detect[i]==62||pos_detect[i]==7||pos_detect[i]==15||pos_detect[i]==23||pos_detect[i]==31||pos_detect[i]==39||pos_detect[i]==47||pos_detect[i]==55||pos_detect[i]==63){  
    if(pixel[(pos_detect[i]-1)] >= pixel_max[4]){
```

```

        pixel_max[4] = pixel[(pos_detect[i]-1)];
    }

    if(pos_detect[i]==8||pos_detect[i]==16||pos_detect[i]==24||pos_detect[i]==32||pos_detect[i]==40||pos_detect[i]==48||pos_detect[i]==56||pos_detect[i]==64){
        if(pixel[(pos_detect[i]-1)] >= pixel_max[5]){
            pixel_max[5] = pixel[(pos_detect[i]-1)];
        }
    }
}

```

Setiap posisi akan diambil sebuah piksel dengan pembacaan suhu tertinggi yang disimpan pada variabel `pixel_max[i]`. Jadi, ada 5 buah variabel `pixel_max[i]` yang berisi nilai pembacaan suhu tertinggi pada tiap posisi (1-5). Selanjutnya kelima variabel tersebut dibandingkan dan akan diambil diposisi manakah piksel dengan intensitas tertinggi untuk menentukan dimanakah posisi audiens berada. Berikut potongan program yang digunakan untuk menentukan posisi audiens.

```

pixel_pos = 0;
daerah = 0;
for(int i=1; i<=5; i++){
    if(pixel_max[i] > pixel_pos){
        pixel_pos = pixel_max[i];
        daerah = i;}
posisi[daerah] = true;

```

3.5.1 Mendeteksi Jarak Audiens

Metode yang digunakan untuk menentukan jarak audiens dari *loudspeaker* yaitu dengan mengambil data suhu tertinggi dari piksel-piksel yang mendeteksi keberadaan audiens yang memiliki suhu diatas *threshold* seperti yang sudah dijelaskan pada sub bab sebelumnya. Selanjutnya dilakukan *range* ulang atau pemberian bobot dari nilai piksel yang didapat sehingga didapatkan nilai dari 0 hingga 1.

Hanya satu piksel yang digunakan yaitu piksel dengan pembacaan suhu tertinggi karena pembacaan termal kamera biasanya hanya terdapat satu piksel yang dominan dibanding piksel disebelahnya. Hal tersebut terjadi karena tiap piksel terdapat *gap* atau jarak sudut pandang sebesar $\pm 5,6^\circ$ berdasarkan *datasheet*. Jadi, pada tahap ini, posisi audiens sudah berhasil dideteksi dan juga telah didapatkan nilai piksel dengan intensitas suhu tertinggi. Selanjutnya piksel tersebut akan dilakukan pengubahan nilai menjadi 0 hingga 1 sebagai bobot pada pembacaan suhu terhadap jarak untuk dikalikan dengan dengan bobot *loudspeaker* dan penguatan PGA. Jadi, semakin dekat audiens dengan termal kamera tentu suhu yang terbaca akan semakin tinggi maka nilai hasil *range* ulang yang didapat akan semakin kecil agar suara yang dihasilkan semakin pelan. Jika suhu yang terbaca semakin dingin namun masih diatas *threshold* maka nilai bobot akan semakin tinggi agar suara semakin keras.

3.5.2 Menentukan *Gain* PGA

Metode yang digunakan dalam menentukan *gain* PGA yaitu dengan mengalikan parameter-parameter yang sudah didapatkan sebelumnya yaitu bobot masing-masing *loudspeaker*, bobot pembacaan piksel terhadap jarak, dan penguatan maksimum PGA yang dikehendaki. Jadi secara matematis, penguatan akhir PGA yang akan digunakan ditulis dengan rumus.

$$Gain = \text{bobot loudspeaker} \times \text{bobot jarak} \times \text{penguatan max PGA} \quad (2.3)$$

Berdasarkan persamaan diatas, nilai penguatan akhir merupakan nilai yang akan dimasukan ke *digital potentiometer* sebagai perangkat untuk mengatur *gain* dari PGA. Jadi, nilai *gain* yang didapat berupa nilai *integer* dengan *range* 1-100. Namun penguatan yang digunakan tidak seluruhnya melainkan tergantung dari amplitudo maksimum yang dapat dikeluarkan oleh *amplifier* agar tidak saturasi.

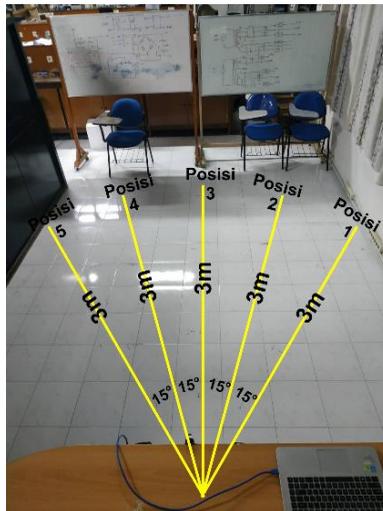
BAB IV

PENGUJIAN DAN ANALISIS

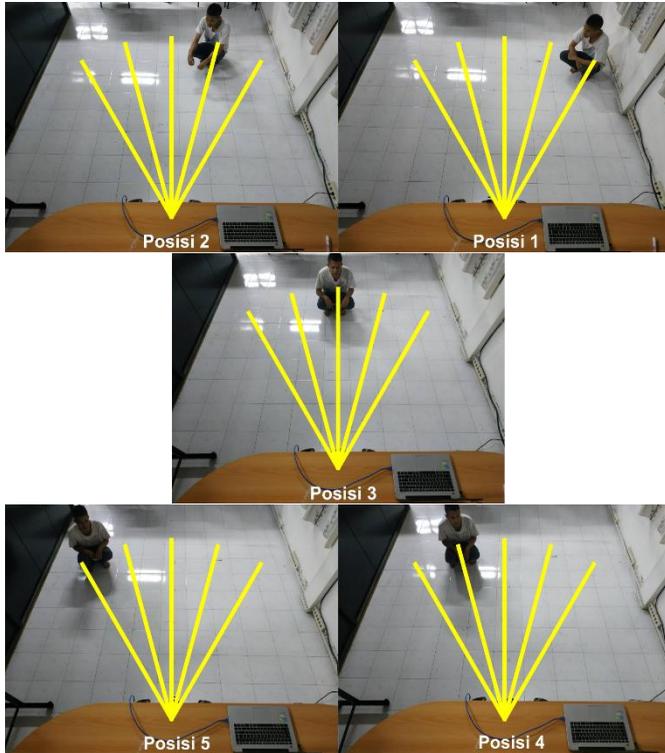
Pada bab ini akan dibahas mengenai pengujian dari sistem yang telah dirancang pada bab sebelumnya. Bab ini bertujuan untuk mendapatkan data yang kemudian dilakukan analisa pada masing-masing pengujian. Pengujian dilakukan dengan tetap mengikuti batasan-batasan masalah yang telah dirumuskan pada tugas akhir ini.

4.1 Pengujian Termal Kamera AMG8833

Pengujian dilakukan dengan cara mengukur suhu yang terbaca pada termal kamera pada jarak 0,5meter – 3meter. Suhu yang diambil merupakan piksel dengan suhu tertinggi yang terbaca apabila melewati *threshold* dengan bantuan aplikasi Processing. Pengujian dilakukan untuk mendapatkan hubungan antara pembacaan suhu audiens dengan jarak audiens. Pengujian dilakukan di dalam ruangan ber-AC dan *background* dibuat sedemikian rupa agar terbaca seragam dan tidak ada piksel yang melewati *threshold* ketika tidak ada manusia sebagai objek yang dideteksi. Pengujian dilakukan pada pada posisi 1 hingga 5 seperti pada gambar dibawah ini dengan jarak maksimum 3 meter.



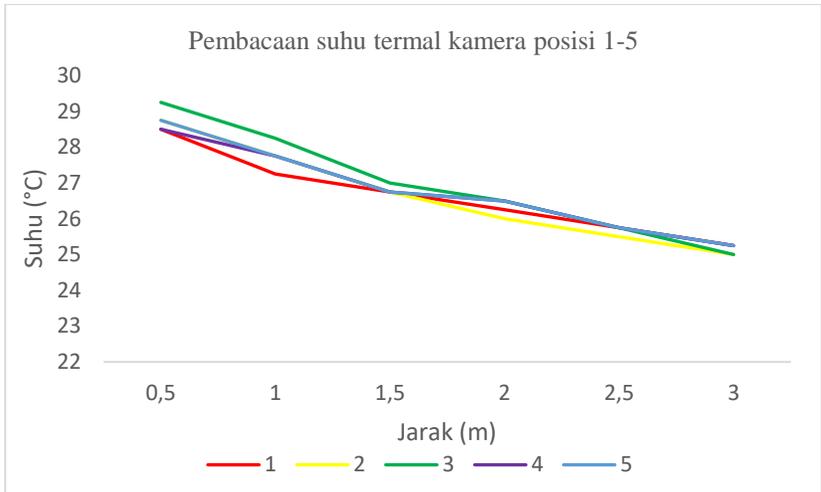
Gambar 4.1 Posisi dan jarak pada pengujian termal kamera AMG8833.



Gambar 3.19 Posisi audiens saat pengujian termal kamera.

Tabel 4.1 Pembacaan suhu termal kamera.

Jarak (m)	Posisi				
	1	2	3	4	5
	Suhu (°C)				
0,5	28,50	28,75	29,25	28,50	28,75
1	27,25	27,75	28,25	27,75	27,75
1,5	26,75	26,75	27,00	26,75	26,75
2	26,25	26,00	26,50	26,50	26,50
2,5	25,75	25,50	25,75	25,75	25,75
3	25,25	25,00	25,00	25,25	25,25



Gambar 4.2 Grafik suhu pembacaan termal kamera.

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, pembacaan suhu tidak stabil dan cenderung fluktuatif serta sangat tergantung pada suhu ruangan. Jika objek yang dideteksi berbeda dari yang digunakan sebagai sampel maka pembacaan suhunya dapat berubah meski jaraknya sama. Data yang dituliskan pada tabel merupakan pembacaan ketika suhu paling stabil. Pada tabel diatas dapat dilihat bahwa suhu yang terbaca dari jarak 0,5meter – 3meter memiliki perbedaan yang cenderung kecil. Hal tersebut terjadi karena suhu ruangan yang dingin dan suhu objek yang dideteksi memiliki suhu tubuh yang cenderung dingin. Pada jarak 3meter suhu yang terdeteksi sangat tidak stabil dan cenderung tidak terdeteksi. Pada grafik terlihat jika suhu memiliki hubungan yang cenderung linear dengan jaraknya. Jadi, semakin dekat dengan termal kamera maka suhu objek akan terbaca semakin panas.

4.2 Pengujian *Digital Potentiometer X9C103*

Pada pengujian *digital potentiometer X9C103* dilakukan dengan membandingkan nilai resistansi antara perhitungan dan pengukuran menggunakan multimeter. Ketika dilakukan pengujian, nilai resistansi *digital potentiometer* diatur dengan memasukan nilai *integer* antara 1-100 dengan interval 5.



Gambar 4.3 Proses pengujian *digital potentiometer* X9C103.

4.2.1 Perbandingan Nilai Resistansi *Digital Potentiometer* X9C103 Berdasarkan Perhitungan dan Pengukuran

Modul X9C103 memiliki resistansi maksimum sebesar 10K ohm dan dapat diatur nilai resistansinya dengan cara memasukan nilai *integer* 1-100 melalui program dengan *library* <FastX9CXXX.h>. Oleh karena itu secara teori, nilai 1-100 merupakan nilai yang mewakili 0 ohm – 10K ohm. Namun pada kenyataannya tidak demikian dan pasti ada *error* yang terjadi. Secara teori, untuk menghitung nilai resistansi pada *digital potentiometer* X9C103 digunakan rumus.

$$R = \frac{\text{nilai pot}}{100} \times 10000 \quad (4.1)$$

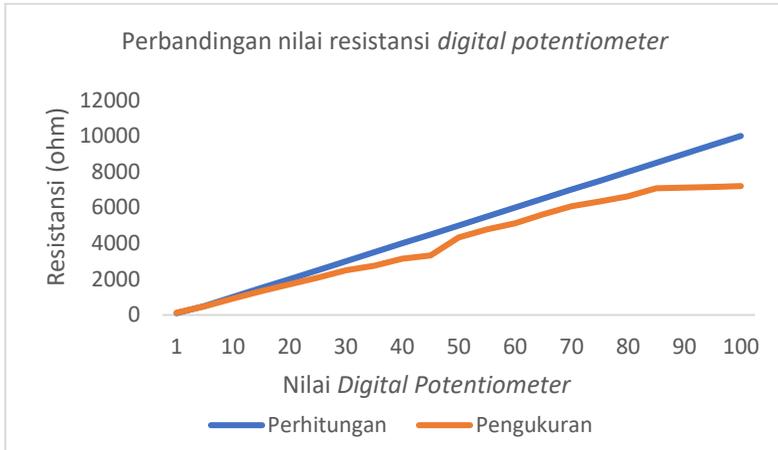
R merupakan resistansi dari *digital potentiometer* yang seharusnya terukur, nilai pot merupakan nilai *integer* 1-100 yang dimasukkan ke *digital potentiometer* melalui program.

Tabel 4.2 Perbandingan nilai resistansi *digital potentiometer* X9C103.

Nilai Pot (1-100)	Perhitungan Nilai Resistansi Rf (Ohm)	Pengukuran Nilai Resistansi Rf (Ohm)	Error (%)
1	100	128	28,00
5	500	490	2,00
10	1000	924	7,60
15	1500	1336	10,93
20	2000	1710	14,50
25	2500	2091	16,36
30	3000	2491	16,97
35	3500	2742	21,66
40	4000	3151	21,23
45	4500	3315	26,33
50	5000	4330	13,40
55	5500	4770	13,27
60	6000	5120	14,67
65	6500	5620	13,54
70	7000	6070	13,29
75	7500	6340	15,47
80	8000	6630	17,13
85	8500	7080	16,71
90	9000	7110	21,00
95	9500	7150	24,74
100	10000	7200	28,00
Rata-rata			16,99

Berdasarkan pengujian diatas didapatkan kesalahan yang bervariasi. Namun kesalahan terhitung cukup besar karena nilai maksimumnya saja hanya terbaca sekitar 7,2K ohm dibandingkan

spesifikasinya yaitu 10K ohm. Hal tersebut dapat terjadi karena kesalahan ketika pengukuran, kesalahan *library* ataupun karena memang dari segi *hardware* nilai resistansinya hanya memiliki nilai maksimum 7,2K. Kesalahan rata-rata pada pengujian X9C103 yaitu sebesar 16,99%.



Gambar 4.4 Grafik perbandingan nilai resistansi *digital potentiometer*.

4.3 Pengujian *Output* PGA

Pada pengujian PGA dilakukan dengan membandingkan nilai penguatan hasil perhitungan dan pengukuran. Selain itu juga dilakukan perbandingan amplitudo sinyal *output* hasil perhitungan dengan hasil pengukuran. Perhitungan nilai penguatan berdasarkan nilai R_f yang berasal dari *digital potentiometer* sesuai tabel 4.3 dengan menggunakan persamaan 2.1. Selanjutnya dihitung juga amplitudo sinyal *output* yang seharusnya terukur berdasarkan rumus penguatan *non-inverting amplifier* pada persamaan 2.2 dengan menggunakan R_i sebesar 1K ohm jika dalam kondisi ideal. Kemudian dilakukan juga perhitungan dan pengukuran jika menggunakan nilai resistor R_f terukur dan R_i yang telah terpasang pada rangkaian. Sinyal *input* berasal dari *smartphone* dengan aplikasi Frequency Generator berupa gelombang sinus dengan amplitudo 650 mVpp.



Gambar 4.5 Proses pengujian PGA.

4.3.1 Output PGA Berdasarkan Perhitungan

Pada perhitungan kali ini didapatkan dua hasil yaitu nilai penguatan dan besarnya amplitudo sinyal *output* yang seharusnya dikeluarkan oleh PGA jika dalam kondisi ideal. Nilai penguatan PGA dihitung dengan persamaan 2.1 dengan R_f dari tabel 4.2 dan R_i sebesar 1K ohm. Sedangkan perhitungan sinyal *output* hasil penguatan dilakukan dengan persamaan 2.2 atau dengan mengalikan nilai penguatan dengan 650 mVpp sebagai sinyal *input*. Berikut hasil perhitungan nilai penguatan dan amplitudo sinyal *output* PGA.

Tabel 4.3 Perhitungan nilai penguatan dan amplitudo sinyal *output* PGA.

Nilai Resistansi Rf (Ohm)	Penguatan (\times)	Amplitudo Sinyal <i>Output</i> (mVpp)
100	0,1	65
500	0,5	325
1000	1	650
1500	1,5	975
2000	2	1300
2500	2,5	1625
3000	3	1950
3500	3,5	2275
4000	4	2600
4500	4,5	2925
5000	5	3250
5500	5,5	3575
6000	6	3900
6500	6,5	4225
7000	7	4550
7500	7,5	4875
8000	8	5200
8500	8,5	5525
9000	9	5850
9500	9,5	6175
10000	10	6500

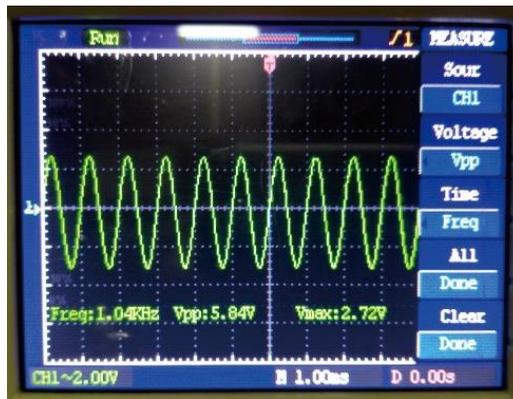
4.3.2 *Output* PGA Berdasarkan Pengujian

Pada pengujian ini dilakukan pengukuran amplitudo sinyal menggunakan osiloskop. Amplitudo sinyal yang terukur dibandingkan dengan amplitudo sinyal *output* yang berasal dari

perhitungan. Amplitudo sinyal *output* tersebut dihitung berdasarkan perhitungan nilai penguatan. Nilai penguatan tersebut dihitung berdasarkan nilai resistansi terukur dari *digital potentiometer* pada tabel 4.2. Jadi pada tabel dibawah ini, nilai penguatan berasal dari perhitungan dengan persamaan 2.1 dengan R_f pada tabel 4.2 dan R_i sebesar 993ohm yang berasal dari pengukuran resistor yang terpasang pada rangkaian.



(a)

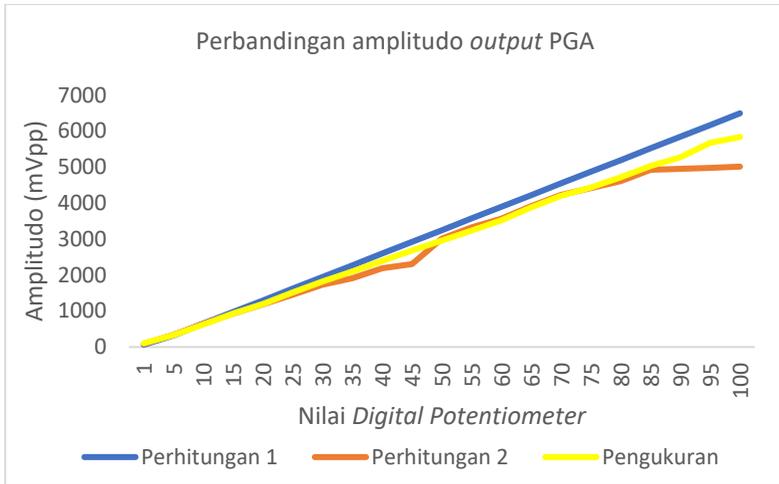


(b)

Gambar 4.6 Hasil *output* PGA dengan amplitudo (a)104mVpp dan (b)5,84Vpp.

Tabel 4.4 Pengujian nilai penguatan PGA.

Nilai Resistansi Rf (Ohm)	Perhitungan		Pengukuran		Error (%)
	Penguatan (×)	Amplitudo Sinyal Output (mVpp)	Penguatan (×)	Amplitudo Sinyal Output (mVpp)	
128	0,14	89,17	0,16	104	16,63
490	0,53	341,37	0,51	332	2,75
924	0,99	643,73	0,96	624	3,06
1336	1,43	930,76	1,43	928	0,30
1710	1,83	1191,32	1,85	1200	0,73
2091	2,24	1456,75	2,34	1520	4,34
2491	2,67	1735,42	2,80	1820	4,87
2742	2,94	1910,29	3,23	2100	9,93
3151	3,38	2195,23	3,69	2400	9,33
3315	3,55	2309,49	4,12	2680	16,04
4330	4,64	3016,61	4,55	2960	1,88
4770	5,11	3323,15	4,98	3240	2,50
5120	5,49	3566,99	5,42	3520	1,32
5620	6,02	3915,33	5,97	3880	0,90
6070	6,51	4228,83	6,46	4200	0,68
6340	6,80	4416,93	6,83	4440	0,52
6630	7,11	4618,97	7,26	4720	2,19
7080	7,59	4932,48	7,75	5040	2,18
7110	7,62	4953,38	8,12	5280	6,59
7150	7,66	4981,24	8,74	5680	14,03
7200	7,72	5016,08	8,98	5840	16,43
Rata-rata					5,58



Gambar 4.7 Grafik perbandingan amplitudo output PGA.

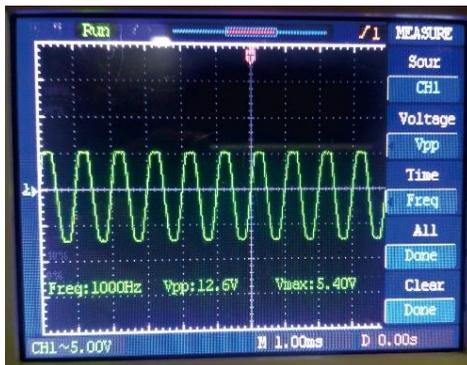
Berdasarkan perbandingan sinyal terukur dengan sinyal hasil perhitungan didapatkan kesalahan rata-rata sebesar 5,58%. Pada tabel diatas terlihat kesalahan yang cukup besar terjadi ketika sinyal *input* mengalami pelemahan karena nilai penguatan mendekati nol. Hal tersebut terlihat pada gambar 4.6(a) karena sinyal terlihat terganggu oleh *noise* yang muncul. Jadi, ketika sinyal mengalami pelemahan dan sinyal yang terukur memiliki amplitudo kecil, maka akan banyak *noise* yang akan terukur oleh osiloskop. Kesalahan yang cukup besar juga terjadi pada saat sinyal dikuatkan mendekati penguatan maksimum. Hal tersebut dapat terjadi karena kesalahan ketika pengukuran atau kesalahan pengukuran osiloskop. Namun, pada grafik terlihat jika sinyal hasil pengukuran memiliki grafik linear sesuai dengan nilai penguatan yang diberikan. Jadi, kesalahan bisa dikarenakan pada saat pengukuran resistansi *digital potentiometer* yang digunakan untuk melakukan perhitungan amplitudo sinyal *output*.

4.4 Pengujian *Output Amplifier* TDA2030

Pada pengujian ini akan diamati penguatan dari *amplifier* kelas AB dengan modul *amplifier* TDA2030. Sinyal *input* berasal dari sinyal *output* PGA yang telah dikuatkan. Potensiometer untuk mengatur volume pada modul diatur sekitar 15% agar sinyal *output* tidak langsung mengalami saturasi karena sinyal dari PGA cukup besar untuk menghindari *noise* yang muncul akibat sumber sinyal suara terlalu kecil. Berdasarkan tabel dibawah, penguatan rata-rata yang diperoleh sebesar 4,93 kali.



(a)

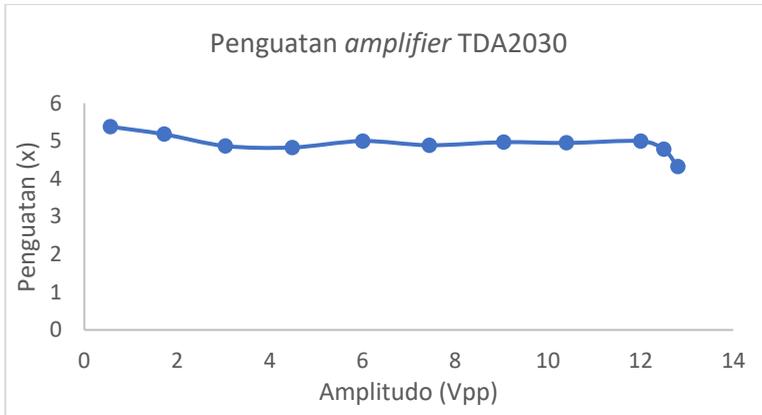


(b)

Gambar 4.8 Hasil *output amplifier* TDA2030 dengan amplitudo (a) 560mVpp (b) 12,8Vpp

Tabel 4.5 Pengujian *output amplifier* TDA2030.

Sinyal <i>Input</i> dari PGA (mVpp)	Amplitudo Sinyal <i>Output</i> <i>Amplifier</i> Kelas AB (Vpp)	Penguatan (\times)
104	0,56	5,38
332	1,72	5,18
624	3,04	4,87
928	4,48	4,83
1200	6,00	5,00
1520	7,44	4,89
1820	9,04	4,97
2100	10,40	4,95
2400	12,00	5,00
2680	12,50	4,78
2960	12,80	4,32
3240	Saturasi	-
3520	Saturasi	-
3880	Saturasi	-
4200	Saturasi	-
4440	Saturasi	-
4720	Saturasi	-
5040	Saturasi	-
5280	Saturasi	-
5680	Saturasi	-
5840	Saturasi	-
Rata-rata		4,93



Gambar 4.9 Grafik penguatan *amplifier* TDA2030.

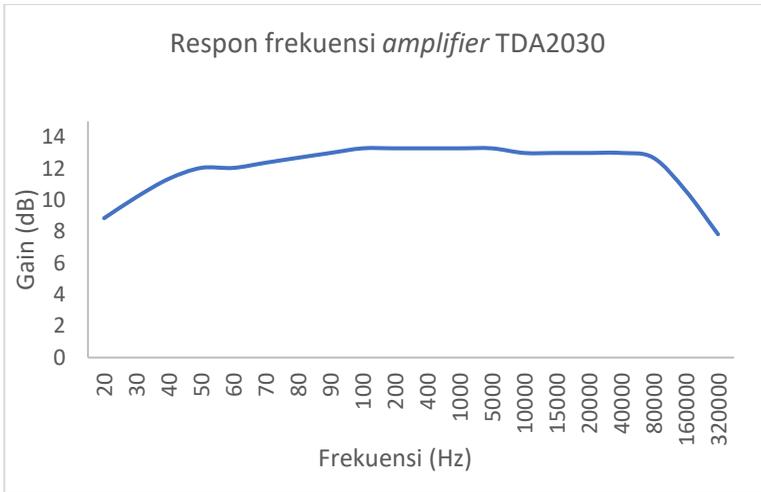
Berdasarkan data diatas, dapat dilihat bahwa sinyal *output* hasil *amplifier* kelas AB dengan modul TDA2030 dapat menguatkan sinyal *input* yang berasal dari dari *output* PGA dengan baik. Penguatan rata-rata *amplifier* yaitu sebesar 4,93 kali dengan sinyal *output* maksimum sebesar 12,8 Vpp dengan *supply* 15V. Namun, ketika sinyal *input* yang berasal dari PGA diatas 2,5Vpp maka sinyal *output* dari *amplifier* akan mulai mengalami saturasi dan puncak sinyal akan terpotong karena sinyal akan dikuatkan $\pm 4,93$ kali. Jadi, hasil perkaliannya akan mendekati 12,8Vpp. Oleh karena itu sinyal *output* dari *amplifier* akan tetap bernilai 12,8Vpp dan tidak akan mengalami penguatan lagi. Jadi, pada pengujian keseluruhan penguatan maksimum yang digunakan hanya setengahnya yaitu sekitar 5 kali penguatan agar sinyal *output* dari *amplifier* tidak mengalami saturasi sehingga suara yang dihasilkan tidak menjadi saturasi.

4.4.1 Respon Frekuensi *Amplifier*

Pengujian ini dilakukan untuk melihat respon frekuensi dari *amplifier* TDA2030 yang digunakan. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan osiloskop untuk mengukur amplitudo *output*. Selanjutnya dilakukan perhitungan penguatan dan gain. Hasil yang didapatkan menggambarkan respon *output* dari *amplifier* terhadap frekuensi *input*. Berikut adalah hasil yang didapatkan.

Tabel 3.5 Respon frekuensi TDA2030.

Frekuensi (Hz)	Vin (mVpp)	Vout (Vpp)	Penguatan (×)	Gain (dB)
20	650	1,8	2,77	8,85
30	650	2,1	3,23	10,19
40	650	2,4	3,69	11,35
50	650	2,6	4,00	12,04
60	650	2,6	4,00	12,04
70	650	2,7	4,15	12,37
80	650	2,8	4,31	12,68
90	650	2,9	4,46	12,99
100	650	3	4,62	13,28
200	650	3	4,62	13,28
400	650	3	4,62	13,28
1000	650	3	4,62	13,28
5000	650	3	4,62	13,28
10000	650	2,9	4,46	12,99
15000	650	2,9	4,46	12,99
20000	650	2,9	4,46	12,99
40000	650	2,9	4,46	12,99
80000	650	2,8	4,31	12,68
160000	650	2,2	3,38	10,59
320000	650	1,6	2,46	7,82



Gambar 4.10 Respon frekuensi *amplifier* TDA2030.

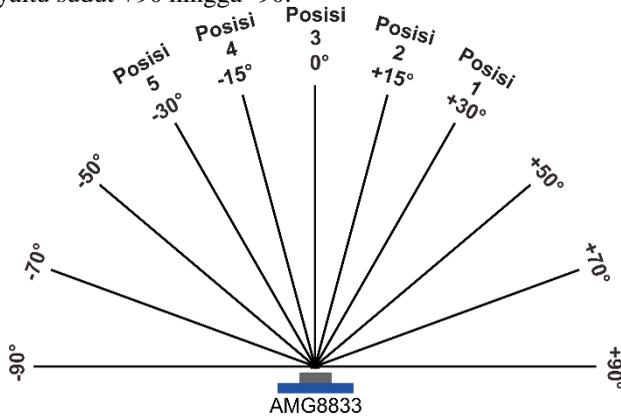
Berdasarkan grafik respon frekuensi diatas dapat dilihat bahwa *amplifier* TDA2030 memiliki respon frekuensi yang cukup baik pada frekuensi 100Hz - 40Hz. Hal tersebut dapat dilihat pada tabel yang menunjukkan bahwa amplitudo *output* pada *amplifier* memiliki nilai relatif konstan yaitu sebesar 3Vpp. *Amplifier* TDA2030 memiliki rentang frekuensi yang cukup untuk digunakan pada penguat audio karena bekerja dengan cukup baik pada daerah frekuensi yang dapat didengar oleh pendengaran manusia. Jadi *amplifier* tersebut dapat digunakan sebagai penguat sinyal suara sebelum masuk ke *loudspeaker* pada tugas akhir ini.

4.5 Pengujian Sistem *Smart Amplifier*

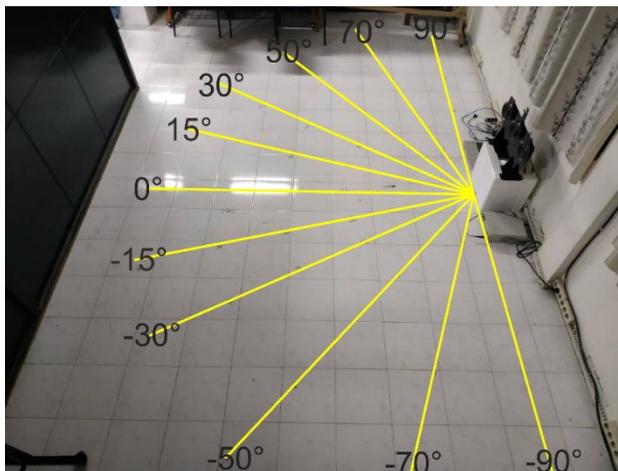
Pada pengujian sistem secara keseluruhan dilakukan pengukuran intensitas suara menggunakan *Sound Meter Level* dengan tipe TES1351. Pengujian dilakukan dengan pengaturan pada *Sound Meter Level* dengan *Range: Low, Response: Slow, dan Function: A*. Pengukuran dilakukan untuk mengetahui *sound lobe* atau persebaran intensitas suara yang terukur pada sudut -90° sampai sudut $+90^\circ$ dengan posisi dan jarak audiens yang berubah-ubah. Pengujian *sound lobe* dilakukan untuk memetakan intensitas suara pada sudut-sudut yang sudah ditentukan agar

terlihat intensitas suara terbesar. Pada saat pengujian, posisi audiens berada pada sudut -30° hingga $+30^\circ$ karena sudut pandang horizontal termal kamera hanya 60° . Jadi, jika diatas sudut pandang tersebut maka audiens tidak terdeteksi dan dianggap tidak ada audiens

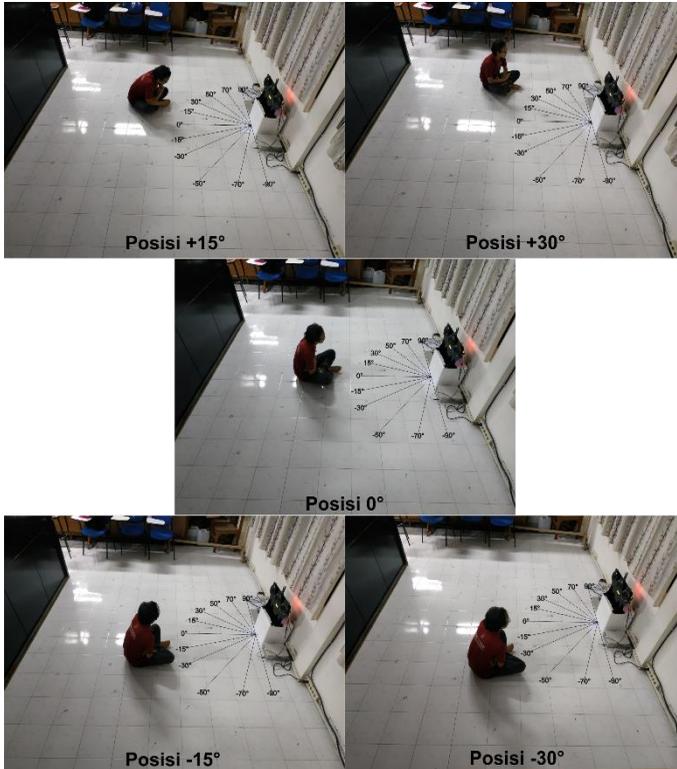
Berikut adalah posisi sudut yang diukur menggunakan *Sound Level Meter* yaitu sudut $+90$ hingga -90 .



Gambar 4.11 Posisi dan sudut pengukuran.



Gambar 4.12 Pembagian sudut pada pengujian sistem.

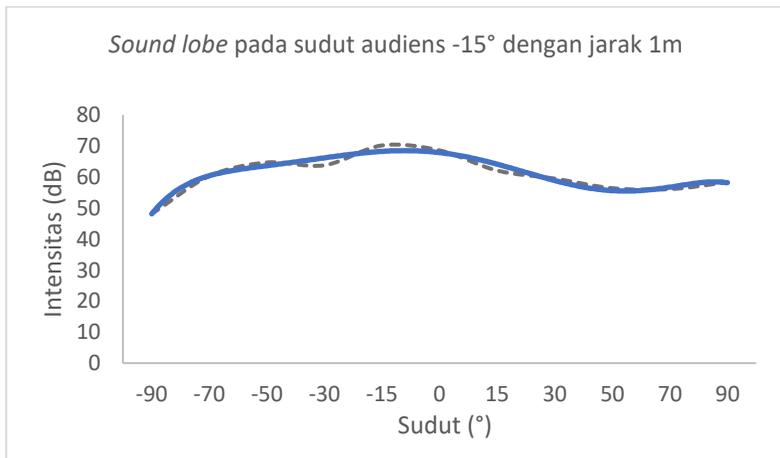


Gambar 4.13 Posisi audiens pada pengujian sistem.

Pengujian dilakukan di ruangan ber-AC dengan suhu ruangan dibawah suhu *threshold* ketika dilihat pada tampilan aplikasi Processing. Jadi, ketika pengujian lingkungan dibuat agar tidak ada audiens yang terdeteksi. Pengukuran dilakukan dengan mengukur intensitas suara pada sudut -90° , -70° , -50° , -30° , -15° , 0° , 15° , 30° , 50° , 70° , 90° . Sedangkan audiens berada pada sudut -30° , -15° , 0° , dan 15° , 30° karena sudut pandang horizontal termal kamera hanya 60° . Audiens hanya berada pada jarak 1m, 1,5m, 2m dan 2,5m ketika pengujian dilakukan karena keterbatasan tempat. Intensitas suara diukur dengan menggunakan *Sound Level Meter* dengan posisi audiens tetap. Berikut adalah sampel beberapa tabel hasil pengujian sistem.

Tabel 4.6 Pengukuran intensitas suara pada jarak 1m.

Posisi Audiens (°)	Jarak (m)	Sudut Pengukuran (°)	Intensitas (dB)
-15	1	-90	48,1
		-70	60,3
		-50	64,7
		-30	63,8
		-15	70,2
		0	68,6
		15	62,1
		30	59,5
		50	56,4
		70	56,1
		90	58,3

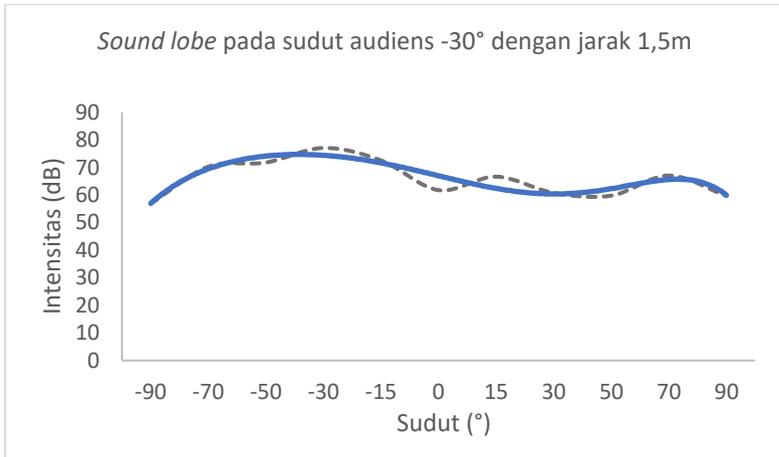


Gambar 4.14 Grafik *sound lobe* pengujian sistem pada jarak 1m.

Pada tabel dan grafik diatas dapat dilihat apabila intensitas suara tertinggi terdapat pada sudut pengukuran -15° . Hal tersebut menandakan sistem mampu mengarahkan suara sesuai dengan keberadaan audiens. Namun apabila dilihat dari grafik yang sudah dilakukan regresi polinomial orde 6 yang kemudian dilakukan perhitungan, didapatkan bahwa intensitas suara tertinggi terdapat pada sudut -10° . Hal tersebut berdasarkan kecenderungan dari persamaan garis orde 6 yang didapatkan dengan menggunakan MS. Excel. Jadi, terdapat *error* sebesar 2,78% terhadap sudut pengarah.

Tabel 4.7 Pengukuran intensitas suara pada jarak 1,5m.

Posisi Audiens (°)	Jarak (m)	Sudut Pengukuran (°)	Intensitas (dB)
-30	1,5	-90	56,9
		-70	70,3
		-50	71,8
		-30	77,1
		-15	72,6
		0	61,8
		15	66,7
		30	60,8
		50	59,8
		70	67,1
		90	59,7

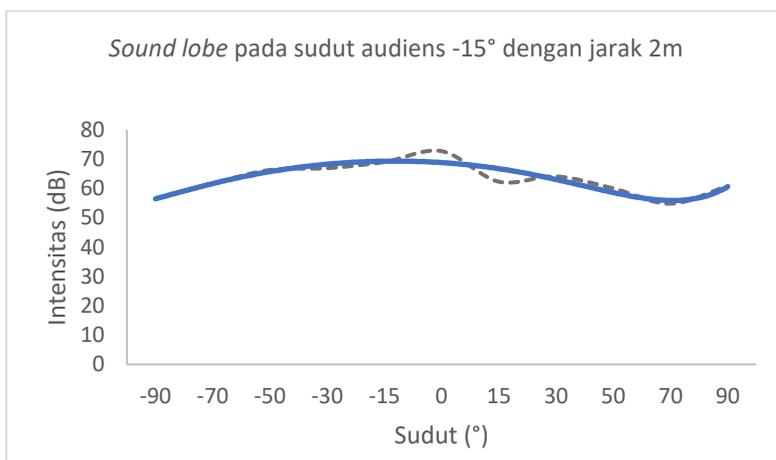


Gambar 4.15 Grafik *sound lobe* pengujian sistem pada jarak 1,5m.

Pada tabel dan grafik diatas dapat dilihat apabila intensitas suara tertinggi terdapat pada sudut pengukuran 30°. Hal tersebut menandakan sistem mampu mengarahkan suara sesuai dengan keberadaan audiens. Namun apabila dilihat dari grafik yang sudah dilakukan regresi polinomial orde 6 yang kemudian dilakukan perhitungan, didapatkan bahwa intensitas suara tertinggi terdapat pada sudut -40°. Jadi, terdapat *error* sebesar 5,6% terhadap sudut pengarah.

Tabel 4.8 Pengukuran intensitas suara pada jarak 2m.

Posisi Audiens (°)	Jarak (m)	Sudut Pengukuran (°)	Intensitas (dB)
-15	2	-90	56,4
		-70	61,7
		-50	66,3
		-30	66,9
		-15	69,0
		0	72,7
		15	62,3
		30	64,1
		50	60,0
		70	54,8
		90	60,8

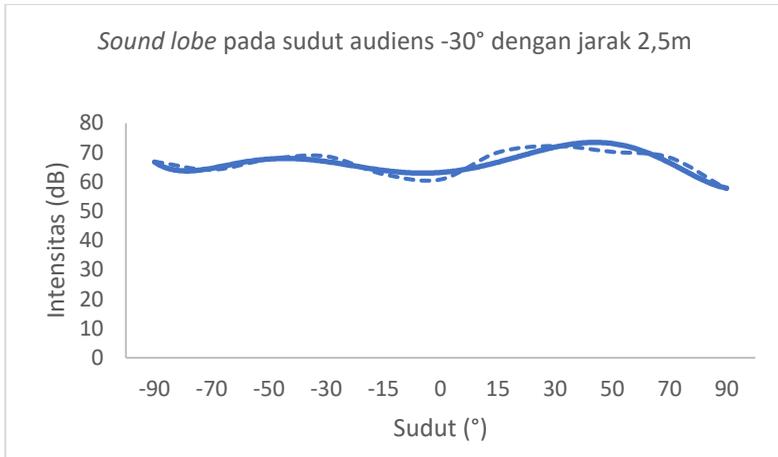


Gambar 4.16 Grafik *sound lobe* pengujian sistem pada jarak 2m.

Pada tabel dan grafik diatas dapat dilihat apabila intensitas suara tertinggi terdapat pada sudut 0° . Jadi, terdapat kesalahan apabila dilihat dari tabel diatas. Namun, pada regresi polinomial orde 6 intensitas suara tertinggi terdapat pada sudut -15° . Hal tersebut dapat terjadi karena kesalahan pengukuran ataupun terdapat *noise* yang mengganggu seperti suara orang berbicara dan lainnya. Jadi, berdasarkan regresi polinomial yang didapat, sistem mampu mengarahkan suara.

Tabel 4.9 Pengukuran intensitas suara pada jarak 2,5m.

Posisi Audiens ($^\circ$)	Jarak (m)	Sudut Pengukuran ($^\circ$)	Intensitas (dB)
-30	2,5	-90	66,9
		-70	64,1
		-50	67,7
		-30	68,7
		-15	62,6
		0	60,8
		15	70,0
		30	72,2
		50	70,2
		70	68,3
		90	57,5



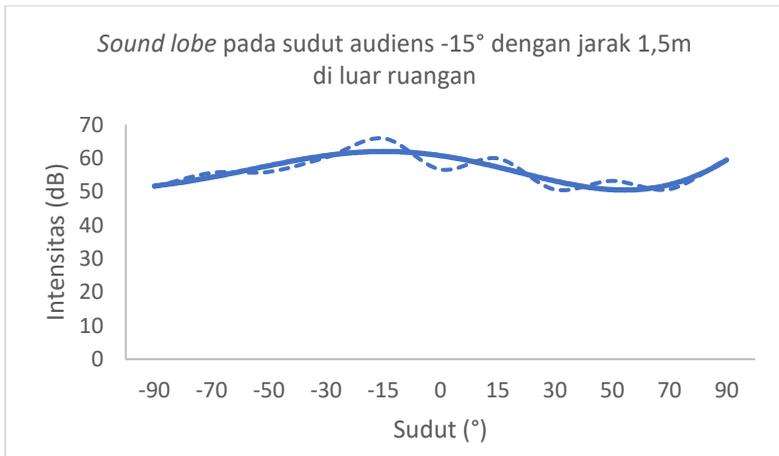
Gambar 4.17 Grafik *sound lobe* pengujian sistem pada jarak 2,5m.

Pada jarak 2,5m dengan posisi audiens berada pada -30° terdapat kesalahan pengarahan suara seperti terlihat pada grafik diatas. Intensitas suara terbesar terdapat pada sudut 30° berdasarkan pengukuran. Namun, berdasarkan regresi polinomial orde 6 yang didapat intensitas suara terbesar terdapat pada sudut 45° . Jadi, terdapat *error* sebesar 41,67%. Hal tersebut dapat terjadi karena pada jarak yang cukup jauh, intensitas suara akan bertambah. Oleh karena itu pantulan suara dari benda-benda disekitarnya dapat mempengaruhi pengukuran sehingga intensitas suara tidak terarah dengan baik.

Sebagai perbandingan, dilakukan juga pengukuran di luar ruangan untuk mengetahui respon dari sistem yang dibuat. Pengujian dilakukan di luar untuk mendapatkan respon sistem apabila di tempat terbuka. Sehingga diharapkan pantulan suara akibat benda padat dapat diminimalisir. Jadi, diharapkan hasilnya menjadi lebih baik. Pengujian dilakukan pada jarak 1,5m karena keterbatasan tempat dengan posisi audiens berubah-ubah seperti pada pengujian di dalam ruangan. Berikut adalah sampel hasil pengujian di luar ruangan.

Tabel 4.10 Pengukuran intensitas suara pada jarak 1,5m di luar ruangan.

Posisi Audiens (°)	Jarak (m)	Sudut Pengukuran (°)	Intensitas (dB)
-15	1,5	-90	51,4
		-70	55,6
		-50	55,9
		-30	60,2
		-15	65,9
		0	56,6
		15	59,9
		30	50,6
		50	53,2
		70	50,7
		90	59,7



Gambar 4.18 Grafik *sound lobe* pengujian sistem pada jarak 1,5m di luar ruangan.

Pada tabel dan grafik diatas dapat dilihat apabila intensitas suara tertinggi terdapat pada sudut -15° . Jadi, berdasarkan pengujian terlihat bahwa sistem dapat mengarahkan suara dengan baik. Hal tersebut juga terlihat dari regresi polinomial yang didapat karena berdasarkan regresi tersebut intensitas suara terbesar terdapat pada sudut -15° .

4.5.1 Perhitungan Kesalahan

Setelah dilakukan pengujian *sound lobe*, dilakukan perhitungan kesalahan terhadap sistem. Perhitungan kesalahan dilakukan dengan melakukan regresi polinomial orde 6 pada grafik yang didapatkan dari pengujian agar dapat dilihat karakteristik sistem. Sehingga dapat dicari intensitas suara yang tertinggi berdasarkan persamaan garis polinomial orde 6 yang didapat. Perhitungan kesalahan dengan persamaan berikut.

$$error = \left| \frac{\text{sudut pengarah} - \text{sudut pengukuran}}{180^\circ} \right| \times 100\% \quad (4.2)$$

Berikut ini adalah hasil perhitungan *error* berdasarkan persamaan diatas pada pengujian sistem di dalam dan luar ruangan.

Tabel 4.11 Perhitungan kesalahan pada jarak 1m.

Sudut Pengarahan ($^\circ$)	Sudut Terukur ($^\circ$)	Kesalahan (%)
-30	-35	2,78
-15	-10	2,78
0	10	5,56
15	25	5,56
30	30	0
Rata-rata		3,33

Tabel 4.12 Perhitungan kesalahan pada jarak 1,5m.

Sudut Pengarahan (°)	Sudut Terukur (°)	Kesalahan (%)
-30	-40	5,6
-15	5	11,1
0	5	2,8
15	10	2,8
30	20	5,6
Rata-rata		5,6

Tabel 4.13 Perhitungan kesalahan pada jarak 2m.

Sudut Pengarahan (°)	Sudut Terukur (°)	Kesalahan (%)
-30	-30	0
-15	-15	0
0	25	13,89
15	-5	11,11
30	10	11,11
Rata-rata		7,22

Tabel 4.14 Perhitungan kesalahan pada jarak 2,5m.

Sudut Pengarahan (°)	Sudut Terukur (°)	Kesalahan (%)
-30	45	41,67
-15	50	36,11
0	25	13,89
15	0	8,33
30	30	0
Rata-rata		20

Tabel 4.15 Perhitungan kesalahan pada jarak 1,5m di luar.

Sudut Pengarahan (°)	Sudut Terukur (°)	Kesalahan (%)
-30	-75	25,00
-15	-15	0,00
0	15	8,33
15	15	0,00
30	20	5,56
Rata-rata		7,78

Berdasarkan tabel kesalahan diatas, dapat dilihat bahwa rata-rata kesalahan pada pengujian *indoor* pada jarak 1m sebesar 3,33%, 1,5m sebesar 5,6%, 2m sebesar 7,22%, 2,5m sebesar 20%. Sedangkan kesalahan pada pengujian *outdoor* pada jarak 1,5m sebesar 7,78%. Jadi, berdasarkan data diatas dapat dilihat bahwa semakin jauh objek atau audiens, maka rata-rata kesalahan akan semakin besar karena intensitas suara akan semakin besar pula. Intensitas suara tersebut berpengaruh terhadap pantulan suara yang dapat memperkuat atau memperlemah suara ketika dilakukan pengukuran. Jadi, secara keseluruhan sistem telah mampu mendeteksi posisi dan mengatur intensitas suara. Namun, pengarahannya masih belum mampu mendapatkan hasil yang terbilang baik.

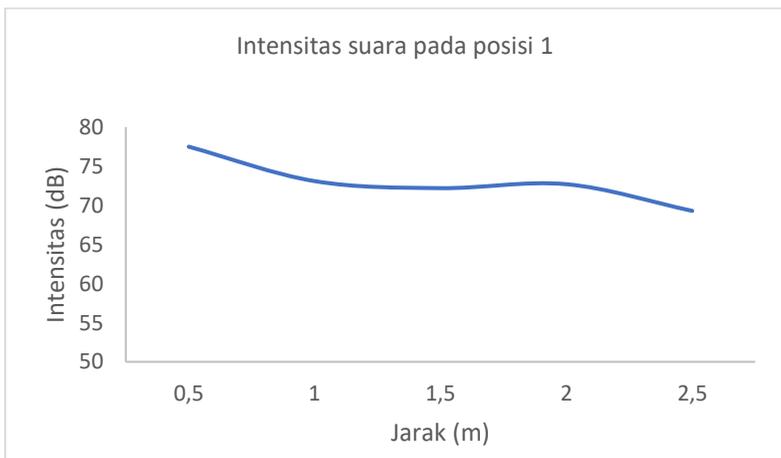
4.5.2 Pengujian Intensitas Suara Terhadap Jarak

Pada pengujian ini diukur besarnya intensitas suara apabila diukur pada jarak yang berbeda. Pengujian dilakukan untuk melihat karakteristik intensitas suara apakah sistem mampu mempertahankan intensitas suara yang didengar oleh audiens. Pengujian dilakukan pada jarak 0,5m hingga 2,5m pada semua posisi audiens. Berikut adalah hasil pengukuran intensitas suara terhadap jarak audiens.

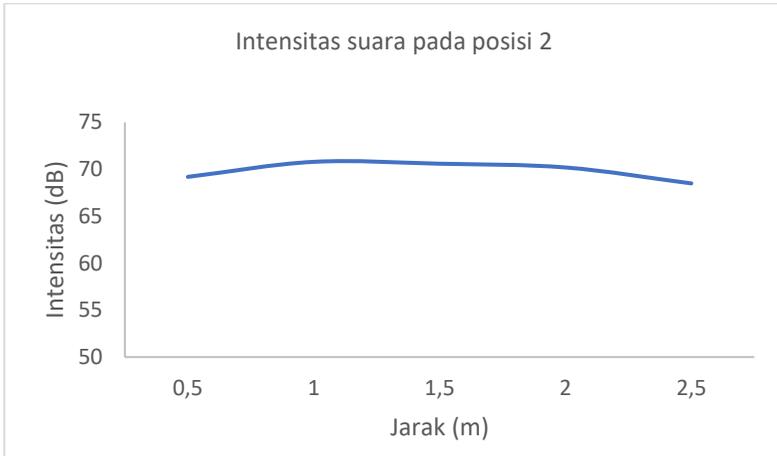
Tabel 4.16 Pengujian intensitas suara terhadap jarak.

Posisi	Intensitas (dB)				
	Jarak (m)				
	0,5	1	1,5	2	2,5
1	77,5	73,1	72,2	72,7	69,3
2	69,2	70,8	70,6	70,2	68,5
3	70,9	72,4	71,1	71,6	72,4
4	73,6	72,2	71,5	72,7	73,4
5	73,4	75,5	73,6	72,5	71,4

Berdasarkan grafik diatas, intensitas suara yang terukur terlihat stabil pada posisi 3. Hal tersebut terjadi karena pembacaan termal kamera cenderung stabil sehingga hanya *loudspeaker* tengah yang mengeluarkan suara. Sedangkan pada posisi 1 dan 5, intensitas suara yang terukur cenderung besar. Hal tersebut terjadi karena pembacaan termal kamera cenderung dingin dan tidak stabil. Jadi, pada posisi tersebut intensitas suara lebih tinggi karena audiens dianggap pada posisi yang jauh. Pada posisi 2 dan 4, intensitas suara cenderung stabil meskipun pada posisi 4 intensitas suara cenderung lebih besar dibandingkan pada posisi 2. Hal tersebut dapat terjadi akibat pembacaan termal kamera yang tidak sama. Berikut ini adalah grafik dari masing-masing hasil pada tabel diatas.



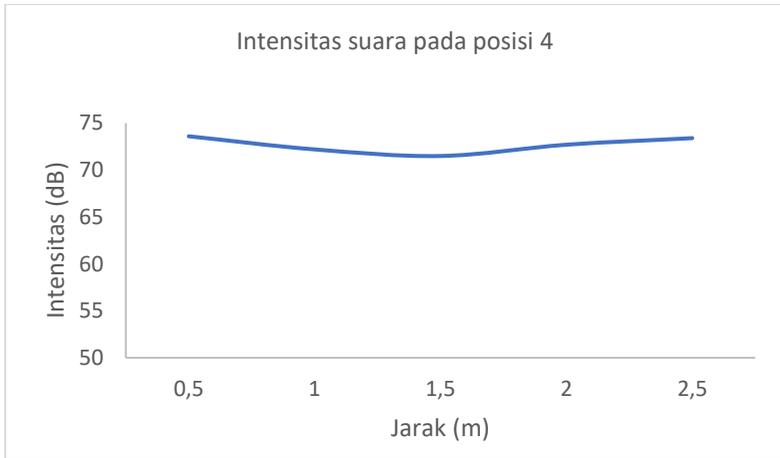
Gambar 4.19 Grafik Pengukuran intensitas suara pada posisi 1.



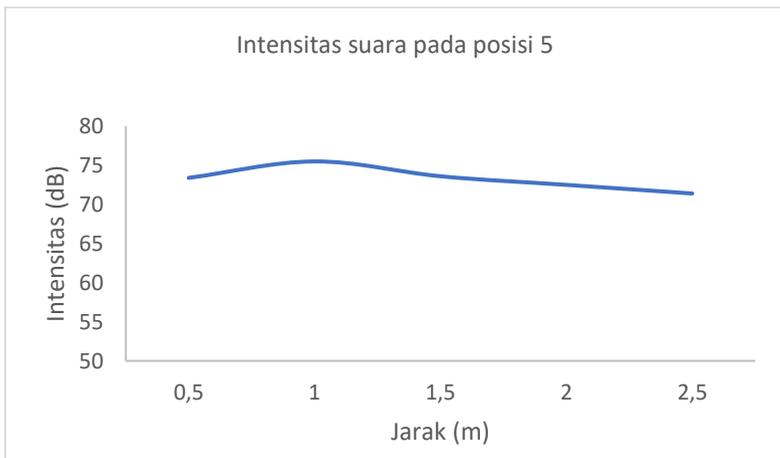
Gambar 4.20 Grafik Pengukuran intensitas suara pada posisi 2.



Gambar 4.21 Grafik Pengukuran intensitas suara pada posisi 3.



Gambar 4.22 Grafik Pengukuran intensitas suara pada posisi 4.



Gambar 4.23 Grafik Pengukuran intensitas suara pada posisi 5.

.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan percobaan yang telah dilakukan selama pelaksanaan tugas akhir ini dapat diambil beberapa kesimpulan yaitu termal kamera dapat dengan efektif mendeteksi keberadaan manusia pada jarak 0,5m – 3m dengan sudut pandang horizontal 60° meskipun dengan perbedaan suhu yang relatif kecil. PGA yang dibuat dapat menguatkan sinyal masukan dengan rata-rata kesalahan 5,58% apabila dibandingkan dengan perhitungan. *Amplifier* kelas AB dengan modul TDA2030 dapat menguatkan sinyal masukan rata-rata 4,93 kali dengan amplitudo maksimum 12,8Vpp pada *supply* 15V. Secara keseluruhan, sistem mampu mengarahkan suara di dalam ruangan pada sudut -30° sampai $+30^\circ$ sesuai posisi dan jarak audiens dengan rata-rata kesalahan 3,33% pada jarak 1 meter, 5,6% pada jarak 1,5 meter, 7,22% pada jarak 2 meter, dan 20% pada jarak 2,5 meter. Sedangkan di luar ruangan memiliki rata-rata kesalahan 7,78% pada jarak 1,5m.

5.2 Saran

Sebagai saran untuk pengembangan sistem yang telah dibuat yaitu dengan menggunakan sensor kamera yang memiliki resolusi lebih tinggi dan sudut pandang yang lebih luas agar dapat mendeteksi keberadaan arah dan jarak audiens dengan lebih baik dan presisi. PGA yang dibuat juga sebaiknya menggunakan IC yang dibuat khusus untuk audio agar suara yang dikeluarkan menjadi lebih jernih. *Loudspeaker* juga dapat ditambah agar suara dapat diarahkan ke sudut yang lebih luas.

.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. L. Boylestad and L. Nashelsky, *Electronic devices and circuit theory*, 11th ed. Upper Saddle River, N.J: Pearson Prentice Hall, 2013.
- [2] O. B. Baskhoru, M. Rivai, and F. Budiman, "Pengaruh Suara pada Sistem Audio Berdasarkan Beda Fasa," *Jurnal Teknik ITS*, vol. 7, no. 1, Mar. 2018.
- [3] E. G. Krug and World Health Organization, *Hearing loss due to recreational exposure to loud sounds: a review*. 2015.
- [4] M. A. Poletti, F. M. Fazi, and P. A. Nelson, "Sound reproduction systems using variable-directivity loudspeakers," *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 129, no. 3, pp. 1429–1438, Mar. 2011.
- [5] F. Theakston and Weltgesundheitsorganisation, Eds., *Burden of disease from environmental noise: quantification of healthy life years lost in Europe*. Copenhagen: World Health Organization, Regional Office for Europe, 2011.
- [6] L. Carter, W. Williams, D. Black, and A. Bundy, "The Leisure-Noise Dilemma: Hearing Loss or Hearsay? What Does the Literature Tell Us?," *Ear and Hearing*, vol. 35, no. 5, pp. 491–505, 2014.
- [7] F. Zhao, V. K. C. Manchaiah, D. French, and S. M. Price, "Music exposure and hearing disorders: An overview," *International Journal of Audiology*, vol. 49, no. 1, pp. 54–64, Jan. 2010.
- [8] E. Daniel, "Noise and Hearing Loss: A Review," *Journal of School Health*, vol. 77, no. 5, pp. 225–231, May 2007.
- [9] O. Hong, M. J. Kerr, G. L. Poling, and S. Dhar, "Understanding and preventing noise-induced hearing loss," *Disease-a-Month*, vol. 59, no. 4, pp. 110–118, Apr. 2013.
- [10] M. R. Serra *et al.*, "Recreational noise exposure and its effects on the hearing of adolescents. Part I: an interdisciplinary long-term study," *Int J Audiol*, vol. 44, no. 2, pp. 65–73, Feb. 2005.
- [11] D. W. Swanepoel and J. W. Hall, "Football match spectator sound exposure and effect on hearing: a pretest-post-test study," *S. Afr. Med. J.*, vol. 100, no. 4, pp. 239–242, Mar. 2010.
- [12] M. F. Modest, *Radiative Heat Transfer*, 3 edition. New York: Academic Press, 2013.
- [13] E. Tola, "Black-Body SNR Formulation of Astronomical Camera Systems," *IEEE Sensors Journal*, vol. 15, no. 9, pp. 4941–4949, Sep. 2015.

- [14] R. Usamentiaga, P. Venegas, J. Guerediaga, L. Vega, J. Molleda, and F. Bulnes, "Infrared Thermography for Temperature Measurement and Non-Destructive Testing," *Sensors*, vol. 14, no. 7, pp. 12305–12348, Jul. 2014.
- [15] M. Vollmer and K.-P. MÃ¶llmann, *Infrared Thermal Imaging: Fundamentals, Research and Applications*, 1 edition. Weinheim: Wiley-VCH, 2010.
- [16] "Cooled or Uncooled?" [Online]. Available: <https://www.flir.asia/discover/rd-science/cooled-or-uncooled/>. [Accessed: 15-Nov-2018].
- [17] "What is Infrared? - US Infrared, Inc. - Infrared Cameras and Thermal Imaging Systems Since 1979." [Online]. Available: <https://www.infrared.com/index.php/home/what-is-infrared>. [Accessed: 29-Oct-2018].
- [18] J. Tanaka, M. Shiozaki, F. Aita, T. Seki, and M. Oba, "Thermopile infrared array sensor for human detector application," in *2014 IEEE 27th International Conference on Micro Electro Mechanical Systems (MEMS)*, San Francisco, CA, USA, 2014, pp. 1213–1216.
- [19] "Demystifying Thermopile IR Temp Sensors," *Sensors Magazine*. [Online]. Available: <https://www.sensormag.com/components/demystifying-thermopile-ir-temp-sensors>. [Accessed: 09-Jun-2019].
- [20] "Application Notes Infrared Array Sensor "Grid-EYE."" Panasonic.
- [21] "Specification for Infrared Array Sensor." Panasonic Corporation, 30-Aug-2011.
- [22] "Class AB Amplifier Design and Class AB Biasing," *Basic Electronics Tutorials*, 29-Apr-2016.
- [23] TDA2030 Module Power Supply TDA2030 Audio Amplifier Board Module TDA2030A 6 12V Single-in Integrated Circuits from Electronic Components & Supplies on Aliexpress.com | Alibaba Group," *aliexpress.com*. [Online]. Available: https://www.aliexpress.com/item/32776443651.html?src=ibdm_d03p0558e02r02&sk=&aff_platform=&aff_trace_key=&af=&cv=&cn=&dp=. [Accessed: 01-Jul-2019].
- [24] "Jual X9C103S X9C103 Digital Potentiometer Board Module DC3V-5V - Hitam - Kota Depok - LisuInstrument," *Tokopedia*. [Online]. Available: <https://www.tokopedia.com/lisuinstrument/x9c103s-x9c103-digital->

- potentiometer-board-module-dc3v-5v-hitam. [Accessed: 01-Jul-2019].
- [25] “Datasheet X9C102, X9C103, X9C104, X9C503 Digitally Controlled Potentiometer (XD_{DCP}TM).” Renesas, 11-Jan-2019.
- [26] “Arduino Mega 2560 Rev3.” [Online]. Available: <https://store.arduino.cc/usa/mega-2560-r3>. [Accessed: 01-Jul-2019].
- [27] R. S. Kumar and S. Nagakumararaj, “Steam Temperature Optimization Using Arduino Mega 2560 Microcontroller,” *Control Systems*, p. 6, 2017.
- [28] *The I2C BUS Specification*. Philips Semiconductors, 2000.

.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....

LAMPIRAN A

Program Arduino

```
#include <LiquidCrystal.h>
#include <Adafruit_AMG88xx.h>
#include <FastX9CXXX.h>

/*=====*/
#define tombol1 10
#define tombol2 11
#define tombol3 6
#define tombol4 7
#define led1 22
#define led2 23
#define led3 24
#define led4 25
#define led5 26
#define led6 27
#define buzzer 44

#define CS1 A0
#define INC1 A1
#define UD1 A2

#define CS2 A3
#define INC2 A4
#define UD2 A5

#define CS3 A8
#define INC3 A9
#define UD3 A10

/*=====*/
LiquidCrystal lcd(32, 34, 36, 38, 40, 42);
Adafruit_AMG88xx amg;
FastX9CXXX pga1;
FastX9CXXX pga2;
FastX9CXXX pga3;
```

```

/*=====*/
float pixel[64];
float batas;
float batas2;
int pos_detect[64];
float pixel_max[6];
bool posisi[6];

int jml_detect = 0;
float pixel_pos = 0;
int daerah = 0;

int pot1 = 1;
int pot2 = 1;
int pot3 = 1;
int max_pga = 50;

const int avg_pot = 100;
float pot[4][avg_pot];
int number[4] = {0,0,0,0};
float jml[4] = {0,0,0,0};
int nilai_pga[4] = {0,0,0,0};

/*=====*/
void setup() {
  Serial.begin(115200);
  amg.begin();
  amg.setMovingAverageMode(true);
  lcd.begin(16,2);
  pga1.Setup(CS1, UD1, INC1);
  pga2.Setup(CS2, UD2, INC2);
  pga3.Setup(CS3, UD3, INC3);
  delay(1000);

  pinMode(CS1,OUTPUT);
  pinMode(UD1,OUTPUT);
  pinMode(INC1,OUTPUT);
  pinMode(CS2,OUTPUT);

```

```

pinMode(UD2,OUTPUT);
pinMode(INC2,OUTPUT);
pinMode(CS3,OUTPUT);
pinMode(UD3,OUTPUT);
pinMode(INC3,OUTPUT);
pinMode(buzzer,OUTPUT);
pinMode(led1,OUTPUT);
pinMode(led2,OUTPUT);
pinMode(led3,OUTPUT);
pinMode(led4,OUTPUT);
pinMode(led5,OUTPUT);
pinMode(led6,OUTPUT);
pinMode(tombol1,INPUT);
pinMode(tombol2,INPUT);
pinMode(tombol3,INPUT_PULLUP);
pinMode(tombol4,INPUT_PULLUP);
}

```

```

void loop() {
  termal_cam();
  deteksi_audiens();
}

```

```

void termal_cam() {
  amg.readPixels(pixel);
  batas = 25;
  batas2 = 30;

  /*===== kirim data suhu ke PC =====*/
  Serial.print("amg8833\n");
  for(int i=0; i<64; i++)
  {
    Serial.print(pixel[i]);
    Serial.print(" ");
    if ((i+1)%8 == 0)
    {
      Serial.print("\n");
    }
  }
}

```

```

Serial.print(batas);
Serial.print(" ");
Serial.print("\n");
/*=====*/

for(int i=0; i<64; i++)
{
    pos_detect[i] = NULL;
}

for(int i=1; i<=5; i++)
{
    posisi[i] = false;
    pixel_max[i] = 0;
}

jml_detect = 0;
for(int i=0; i<64; i++)
{
    if(pixel[i] >= batas)
    {
        pos_detect[jml_detect] = i+1;
        jml_detect++;
    }
}

for(int i=0; i<=jml_detect; i++)
{
    if(pos_detect[i]==1||pos_detect[i]==9||pos_detect[i]==17||pos_detect[i]=
==25||pos_detect[i]==33||pos_detect[i]==41||pos_detect[i]==49||pos_dete
ct[i]==57)
    {
        if(pixel[(pos_detect[i]-1)] >= pixel_max[1])
        {
            pixel_max[1] = pixel[(pos_detect[i]-1)];
            //posisi[1] = true;
        }
    }
}

```

```
if(pos_detect[i]==2||pos_detect[i]==10||pos_detect[i]==18||pos_detect[i]==26||pos_detect[i]==34||pos_detect[i]==42||pos_detect[i]==50||pos_detect[i]==58||
```

```
pos_detect[i]==3||pos_detect[i]==11||pos_detect[i]==19||pos_detect[i]==27||pos_detect[i]==35||pos_detect[i]==43||pos_detect[i]==51||pos_detect[i]==59)
```

```
{  
    if(pixel[(pos_detect[i]-1)] >= pixel_max[2])  
    {  
        pixel_max[2] = pixel[(pos_detect[i]-1)];  
        //posisi[2] = true;  
    }  
}
```

```
if(pos_detect[i]==4||pos_detect[i]==12||pos_detect[i]==20||pos_detect[i]==28||pos_detect[i]==36||pos_detect[i]==44||pos_detect[i]==52||pos_detect[i]==60||
```

```
pos_detect[i]==5||pos_detect[i]==13||pos_detect[i]==21||pos_detect[i]==29||pos_detect[i]==37||pos_detect[i]==45||pos_detect[i]==53||pos_detect[i]==61)
```

```
{  
    if(pixel[(pos_detect[i]-1)] >= pixel_max[3])  
    {  
        pixel_max[3] = pixel[(pos_detect[i]-1)];  
        //posisi[3] = true;  
    }  
}
```

```
if(pos_detect[i]==6||pos_detect[i]==14||pos_detect[i]==22||pos_detect[i]==30||pos_detect[i]==38||pos_detect[i]==46||pos_detect[i]==54||pos_detect[i]==62||
```

```
pos_detect[i]==7||pos_detect[i]==15||pos_detect[i]==23||pos_detect[i]==
```

```

31||pos_detect[i]==39||pos_detect[i]==47||pos_detect[i]==55||pos_detect
[i]==63)
{
    if(pixel[(pos_detect[i]-1)] >= pixel_max[4])
    {
        pixel_max[4] = pixel[(pos_detect[i]-1)];
        //posisi[4] = true;
    }
}

```

```

if(pos_detect[i]==8||pos_detect[i]==16||pos_detect[i]==24||pos_detect[i]
==32||pos_detect[i]==40||pos_detect[i]==48||pos_detect[i]==56||pos_det
ect[i]==64)
{
    if(pixel[(pos_detect[i]-1)] >= pixel_max[5])
    {
        pixel_max[5] = pixel[(pos_detect[i]-1)];
        //posisi[5] = true;
    }
}
}

```

```

pixel_pos = 0;
daerah = 0;
for(int i=1; i<=5; i++)
{
    if(pixel_max[i] > pixel_pos)
    {
        pixel_pos = pixel_max[i];
        daerah = i;
    }
}
posisi[daerah] = true;
}

```

```

void deteksi_audiens() {

```

```

if(posisi[1]==false&&posisi[2]==false&&posisi[3]==false&&posisi[4]
==false&&posisi[5]==false)
{
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("X");
    pot1 = 1;
    pot2 = 1;
    pot3 = 1;
}

if(posisi[1] == true)
{
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("1");
    float bobot_jarak = remap(pixel_max[1],batas,batas2,1,0);
    pot1 = 1 * bobot_jarak * max_pga;
    pot2 = 0;
    pot3 = 0;
}

if(posisi[2] == true)
{
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("2");
    float bobot_jarak = remap(pixel_max[2],batas,batas2,1,0);
    pot1 = 0.5 * bobot_jarak * max_pga;
    pot2 = 0.5 * bobot_jarak * max_pga;
    pot3 = 0;
}

if(posisi[3] == true)
{
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("3");
    float bobot_jarak = remap(pixel_max[3],batas,batas2,1,0);
    pot1 = 0;
    pot2 = 1 * bobot_jarak * max_pga;
    pot3 = 0;
}

```

```

}

if(posisi[4] == true)
{
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("4");
    float bobot_jarak = remap(pixel_max[4],batas,batas2,1,0);
    pot1 = 0;
    pot2 = 0.5 * bobot_jarak * max_pga;
    pot3 = 0.5 * bobot_jarak * max_pga;
}

if(posisi[5] == true)
{
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("5");
    float bobot_jarak = remap(pixel_max[5],batas,batas2,1,0);
    pot1 = 0;
    pot2 = 0;
    pot3 = 1 * bobot_jarak * max_pga;
}

if(pot1 < 1){
    pot1 = 1;}
if(pot1 > 100){
    pot1 = 100;}
if(pot2 < 1){
    pot2 = 1;}
if(pot2 > 100){
    pot2 = 100;}
if(pot3 < 1){
    pot3 = 1;}
if(pot3 > 100){
    pot3 = 100;}

/*===== moving average pot1 =====*/
jml[1] -= pot[1][number[1]];
pot[1][number[1]] = pot1;
jml[1] += pot[1][number[1]];

```

```

number[1]++;

if(number[1] >= avg_pot)
{
    number[1] = 0;
}
nilai_pga[1] = jml[1] / avg_pot;

/*===== moving average pot2 =====*/
jml[2] -= pot[2][number[2]];
pot[2][number[2]] = pot2;
jml[2] += pot[2][number[2]];
number[2]++;

if(number[2] >= avg_pot)
{
    number[2] = 0;
}
nilai_pga[2] = jml[2] / avg_pot;

/*===== moving average pot3 =====*/
jml[3] -= pot[3][number[3]];
pot[3][number[3]] = pot3;
jml[3] += pot[3][number[3]];
number[3]++;

if(number[3] >= avg_pot)
{
    number[3] = 0;
}
nilai_pga[3] = jml[3] / avg_pot;

pga1.JumpToStep(nilai_pga[1]);
pga2.JumpToStep(nilai_pga[2]);
pga3.JumpToStep(nilai_pga[3]);

float penguatan1 = remap(nilai_pga[1],1,max_pga,0,(max_pga/10));
float penguatan2 = remap(nilai_pga[2],1,max_pga,0,(max_pga/10));
float penguatan3 = remap(nilai_pga[3],1,max_pga,0,(max_pga/10));

```

```
lcd.setCursor(0,0);  
lcd.print(penguatan1);  
lcd.setCursor(4,0);  
lcd.print(" ");  
lcd.setCursor(5,0);  
lcd.print(penguatan2);  
lcd.setCursor(9,0);  
lcd.print(" ");  
lcd.setCursor(10,0);  
lcd.print(penguatan3);  
lcd.setCursor(14,0);  
lcd.print(" ");  
}
```

```
float remap(float x, float in_min, float in_max, float out_min, float  
out_max) {  
    return (x - in_min) * (out_max - out_min) / (in_max - in_min) +  
    out_min;  
}
```

Program Processing

```
import processing.serial.*;
Serial terima;
String data_in;
int jml_pixel = 8;
float[][] kotak = new float[8][8];
int skala = 80;
float batas;

void setup(){
  size(640,640);
  textSize(18);
  String arduino = Serial.list()[0];
  terima = new Serial(this, arduino, 115200);
  terima.bufferUntil('\n');
}

float suhu_min, suhu_max, suhu_rata2 = 0;
int max_i, max_j = 0;
void draw(){
  suhu_min = 100;
  suhu_max = 0;
  suhu_rata2 = 0;
  for (int i=0; i<jml_pixel; i++)
  {
    for (int j=0; j<jml_pixel; j++)
    {
      suhu_rata2 += kotak[i][j];
      if (kotak[i][j] < suhu_min)
      {
        suhu_min = kotak[i][j];
      }
      if (kotak[i][j] > suhu_max)
      {
        suhu_max = kotak[i][j];
        max_i = i;
        max_j = j;
      }
    }
  }
}
```

```

    }
}
suhu_rata2 /= 64;

for (int i=0; i<jml_pixel; i++)
{
    for (int j=0; j<jml_pixel; j++)
    {
        float suhu = kotak[i][j];
        float r = 0;
        float g = 0;
        float b = 0;

        if (suhu <= batas)
        {
            r = 0;
            g = 200;
            b = 0;
        }
        else if (suhu >= batas)
        {
            r = map(suhu, suhu_min, suhu_max, 0, 255);
            g = map(suhu, suhu_min, suhu_max, 0, 10);
            b = 0;
        }

        stroke(r, g, b);
        fill(r, g, b);
        rect(i*skala, (jml_pixel-1-j)*skala, skala, skala);

        stroke(255);
        fill(255);
        text(suhu, (i+0.3)*skala, ((jml_pixel-1-j)+0.6)*skala);

        if((i == max_i) && (j == max_j) && (suhu >= batas))
        {
            stroke(255, 255, 0);
            fill(255, 255, 0);
            rect(i*skala, (jml_pixel-1-j)*skala, skala, skala);
        }
    }
}

```

```

        stroke(0);
        fill(0);
        text(suhu, (i+0.3)*skala, ((jml_pixel-1-j)+0.6)*skala);
    }
}
}
}

```

```

int a,b = 0;
float[] nilai_suhu;
float[] nilai_threshold;
void serialEvent(Serial data){
    data_in = trim(data.readString());

    if (data_in.length() == 7)
    {
        if (data_in.equals("amg8833"))
        {
            b = 1;
        }
    }
    else if (b > 0 && b <=8)
    {
        nilai_suhu = float(split(data_in,' '));
        for (a=0; a<jml_pixel; a++)
        {
            kotak[a][b-1] = nilai_suhu[a];
        }
        b++;
    }
    else if (b == 9)
    {
        nilai_threshold = float(split(data_in,' '));
        batas = nilai_threshold[0];
        println(nilai_threshold[0]);
        b = 0;
    }
}
}

```

.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....

LAMPIRAN B

Data Percobaan

A. Pengujian *indoor*

Sudut Posisi Audiens (°)	Posisi	Jarak (m)	Intensitas (dB)										
			Sudut Pengukuran (°)										
			-90	-70	-50	-30	-15	0	15	30	50	70	90
-30	5	1	64,4	66,6	65,4	63,2	64,7	69,8	65,8	63,3	63,3	65,5	57,6
-15	4		48,1	60,3	64,7	63,8	70,2	68,6	62,1	59,5	56,4	56,1	58,3
0	3		54,1	56,6	64,5	56,6	63,4	69,3	67,6	69,4	53,3	55,1	58,3
15	2		54,5	58,2	60,8	55,8	63,3	68,6	66,6	69,9	60,2	52,7	58,8
30	1		60,7	67,8	63,6	65,1	67,7	66,4	70,6	72,7	71,1	66,9	70,4

Sudut Posisi Audiens (°)	Posisi	Jarak (m)	Intensitas (dB)										
			Sudut Pengukuran (°)										
			-90	-70	-50	-30	-15	0	15	30	50	70	90
-30	5	1,5	56,9	70,3	71,8	77,1	72,6	61,8	66,7	60,8	59,8	67,1	59,7
-15	4		56,9	63,5	57,0	54,4	71,6	67,0	66,1	60,6	59,1	57,5	57,8
0	3		64,6	67,6	61,9	66,8	67,0	76,8	65,3	67,0	69,7	72,4	63,1
15	2		59,5	60,6	66,1	67,7	70,5	73,8	74,8	71,2	61,8	59,6	67,7
30	1		64,8	73,2	70,1	74,0	72,3	75,1	76,7	80,0	73,9	77,6	65,8

Sudut Posisi Audiens (°)	Posisi	Jarak (m)	Intensitas (dB)										
			Sudut Pengukuran (°)										
			-90	-70	-50	-30	-15	0	15	30	50	70	90
-30	5	2	65,3	67,2	72,3	73,1	75,6	72,8	67,1	66,1	69,5	66,8	67,9
-15	4		56,4	61,7	66,3	66,9	69,0	72,7	62,3	64,1	60,0	54,8	60,8
0	3		67,4	70,4	71,3	74,0	71,5	75,0	73,5	72,1	71,6	58,0	61,0
15	2		63,4	57,9	68,3	70,6	71,7	73,4	75,0	73,8	63,0	66,7	60,9
30	1		67,9	66,9	67,8	70,0	68,5	70,6	78,9	76,9	63,8	72,2	67,9

Sudut Posisi Audiens (°)	Posisi	Jarak (m)	Intensitas (dB)										
			Sudut Pengukuran (°)										
			-90	-70	-50	-30	-15	0	15	30	50	70	90
-30	5	2,5	66,9	64,1	67,7	68,7	62,6	60,8	70	72,2	70,2	68,3	57,5
-15	4		64,5	58,2	60,6	59,9	62,6	70,9	64,6	70,2	70,3	69,4	59,6
0	3		61,3	74,2	60,7	73,7	61,5	74,6	65,8	74,2	63,9	65,5	64,3
15	2		54,8	67,7	63,2	70,2	70,6	69,3	68,6	68,4	65,1	65,1	64,5
30	1		59,6	69,5	64,4	70,7	65,7	74,6	75,9	78,2	75,6	74,4	72,2

B. Pengujian *outdoor*

Sudut Posisi Audiens (°)	Posisi	Jarak (m)	Intensitas (dB)										
			Sudut Pengukuran (°)										
			-90	-70	-50	-30	-15	0	15	30	50	70	90
-30	5	1,5	61,8	60,2	63,4	65,3	57,4	57,7	65,9	55,8	57,1	51,3	59,6
-15	4		51,4	55,6	55,9	60,2	65,9	56,6	59,9	50,6	53,2	50,7	59,7
0	3		56,8	60,8	63,8	62,7	56,2	74,3	54,8	55,9	56,2	57,6	60,7
15	2		66,1	57,6	53,1	59,1	63,3	68,8	70,6	64,4	63,8	52,9	66,9
30	1		66,9	63,2	61,7	62,2	63,8	65,6	68,1	76,8	60,6	69,0	65,6

.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....

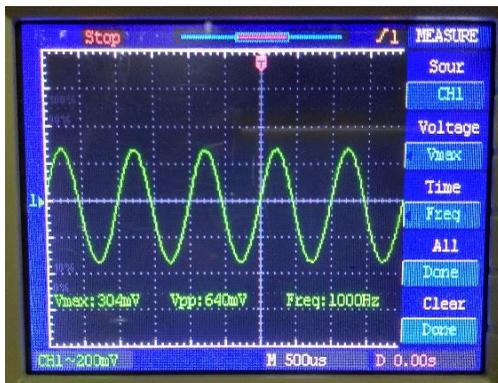
LAMPIRAN C

Dokumentasi Data Percobaan

- A. Pengukuran sumber sinyal *output* pada *smartphone* ketika pengujian PGA dan *amplifier* TDA2030.



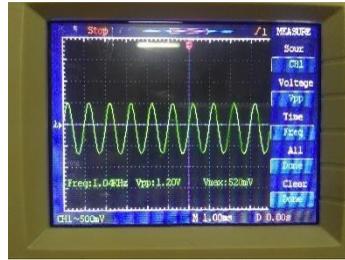
- B. Amplitudo sinyal *output* pada *smartphone* ketika pengujian PGA dan *amplifier* TDA2030.



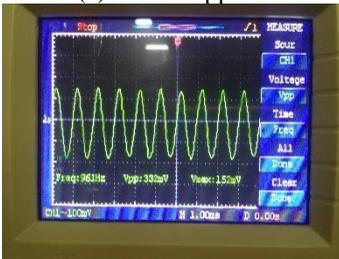
C. Sinyal output PGA.



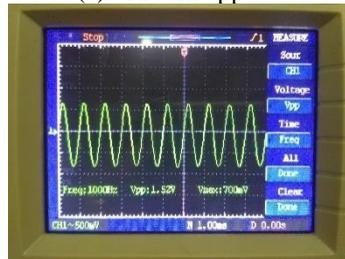
(a) 104mVpp



(e) 1200mVpp



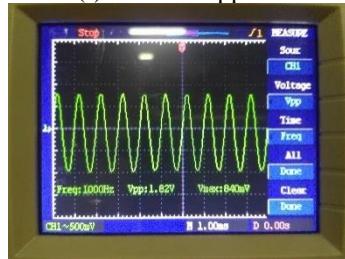
(b) 332mVpp



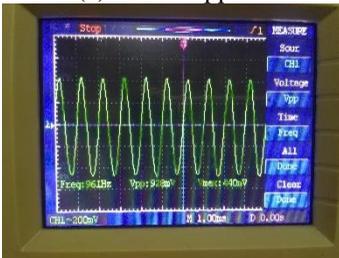
(f) 1520mVpp



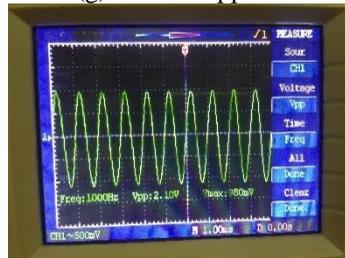
(c) 624mVpp



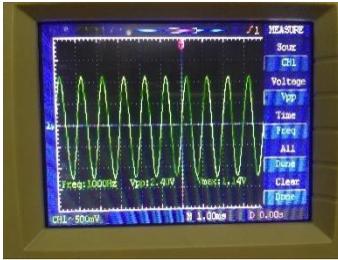
(g) 1820mVpp



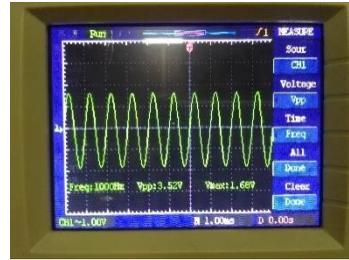
(d) 928mVpp



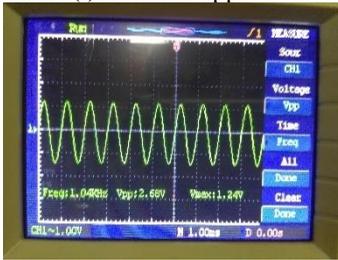
(h) 2100mVpp



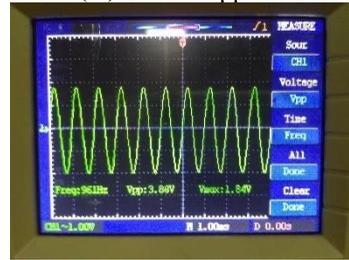
(i) 2400mVpp



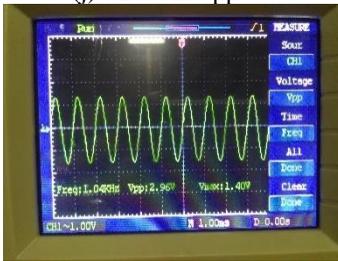
(m) 3520mVpp



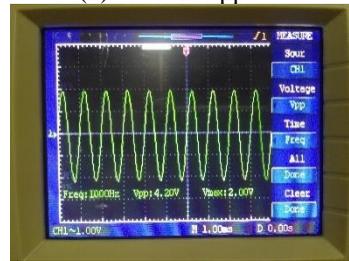
(j) 2680mVpp



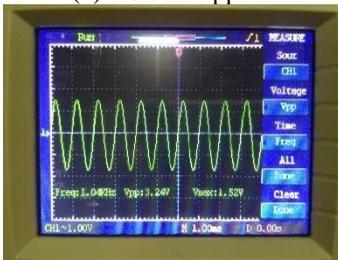
(n) 3880mVpp



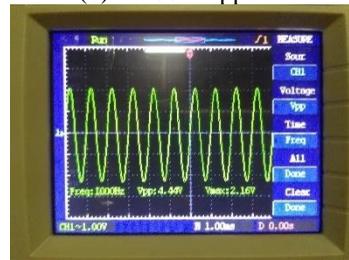
(k) 2960mVpp



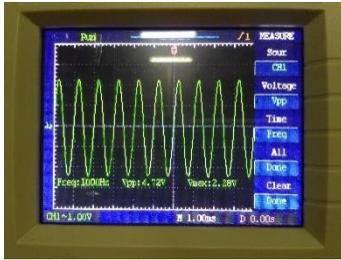
(o) 4200mVpp



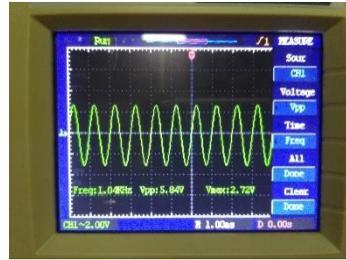
(l) 3240mVpp



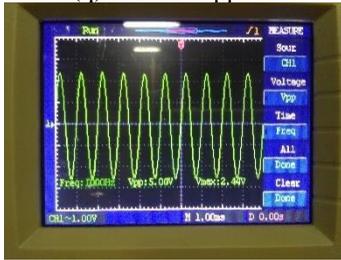
(p) 4440mVpp



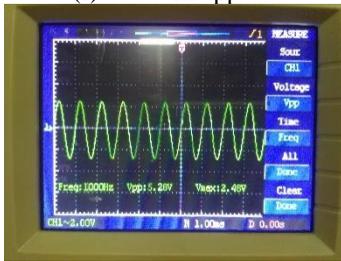
(q) 4720mVpp



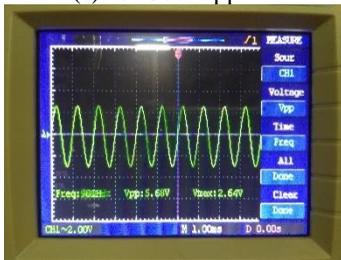
(u) 5840mVpp



(r) 5040mVpp

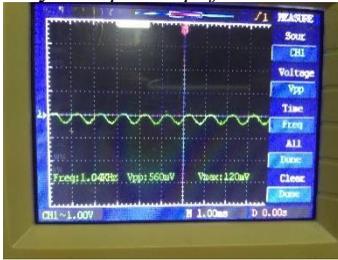


(s) 5280mVpp

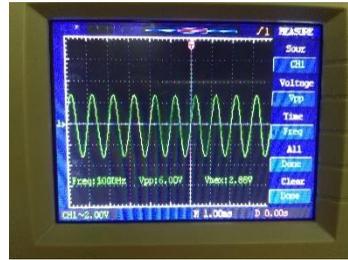


(t) 5680mVpp

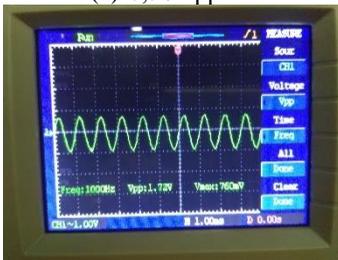
D. Sinyal output amplifier TDA203



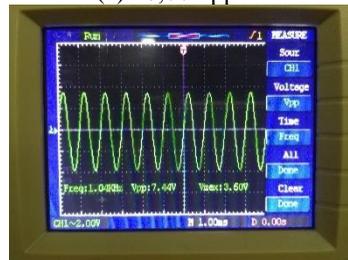
(a) 0,56Vpp



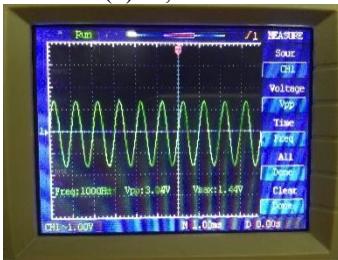
(e) 6,00Vpp



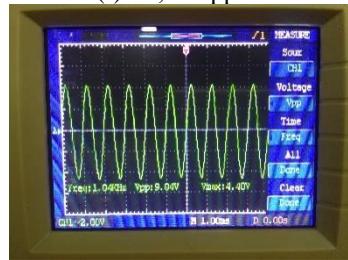
(b) 1,72V



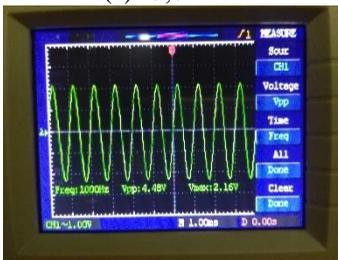
(f) 7,44Vpp



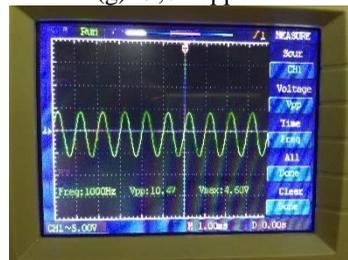
(c) 3,04V



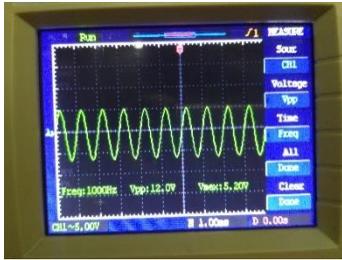
(g) 9,04Vpp



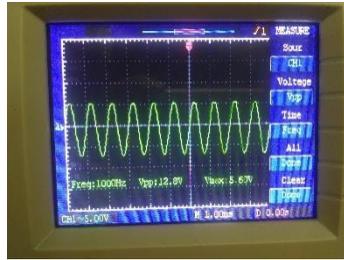
(d) 4,48V



(h) 10,40Vpp



(i) 12,00Vpp



(j) 12,80Vpp

E. Pengaturan *sound level meter* TES1351



LAMPIRAN D

Dokumentasi Kegiatan

A. Pengujian termal kamera



B. Pengujian keseluruhan sistem (*indoor*).



C. Pengujian keseluruhan sistem (*outdoor*).



LAMPIRAN E

Datasheet

Panasonic Infrared Array Sensor Grid-EYE (AMG88)

Infrared Array Sensor Grid-EYE



High Precision Infrared Array Sensor based on Advanced MEMS Technology

Features

- Temperature detection of two-dimensional area: 8 × 8 (64 pixels)
- Digital output (capability of temperature value output)
- Compact SMD package (adaptively to reflow mounting)
- RoHS compliant

Typical applications

- High function home appliances (microwaves and air-conditioners)
- Energy saving at office (air-conditioning/lighting control)
- Digital signage
- Automatic doors/elevators

Ordering information

AMG 8 8 _ _ _

● Vertical pixel
8: 8 pixels

● Horizontal pixel
8: 8 pixels

● Operating voltage
3: 3.3 VDC
5: 5.0 VDC

● Amplification factor:
3: High performance type: High gain
4: High performance type: Low gain

Types

Units and feet package : 1,000 pcs.

Product name	Number of pixel	Operating voltage	Amplification factor	Part number
Infrared array sensor Grid-EYE High performance type	64 (Vertical 8 × Horizontal 8 Matrix)	3.3 VDC	High performance type High gain	AMG8833
			High performance type Low gain	AMG8834
		5.0 VDC	High performance type High gain	AMG8853
			High performance type Low gain	AMG8854

Rating

Item	Performance	
	High gain	Low gain
Applied voltage	3.3 VDC±0.3 VDC or 5.0 VDC±0.5 VDC	
Temperature range of measuring object	0 °C to 80 °C +32 °F to +176 °F	-20 °C to 100 °C -4 °F to +212 °F
Operating temperature range	0 °C to 80 °C +32 °F to +176 °F	-20 °C to 80 °C -4 °F to +176 °F
Storage temperature range	-20 °C to 80 °C -4 °F to +176 °F	-20 °C to 60 °C -4 °F to +176 °F

Design and specifications are each subject to change without notice. Ask factory for the current technical specifications before purchase and/or use.
Should a safety concern arise regarding this product, please be sure to contact us immediately.

02 Apr. 2017

Panasonic Infrared Array Sensor Grid-EYE (AMG88)

Absolute maximum ratings

Item	Absolute maximum ratings	Terminal
Applied voltage	-0.3 V.DC to 6.5 V.DC	VDD
Input voltage	-0.3 V.DC to VDD +0.3 V.DC	SCL, SDA, AD_SELECT
Output sink current	-10 mA to 10 mA	INT, SDA
Static electricity (Human body model)	1 kV	All terminals
Static electricity (Machine model)	200 V	All terminals

Characteristics

Item	Performance	
	High performance type High gain	High performance type Low gain
Temperature accuracy	Typical $\pm 2.5^{\circ}\text{C} \pm 4.5^{\circ}\text{F}$	Typical $\pm 3.0^{\circ}\text{C} \pm 5.4^{\circ}\text{F}$
Human detection distance *	7 m or less (reference value) 22.966 ft	
NETD ^{‡2}	Typ. 0.05°C 32.900 $^{\circ}\text{F}$ 1 Hz Typ. 0.16°C 32.288 $^{\circ}\text{F}$ 10 Hz	
Viewing angle	Typical 60°	
Optical axis gap	Within Typical $\pm 5.6^{\circ}$	
Current consumption	Typical 4.5 mA (normal mode) Typical 0.2 mA (sleep mode) Typical 0.8 mA (stand-by mode)	
Setup time	Typical 50 ms (Time to enable communication after setup) Typical 15 s (Time to stabilize output after setup)	

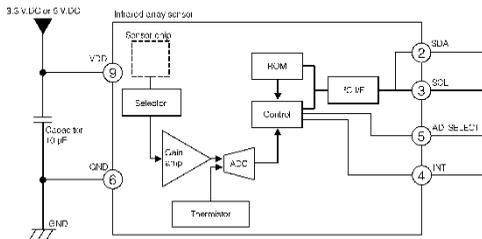
Note: *1 To have more than 4°C / 7.2°F of temperature difference from background
 Detector object size: $700 \times 250 \text{ mm}$ / $27.559 \times 9.842 \text{ inch}$ (Assume a human body size)
 *2 1 σ is calculated from 4 pixels of centers.

Performance

Item	Performance
Number of pixel	64 (Vertical 8 × Horizontal 8 Matrix)
External interface	I ² C (fast mode)
Frame rate	Typical 10 frames/sec or 1 frame/sec
Operating mode *	Normal Sleep Stand-by (10 sec or 60 sec intermittence)
Output mode	Temperature output
Calculate mode	No moving average or Twice moving average
Temperature output resolution	0.25°C 32.45 $^{\circ}\text{F}$
Number of sensor address	2 (I ² C slave address)
Thermistor output temperature range	-20°C to 80°C -4°F to $+176^{\circ}\text{F}$
Thermistor output resolution	0.0625°C 32.1125 $^{\circ}\text{F}$

Note: *1 Normal Mode: normal operation mode; Sleep Mode: detect on is off (output and data reading no, possible); Standby Mode: 1 frame measuring intermittently every 10 or 60 sec.

Internal circuit



* INT terminal (4) normally has same voltage as VDD. When interrupting, same as GND (0V)

Design and specifications are each subject to change without notice. Ask factory for the current technical specifications before purchase and/or use. Should a safety concern arise regarding this product, please be sure to contact us immediately.

02 Apr. 2017

18 W hi-fi amplifier and 35 W driver

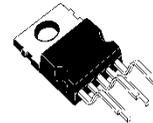
Features

- Output power 18 W at $V_S = \pm 16 \text{ V} / 4 \Omega$ with 0.5% distortion
- High output current
- Very low harmonic and crossover distortion
- Short-circuit protection
- Thermal shutdown

Description

The TDA2030A is a monolithic IC in a Pentawatt package intended for use as a low-frequency class-AB amplifier.

With $V_{S \text{ max}} = 44 \text{ V}$ it is particularly suited for more reliable applications without regulated supply and for 35 W driver circuits using low-cost complementary pairs.



Pentawatt (vertical)

The TDA2030A provides high output current and has very low harmonic and crossover distortion. The device incorporates a short-circuit protection system comprising an arrangement for automatically limiting the dissipated power so as to keep the operating point of the output transistors within their safe operating range. A conventional thermal shutdown system is also included.

Table 1. Device summary

Order code	Package
TDA2030AV	Pentawatt (vertical)

Figure 1. Typical application

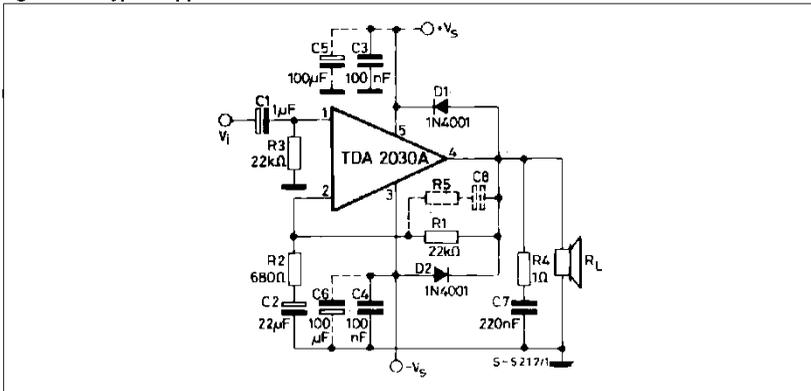


Figure 4. Single supply amplifier

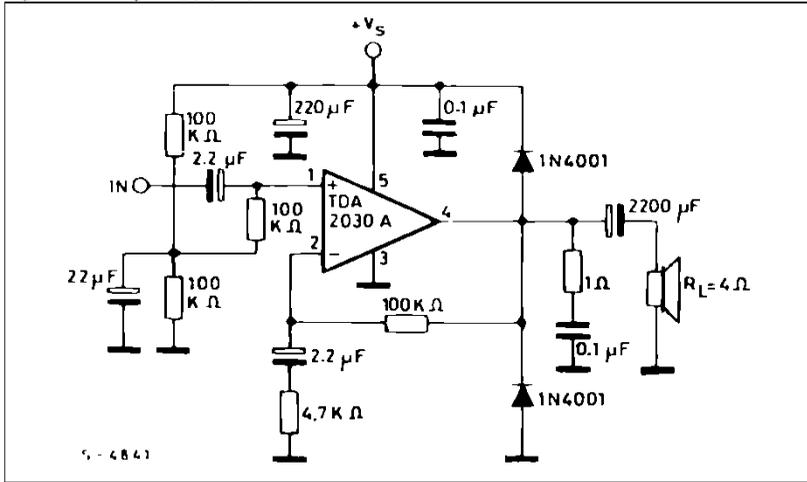


Figure 5. Open loop-frequency response

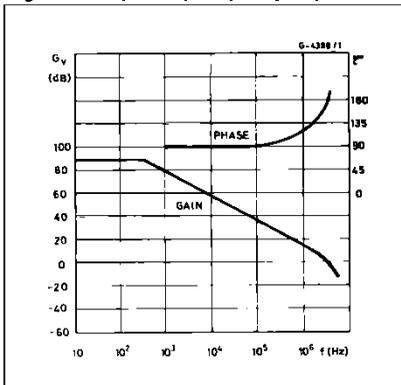
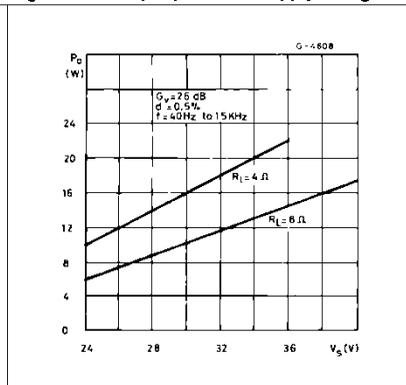


Figure 6. Output power vs. supply voltage



X9C102, X9C103, X9C104, X9C503
Digitally Controlled Potentiometer (XDCP™)

FN8222
Rev 4.00
Jan 11, 2019

The X9C102, X9C103, X9C104, X9C503 are digitally controlled (XDCP) potentiometers. The device consists of a resistor array, wiper switches, a control section, and nonvolatile memory. The wiper position is controlled by a three-wire interface.

The potentiometer is implemented by a resistor array composed of 99 resistive elements and a wiper switching network. Between each element and at either end are tap points accessible to the wiper terminal. The position of the wiper element is controlled by the CS, U/D, and INC inputs. The position of the wiper can be stored in non-volatile memory and then be recalled upon a subsequent power-up operation.

The device can be used as a three-terminal potentiometer or as a two-terminal variable resistor in a wide variety of applications ranging from control to signal processing to parameter adjustment.

Pinout

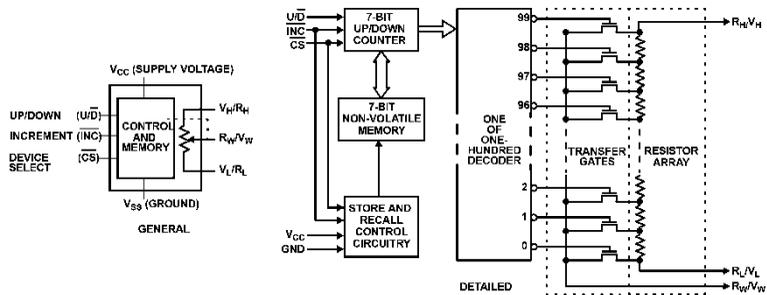
X9C102, X9C103, X9C104, X9C503
(8 LD SOIC, 8 LD PDIP)
TOP VIEW



Features

- Solid-State Potentiometer
- Three-Wire Serial Interface
- 100 Wiper Tap Points
 - Wiper Position Stored in Non-volatile Memory and Recalled on Power-up
- 99 Resistive Elements
 - Temperature Compensated
 - End-to-End Resistance, ±20%
 - Terminal Voltages, ±5V
- Low Power CMOS
 - V_{CC} = 5V
 - Active Current, 3mA max.
 - Standby Current, 750µA max.
- High Reliability
 - Endurance, 100,000 Data Changes per Bit
 - Register Data Retention, 100 years
- X9C102 = 1kΩ
- X9C103 = 10kΩ
- X9C503 = 50kΩ
- X9C104 = 100kΩ
- Packages
 - 8 Ld SOIC
 - 8 Ld PDIP
- Pb-Free Available (RoHS Compliant)

Block Diagram



Instructions and Programming

The $\overline{\text{INC}}$, $\overline{\text{U/D}}$ and $\overline{\text{CS}}$ inputs control the movement of the wiper along the resistor array. With $\overline{\text{CS}}$ set LOW, the device is selected and enabled to respond to the $\overline{\text{U/D}}$ and $\overline{\text{INC}}$ inputs. HIGH to LOW transitions on $\overline{\text{INC}}$ will increment or decrement (depending on the state of the $\overline{\text{U/D}}$ input) a 7-bit counter. The output of this counter is decoded to select one of one-hundred wiper positions along the resistive array.

The value of the counter is stored in non-volatile memory whenever $\overline{\text{CS}}$ transitions HIGH while the $\overline{\text{INC}}$ input is also HIGH.

The system may select the X9Cxxx, move the wiper and deselect the device without having to store the latest wiper position in non-volatile memory. After the wiper movement is performed as previously described and once the new position is reached, the system must keep $\overline{\text{INC}}$ LOW while taking $\overline{\text{CS}}$ HIGH. The new wiper position will be maintained until changed by the system or until a power-down/up cycle recalled the previously stored data.

This procedure allows the system to always power-up to a pre-set value stored in non-volatile memory; then during system operation, minor adjustments could be made. The adjustments might be based on user preference, i.e.: system parameter changes due to temperature drift, etc.

The state of $\overline{\text{U/D}}$ may be changed while $\overline{\text{CS}}$ remains LOW. This allows the host system to enable the device and then move the wiper up and down until the proper trim is attained.

Mode Selection

$\overline{\text{CS}}$	$\overline{\text{INC}}$	$\overline{\text{U/D}}$	MODE
L		H	Wiper Up
L		L	Wiper Down
	H	X	Store Wiper Position
H	X	X	Standby Current
	L	X	No Store, Return to Standby
	L	H	Wiper Up (not recommended)
	L	L	Wiper Down (not recommended)

Symbol Table

WAVEFORM	INPUTS	OUTPUTS
	Must be steady	Will be steady
	May change from Low to High	Will change from Low to High
	May change from High to Low	Will change from High to Low
	Don't Care: Changes Allowed	Changing: State Not Known
	N/A	Center Line is High Impedance

Performance Characteristics

Contact the factory for more information.

Applications Information

Electronic digitally controlled (XCDP) potentiometers provide three powerful application advantages:

1. The variability and reliability of a solid-state potentiometer.
2. The flexibility of computer-based digital controls.
3. The retentivity of non-volatile memory used for the storage of multiple potentiometer settings or data.

BIODATA PENULIS



Harits Surya Budhiarso, lahir di Banyumas pada tanggal 13 Oktober 1996. Penulis bersekolah di SD Negeri 1 Somagede, SMP Negeri 1 Banyumas, dan SMA Negeri 2 Purwokerto. Penulis melanjutkan studi S1 di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya Jurusan Teknik Elektro. Kemudian penulis memilih untuk masuk ke Bidang Studi Elektronika karena hobi. Penulis juga tertarik di dunia teknologi khususnya pada bidang robotika dan bergabung dengan UKM robotika sejak semester pertama perkuliahan. Selain di UKM, penulis juga menjadi tim robot KRPAI ITS yang bernama ABINARA-1 sejak semester pertama. Penulis mulai menjadi tim inti KRPAI sejak semester 5 dan berhasil membawa piala juara 2 lomba robot KRPAI tingkat nasional. Banyak pelajaran yang dapat diambil selama bergabung dengan tim robot seperti kerjasama tim dan *leadership*.

e-mail : haritssurya@gmail.com

No HP : 085726136185