

# **Projek Tabung Superposisi Berbasis Arduino dengan Sensor INMP441 dan ESP32**

(Superposisi Dua Gelombang)

Oleh kelompok 3:

1. Yogi Rendra Maulana      2413022004
2. Nofi Tarias                    2413022017
3. Dyah Ayu Puspita            2413022022
4. Tantri Widyaningsih        2413022050

## **Dosen Pengampu:**

Prof.Dr. Kartini Herlina, M.Si

Dr. Ike Festiana, S.Pd., M.Pd

Ryna Aulia Falamy, M.Si.P



**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN FISIKA  
JURUSAN PENDIDIKAN MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN  
UNIVERSITAS LAMPUNG**

**2026**

## LEMBAR PENGESAHAN

Judul Proyek : Projek Tabung Superposisi Berbasis Arduino dengan Sensor  
INMP441 dan ESP32

Tanggal Percobaan : 5 Januari 2026

Tempat percobaan : Gedung L.3 FKIP Universitas Lampung

Kelompok : 3

Anggota :

Yogi Rendra Maulana	2413022004
Nofi Tarias	2413022017
Dyah Ayu Puspita	2413022022
Tantri Widyaningsih	2413022050

Fakultas : Keguruan dan Ilmu Pendidikan

Jurusan : Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Program Studi : Pendidikan Fisika

Bandar Lampung, 6 Januari 2026

Mengetahui,

Dosen Pengampu I

Dosen Pengampu II

Dosen Pengampu III

Prof.Dr.Kartini Herlina, M.Si

Dr. Ike Festiana,S.Pd.,M.Pd

Ryna Aulia Falamy, S.Pd.,M.Si.P

NIP. 1965061619910220011

NIP. 0210028902

NIP. 1994061920224062001

## IDENTITAS KELOMPOK 3

### Dokumentasi Bersama



### Anggota:



Nama: Yogi Rendra Maulana  
NPM : 2413022004



Nama: Nofi Tarias  
NPM : 2413022017



Nama: Dyah Ayu Puspita  
NPM : 2413022022



Nama: Tantri Widyaningsih  
NPM : 2413022050

## ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan merancang dan mengembangkan alat praktikum superposisi dua gelombang bunyi pada tabung resonansi berbasis mikrokontroler Arduino dan ESP32 dengan memanfaatkan sensor akustik digital INMP441. Superposisi gelombang bunyi diamati melalui perubahan amplitudo sinyal bunyi resultan ketika dua sumber bunyi diaktifkan secara bersamaan di dalam satu medium. Metode penelitian dilakukan dengan menghasilkan gelombang bunyi dari dua speaker yang dikendalikan oleh Arduino, kemudian sinyal bunyi hasil superposisi dideteksi oleh sensor INMP441 dan diolah oleh ESP32. Data pengukuran ditampilkan dalam bentuk grafik amplitudo terhadap waktu secara *real-time* melalui komunikasi port ke komputer. Hasil percobaan menunjukkan bahwa aktivasi dua sumber bunyi secara simultan menghasilkan perubahan amplitudo sinyal yang berbeda dibandingkan dengan aktivasi satu sumber bunyi, sehingga menunjukkan terjadinya superposisi gelombang bunyi sesuai dengan prinsip teori gelombang. Alat yang dikembangkan bersifat sederhana, ekonomis, dan mudah digunakan, sehingga berpotensi menjadi media pembelajaran fisika yang efektif pada materi gelombang bunyi.

**Kata kunci:** *superposisi gelombang bunyi, tabung resonansi, Arduino, ESP32, sensor INMP441*

## DAFTAR ISI

<b>COVER .....</b>	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>	<b>ii</b>
<b>IDENTITAS KELOMPOK 3.....</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>iv</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>v</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan.....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>4</b>
2.1 Kajian Teori.....	4
2.2 Konsep.....	6
2.3 Prinsip Kerja.....	7
<b>BAB III PROSEDUR PERCOBAAN .....</b>	<b>9</b>
3.1 Alat dan Bahan .....	9
3.2 Prosedur Pembuatan Alat .....	12
3.3 Langkah Langkah Percobaan .....	15
<b>BAB IV HASIL PENGAMATAN &amp; PEMBAHASAN.....</b>	<b>16</b>
4.1 Alat Praktikum yang Dikembangkan .....	16
4.2 Hasil Percobaan.....	17
<b>BAB V PENUTUP.....</b>	<b>21</b>
5.1 Kesimpulan.....	21
5.2 Keterbatasan Alat .....	21
5.3 Saran .....	22
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>23</b>

## **BAB I PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Fisika merupakan bagian dari ilmu pengetahuan alam yang mempelajari berbagai gejala alam yang berkaitan dengan materi, energi, serta interaksinya. Salah satu kajian penting dalam fisika adalah gelombang, khususnya gelombang bunyi, yang memiliki peranan besar dalam kehidupan sehari-hari, seperti pada sistem komunikasi, teknologi audio, dan berbagai aplikasi di bidang sains dan teknik. Oleh karena itu, pemahaman konsep gelombang bunyi menjadi bagian yang penting dalam pembelajaran fisika.

Salah satu konsep dasar dalam kajian gelombang bunyi adalah superposisi gelombang, yaitu peristiwa bertemunya dua atau lebih gelombang dalam suatu medium yang sama sehingga menghasilkan gelombang resultan dengan amplitudo tertentu. Prinsip superposisi menyatakan bahwa simpangan total pada suatu titik merupakan penjumlahan simpangan dari masing-masing gelombang yang hadir secara bersamaan. Konsep ini sering kali sulit dipahami oleh peserta didik apabila hanya disampaikan secara teoritis, karena bersifat abstrak dan tidak mudah diamati secara langsung tanpa bantuan media pembelajaran yang sesuai.

Pembelajaran fisika akan menjadi lebih efektif apabila didukung oleh kegiatan praktikum dan proyek yang memungkinkan peserta didik mengamati fenomena fisika secara nyata. Namun, dalam praktiknya, pelaksanaan praktikum gelombang bunyi di sekolah sering mengalami kendala, seperti keterbatasan alat, biaya pengadaan yang relatif mahal, serta peralatan yang sulit diperoleh. Kondisi tersebut menyebabkan pembelajaran gelombang bunyi cenderung dilakukan secara konseptual tanpa disertai pengalaman eksperimen langsung.

Oleh karena itu, diperlukan perancangan alat praktikum superposisi gelombang bunyi yang sederhana, ekonomis, mudah dirakit, dan aman digunakan, tanpa mengurangi esensi konsep fisika yang dipelajari. Pemanfaatan bahan yang mudah

diperoleh, seperti pipa paralon sebagai medium perambatan bunyi dan speaker sebagai sumber gelombang, dapat menjadi solusi alternatif dalam mendukung kegiatan praktikum gelombang bunyi di lingkungan pembelajaran.

Untuk mendukung pengamatan dan pengukuran fenomena superposisi gelombang bunyi secara lebih terukur, digunakan sistem berbasis mikrokontroler Arduino dan ESP32 yang dipadukan dengan sensor mikrofon digital INMP441. Sensor INMP441 berfungsi menangkap sinyal bunyi yang merambat di dalam medium udara dan mengubahnya menjadi data digital. Data tersebut kemudian diolah dan divisualisasikan dalam bentuk grafik amplitudo terhadap waktu, sehingga perubahan amplitudo gelombang bunyi akibat superposisi dapat diamati secara langsung dan real-time.

Sebagai bagian dari tugas proyek pada materi gelombang, perancangan dan pembuatan alat praktikum superposisi dua gelombang bunyi ini diharapkan dapat membantu peserta didik memahami konsep superposisi gelombang bunyi tidak hanya secara teoritis, tetapi juga melalui pengalaman eksperimen langsung. Dengan demikian, kegiatan proyek ini dapat meningkatkan pemahaman konsep, keterampilan analisis data, serta kemampuan berpikir ilmiah peserta didik. Berdasarkan uraian tersebut, laporan ini membahas perancangan dan pengujian alat praktikum superposisi dua gelombang bunyi menggunakan pipa paralon, speaker, mikrokontroler Arduino dan ESP32, serta sensor INMP441 sebagai media pembelajaran fisika yang aplikatif dan inovatif.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, rumusan masalah dalam proyek ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana rancangan alat praktikum superposisi dua gelombang bunyi yang sederhana dan mudah dibuat untuk tugas proyek gelombang?
2. Bagaimana prinsip kerja alat praktikum superposisi dua gelombang bunyi yang dirancang?

3. Bagaimana fenomena superposisi dua gelombang bunyi dapat diamati menggunakan alat yang dibuat?
4. Bagaimana alat praktikum yang dirancang dapat membantu pemahaman konsep superposisi gelombang bunyi dalam pembelajaran fisika

### **1.3 Tujuan**

Tujuan dari pelaksanaan projek ini adalah sebagai berikut:

1. Merancang dan membuat alat praktikum sederhana untuk menunjukkan fenomena superposisi dua gelombang bunyi.
2. Menjelaskan prinsip kerja alat praktikum superposisi gelombang bunyi yang telah dirancang.
3. Mengamati terjadinya superposisi dua gelombang bunyi melalui percobaan menggunakan alat yang dibuat.
4. Meningkatkan pemahaman konsep superposisi gelombang bunyi melalui kegiatan projek dan praktikum.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Kajian Teori

Gelombang bunyi merupakan gelombang mekanik longitudinal yang merambat melalui medium elastis seperti udara akibat getaran suatu sumber bunyi. Getaran ini menyebabkan partikel medium mengalami rapatan dan renggangan secara periodik sehingga energi bunyi dapat merambat dari satu titik ke titik lain. Karena memerlukan medium, gelombang bunyi tidak dapat merambat di ruang hampa dan kecepatan rambatnya dipengaruhi oleh sifat medium, terutama temperatur udara (Halliday, Resnick, & Walker, 2014).

Secara matematis, gelombang bunyi dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan gelombang:

$$y(x, t) = A \sin(kx - \omega t)$$

dengan  $A$  sebagai amplitudo gelombang,  $k$  bilangan gelombang, dan  $\omega$  sebagai frekuensi sudut. Amplitudo berkaitan dengan intensitas bunyi, sedangkan frekuensi menentukan tinggi rendahnya bunyi yang dapat didengar oleh telinga manusia (Serway & Jewett, 2018).

Salah satu prinsip fundamental dalam kajian gelombang adalah prinsip superposisi. Prinsip ini menyatakan bahwa apabila dua atau lebih gelombang merambat secara bersamaan dalam medium yang sama, maka simpangan resultan pada suatu titik merupakan jumlah aljabar dari simpangan masing-masing gelombang. Prinsip superposisi berlaku selama medium berada dalam kondisi elastis dan gelombang tidak saling memengaruhi secara permanen (Tipler & Mosca, 2008).

Jika dua gelombang bunyi dengan frekuensi dan arah rambat yang sama dinyatakan sebagai:

$$y_1 = A_1 \sin(kx - \omega t)$$
$$y_2 = A_2 \sin(kx - \omega t + \phi)$$

dengan  $A_1$  dan  $A_2$  sebagai amplitudo gelombang,  $k$  sebagai bilangan gelombang,  $\omega$  sebagai frekuensi sudut,  $t$  sebagai waktu, dan  $\phi$  sebagai beda fase antara kedua gelombang. Berdasarkan prinsip superposisi, gelombang resultan yang terbentuk merupakan penjumlahan dari kedua gelombang tersebut, sehingga dapat dituliskan sebagai:

$$y = y_1 + y_2$$

Hasil superposisi dua gelombang bunyi ini menyebabkan perubahan amplitudo gelombang resultan, sementara frekuensi gelombang tetap sama dengan frekuensi gelombang penyusunnya. Prinsip ini menjelaskan bahwa ketika lebih dari satu gelombang bunyi hadir secara bersamaan dalam suatu medium, simpangan total medium merupakan jumlah dari simpangan masing-masing gelombang (Young & Freedman, 2016).

Fenomena superposisi diamati pada gelombang bunyi yang merambat di dalam tabung resonansi. Gelombang bunyi yang dipantulkan oleh ujung tabung akan bertumpuk (bersuperposisi) dengan gelombang datang, membentuk gelombang stasioner. Gelombang stasioner ini ditandai dengan adanya simpul dan perut gelombang, yang menunjukkan titik-titik minimum dan maksimum amplitudo akibat hasil superposisi gelombang datang dan gelombang pantul (Halliday et al., 2014).

Tabung resonansi merupakan alat yang memanfaatkan fenomena gelombang stasioner untuk mempelajari sifat gelombang bunyi. Pada tabung resonansi satu ujung tertutup, resonansi terjadi ketika panjang kolom udara memenuhi hubungan:

$$L = \frac{(2n - 1)\lambda}{4}$$

Sedangkan pada tabung dua ujung terbuka berlaku:

$$L = \frac{n\lambda}{2}$$

dengan  $n$  sebagai bilangan bulat dan  $\lambda$  sebagai panjang gelombang bunyi. Kondisi resonansi ini menunjukkan terjadinya superposisi maksimum antara gelombang datang dan gelombang pantul sehingga amplitudo bunyi meningkat secara signifikan (Serway & Jewett, 2018).

Dalam penelitian ini, pengamatan superposisi gelombang bunyi dilakukan dengan bantuan sistem berbasis Arduino dan ESP32 yang diintegrasikan dengan sensor suara digital. Sensor suara (INMP441) berfungsi mendeteksi perubahan tekanan bunyi dan amplitudo gelombang sebagai hasil superposisi di dalam tabung resonansi, kemudian mengubahnya menjadi sinyal listrik digital. Mikrokontroler Arduino dan ESP32 berperan sebagai pusat pengolahan data, memungkinkan analisis sinyal bunyi dilakukan secara otomatis dan *real-time*. Pemanfaatan teknologi ini meningkatkan ketelitian eksperimen serta mempermudah visualisasi fenomena superposisi gelombang bunyi dalam kegiatan pembelajaran fisika (Monk, 2017).

Dengan demikian, kajian superposisi gelombang bunyi pada tabung resonansi berbasis Arduino dan ESP32 tidak hanya memperkuat pemahaman konsep fisika gelombang secara teoritis, tetapi juga memberikan pendekatan eksperimen yang modern, interaktif, dan relevan dengan perkembangan teknologi pendidikan.

## **2.2 Konsep**

Tabung superposisi merupakan sebuah instrumen eksperimental yang dirancang untuk mempelajari fenomena superposisi gelombang bunyi di dalam medium udara. Ketika diintegrasikan dengan teknologi mikrokontroler Arduino dan ESP32, alat ini berfungsi sebagai sistem pengukuran modern yang mampu mendeteksi dan memvisualisasikan gelombang bunyi hasil superposisi secara langsung dan terukur. Konsep dasar sistem ini memanfaatkan prinsip superposisi, yaitu penjumlahan dua atau lebih gelombang bunyi yang merambat secara bersamaan di dalam satu medium sehingga menghasilkan gelombang resultan dengan amplitudo tertentu.

Dalam implementasinya, ketika kedua speaker diaktifkan secara simultan, masing-masing speaker menghasilkan gelombang bunyi yang merambat di sepanjang kolom udara di dalam tabung. Gelombang-gelombang bunyi tersebut bertemu dan saling bertumpang tindih di dalam medium, sehingga sinyal bunyi yang terdeteksi oleh sensor merupakan sinyal resultan dari kontribusi kedua sumber bunyi yang hadir pada waktu yang sama. Fenomena ini sesuai dengan prinsip superposisi gelombang bunyi sebagaimana dijelaskan dalam teori gelombang klasik (Serway & Jewett, 2018).

Arduino dan ESP32 berperan sebagai pusat kendali dan pengolahan data sistem. Arduino digunakan untuk mengatur pembangkitan sinyal bunyi pada masing-masing speaker, sedangkan ESP32 berfungsi membaca sinyal dari sensor suara digital INMP441 dan mengolahnya menjadi data digital. Sensor INMP441 mendeteksi perubahan amplitudo tekanan bunyi akibat superposisi gelombang di dalam tabung dan mengubahnya menjadi sinyal digital yang dapat diproses lebih lanjut. Pemanfaatan teknologi mikrokontroler dalam eksperimen fisika memungkinkan proses pengukuran dan visualisasi data dilakukan secara lebih sistematis, objektif, dan terukur (Monk, 2017).

### **2.3 Prinsip Kerja**

Prinsip kerja alat praktikum superposisi dua gelombang bunyi ini didasarkan pada prinsip superposisi gelombang, yaitu peristiwa penjumlahan dua gelombang bunyi yang merambat secara bersamaan di dalam satu medium yang sama. Pada alat ini digunakan dua buah speaker sebagai sumber gelombang bunyi yang dipasang pada kedua ujung pipa paralon. Masing-masing speaker menghasilkan gelombang bunyi dengan frekuensi yang dapat diatur melalui potensiometer dan program pada mikrokontroler Arduino.

Gelombang bunyi yang dihasilkan oleh kedua speaker merambat melalui kolom udara di dalam pipa paralon sebagai medium perambatan. Ketika kedua speaker diaktifkan secara bersamaan, gelombang bunyi dari masing-masing sumber hadir pada waktu yang sama di dalam pipa dan mengalami superposisi. Akibatnya, sinyal bunyi yang terbentuk di dalam pipa merupakan gelombang bunyi resultan

yang amplitudonya merupakan hasil penjumlahan kontribusi kedua gelombang penyusunnya, sementara frekuensi gelombang tetap mengikuti frekuensi sumber bunyi.




Gelombang bunyi resultan tersebut kemudian dideteksi oleh sensor suara digital INMP441 yang dipasang pada posisi tertentu di sepanjang pipa paralon. Sensor ini berfungsi mengubah getaran tekanan udara akibat gelombang bunyi menjadi sinyal digital. Sinyal digital selanjutnya dibaca dan diproses oleh ESP32, kemudian dikirimkan ke komputer melalui komunikasi port untuk ditampilkan dalam bentuk data amplitudo terhadap waktu.



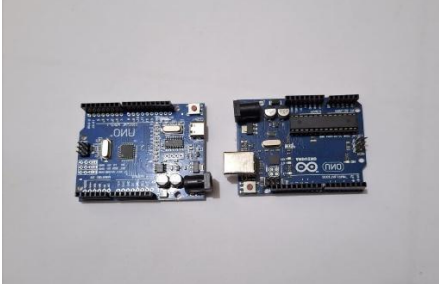

Data hasil pengukuran ditampilkan secara real-time dalam bentuk tabel dan grafik menggunakan perangkat lunak pada komputer. Melalui tampilan tersebut, perubahan amplitudo sinyal bunyi akibat aktivasi dua sumber bunyi secara simultan dapat diamati secara langsung. Dengan demikian, alat ini bekerja dengan mengintegrasikan fenomena fisika gelombang bunyi, sistem elektronik berbasis mikrokontroler, dan pemrosesan data digital sehingga fenomena superposisi gelombang bunyi dapat diamati dan dianalisis secara kuantitatif.

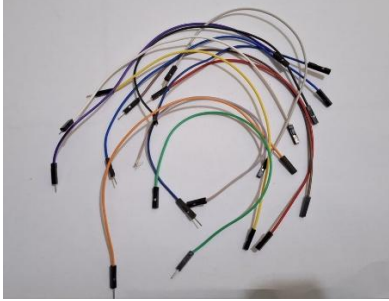
## BAB III PROSEDUR PERCOBAAN



### 3.1 Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang dilakukan dalam percobaan ini sebagai berikut:

No.	Nama alat dan bahan	Jumlah	Gambar
1.	Laptop	1 buah	
2.	Solder	1 buah	
3.	Power bank	1 buah	

No.	Nama alat dan bahan	Jumlah	Gambar
4.	Pipa Paralon	1 buah berukuran 1 meter	
5.	Tatakan Kayu	1 set	
6.	Arduino Uno	2 buah	
7.	Kabel USB	3 buah	

No.	Nama alat dan bahan	Jumlah	Gambar
8.	Speaker	2 buah	
9.	ESP-32	1 buah	
10.	Potensiometer	2 buah	
11.	Jumper Female to Male	15 pcs	

No.	Nama alat dan bahan	Jumlah	Gambar
12.	Jumper Female to Female	2 pcs	
13.	Sensor INMP441	1 buah	
14.	Lem Tembak	2 pcs	
15.	Balon	4 pcs	

### 3.2 Prosedur Pembuatan Alat

Prosedur pembuatan alat tabung superposisi gelombang bunyi berbasis Arduino dan ESP32 dilakukan melalui tahapan sebagai berikut:

1. Menyiapkan alat dan bahan

Menyiapkan seluruh alat dan bahan yang diperlukan, meliputi Arduino Uno, ESP32, speaker, potensiometer, sensor mikrofon digital INMP441, pipa

paralon, tatakan kayu, kabel jumper, power bank, serta laptop yang digunakan sebagai media pemrograman dan pemantauan data.

## 2. Perakitan speaker dengan Arduino Uno

Menghubungkan masing-masing speaker ke Arduino Uno menggunakan kabel jumper sesuai dengan konfigurasi pin keluaran sinyal bunyi yang telah dirancang.

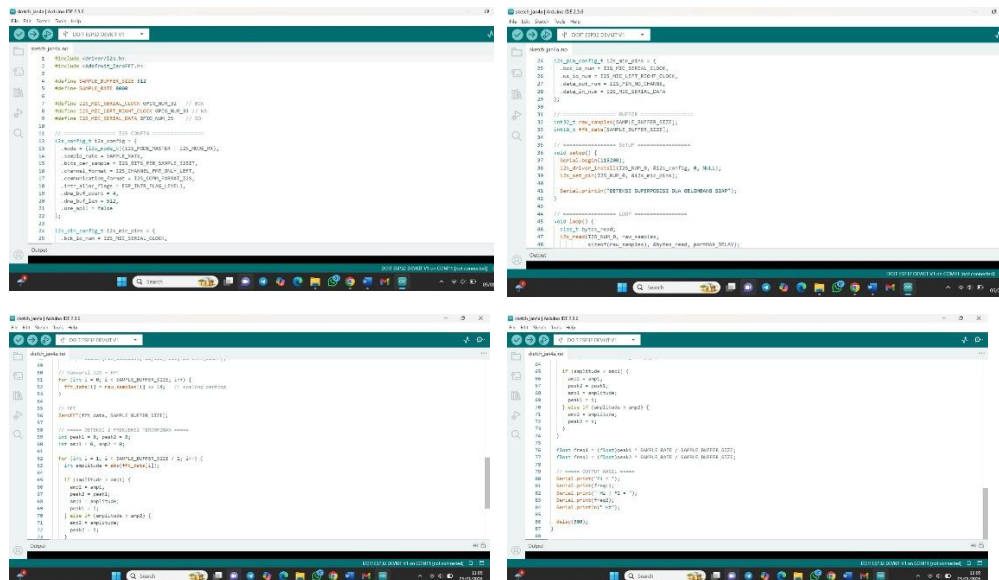
## 3. Pemasangan potensiometer

Menghubungkan potensiometer ke Arduino Uno yang telah terhubung dengan speaker. Potensiometer digunakan untuk mengatur frekuensi bunyi yang dihasilkan oleh masing-masing speaker.

## 4. Pemrograman Arduino Uno

Melakukan pemrograman pada Arduino Uno menggunakan perangkat lunak Arduino IDE melalui laptop. Program dirancang untuk menghasilkan sinyal bunyi dengan frekuensi tertentu serta mengatur respon perubahan frekuensi melalui potensiometer. Berikut ini adalah bentuk kodingan yang digunakan dalam pemrograman di arduino uno:

**Gambar 4.1 pemrograman arduino uno**



5. Perakitan struktur mekanik tabung  
Memasang pipa paralon pada tatakan kayu yang telah disediakan agar tabung berada dalam posisi stabil dan sejajar selama percobaan berlangsung.
6. Pemasangan speaker pada pipa paralon  
Memasang speaker pada masing-masing ujung pipa paralon sebagai sumber bunyi. Selanjutnya, menghubungkan rangkaian Arduino dan speaker ke sumber daya listrik berupa power bank.
7. Persiapan rangkaian ESP32 dan sensor INMP441  
Menyiapkan ESP32 dan sensor mikrofon digital INMP441, kemudian menghubungkannya sesuai dengan konfigurasi rangkaian yang telah ditentukan.
8. Pemrograman ESP32  
Melakukan pemrograman pada ESP32 untuk membaca sinyal bunyi yang diterima oleh sensor INMP441 dan mengirimkan data hasil pengukuran ke laptop secara real-time melalui komunikasi port.
9. Pemasangan sensor pada tabung  
Memasang sensor mikrofon digital INMP441 pada posisi tertentu di sepanjang pipa paralon sesuai dengan titik pengamatan yang telah direncanakan.
10. Penutupan ujung tabung  
Menutup kedua ujung pipa paralon menggunakan balon yang dipasang secara rapat untuk membatasi interaksi udara di dalam tabung dengan lingkungan luar.
11. Pengaturan frekuensi sumber bunyi  
Mengatur frekuensi masing-masing speaker melalui potensiometer atau pengaturan program pada Arduino hingga diperoleh kondisi dua sumber bunyi dengan frekuensi yang sama.
12. Pengaturan posisi sensor dan persiapan pengambilan data  
Menyesuaikan posisi sensor mikrofon untuk memperoleh data amplitudo bunyi yang optimal sebelum proses pengambilan data dilakukan.

### **3.3 Langkah Langkah Percobaan**

Setelah alat praktikum superposisi dua gelombang bunyi selesai dirakit dan diuji fungsinya, percobaan dilakukan untuk mengamati fenomena superposisi gelombang bunyi secara langsung. Percobaan ini bertujuan memperoleh data amplitudo sinyal bunyi yang terdeteksi ketika dua sumber bunyi diaktifkan secara bersamaan di dalam satu medium. Pengambilan data dilakukan secara real-time menggunakan sensor mikrofon digital INMP441 yang terhubung dengan ESP32 dan ditampilkan melalui komunikasi port ke komputer.

Adapun langkah-langkah percobaan yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Arduino dihubungkan ke sumber daya berupa powerbank.
2. Frekuensi pada kedua speaker diatur melalui potensiometer hingga memiliki nilai frekuensi yang sama.
3. Sensor dihubungkan ke laptop untuk merekam data amplitudo terhadap waktu.
4. Sensor INMP441 diarahkan ke tabung untuk mengamati terjadinya superposisi gelombang.
5. Data hasil pengukuran dikirimkan oleh sensor melalui ESP32 yang terhubung ke laptop.
6. Setelah sensor terhubung dan mikrofon diarahkan ke tabung, data pengukuran akan muncul dan tersimpan dalam bentuk tabel pada aplikasi Excel di laptop.

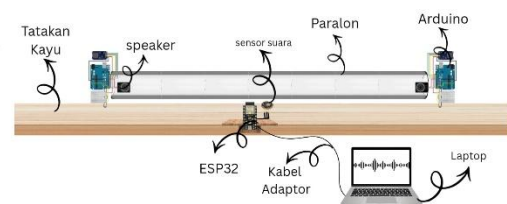
## BAB IV HASIL PENGAMATAN & PEMBAHASAN

### 4.1 Alat Praktikum yang Dikembangkan

Berikut ditampilkan alat praktikum yang dikembangkan dalam penelitian ini sebagai media pembelajaran terkait superposisi dua gelombang:



Gambar 4.2 Alat Superposisi



Gambar 4.3 Desain Alat

Alat praktikum yang dikembangkan pada penelitian ini merupakan alat praktikum superposisi dua gelombang bunyi berbasis mikrokontroler Arduino dan ESP32 yang dilengkapi dengan sensor akustik digital INMP441. Alat ini dirancang untuk mengamati dan menganalisis fenomena superposisi gelombang bunyi yang terjadi ketika dua sumber bunyi diaktifkan secara bersamaan dan merambat di dalam satu medium udara secara teratur dan digital.

Secara mekanik, alat praktikum ini tersusun atas sebuah tatakan kayu yang berfungsi sebagai dudukan utama seluruh komponen percobaan. Di atas tatakan tersebut dipasang pipa paralon yang berperan sebagai medium perambatan gelombang bunyi. Pada kedua ujung pipa paralon dipasang speaker yang berfungsi sebagai sumber bunyi. Kedua speaker dikendalikan oleh mikrokontroler Arduino untuk menghasilkan gelombang bunyi dengan frekuensi tertentu sehingga dua gelombang bunyi dapat merambat secara simultan di dalam pipa.

Ketika kedua speaker diaktifkan secara bersamaan, gelombang bunyi yang merambat di dalam pipa paralon akan saling bertumpang tindih sehingga terjadi superposisi gelombang bunyi. Superposisi ini ditunjukkan oleh perubahan amplitudo tekanan bunyi yang terdeteksi pada titik pengukuran tertentu. Untuk mendeteksi perubahan tersebut, sensor mikrofon digital INMP441 ditempatkan pada posisi tertentu di sepanjang pipa paralon. Sensor ini berfungsi menangkap variasi tekanan bunyi yang merupakan hasil superposisi gelombang bunyi.

Sinyal bunyi yang diterima oleh sensor INMP441 kemudian dibaca dan diolah oleh mikrokontroler ESP32. Data hasil pengukuran dikonversi menjadi data digital dan dikirimkan ke komputer atau laptop melalui komunikasi port. Komputer berfungsi sebagai media pemantauan dan perekaman data hasil pengukuran yang ditampilkan dalam bentuk nilai numerik, tabel, dan grafik amplitudo terhadap waktu.

Seluruh rangkaian elektronika, yang meliputi Arduino, ESP32, speaker, dan sensor INMP441, ditempatkan padaudukan yang stabil untuk menghindari pergeseran selama proses pengambilan data. Sumber daya alat diperoleh dari laptop dan power bank melalui kabel USB sehingga sistem menjadi lebih sederhana dan mudah dioperasikan. Penataan kabel dilakukan secara rapi agar tidak mengganggu jalannya percobaan.

Secara keseluruhan, alat praktikum superposisi dua gelombang bunyi ini memungkinkan pengamatan fenomena superposisi dilakukan secara objektif dan kuantitatif melalui pengukuran amplitudo sinyal bunyi secara real-time, sehingga tidak hanya bergantung pada pengamatan subjektif melalui pendengaran.

## **4.2 Hasil Percobaan**

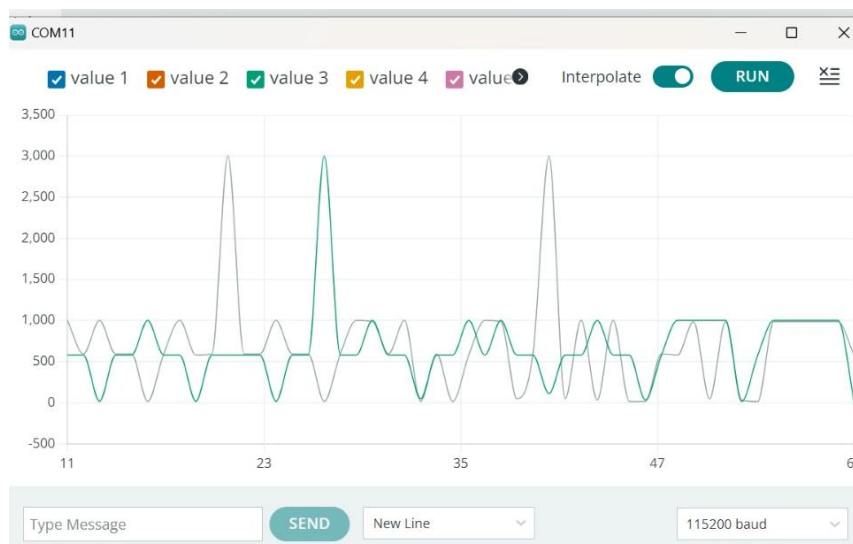
Percobaan ini dilakukan untuk mengamati fenomena superposisi gelombang bunyi yang dihasilkan oleh dua sumber bunyi yang diaktifkan secara bersamaan menggunakan alat praktikum berbasis ESP32 dan sensor mikrofon digital INMP441. Dua buah speaker dipasang pada kedua ujung pipa paralon dan dikendalikan oleh mikrokontroler Arduino untuk menghasilkan gelombang bunyi dengan frekuensi yang sama secara simultan.

Pada pelaksanaan percobaan, kedua speaker diaktifkan pada waktu yang sama sehingga gelombang bunyi dari masing-masing sumber merambat secara serentak di dalam pipa paralon. Dengan kondisi tersebut, gelombang bunyi yang hadir di dalam pipa merupakan gelombang bunyi resultan yang terbentuk akibat superposisi dua gelombang bunyi. Pada percobaan ini tidak dilakukan pengambilan data secara terpisah untuk masing-masing speaker, melainkan pengukuran dilakukan langsung pada kondisi superposisi.

Sensor mikrofon digital INMP441 ditempatkan pada posisi tertentu di sepanjang pipa paralon untuk mendeteksi perubahan tekanan bunyi yang dihasilkan oleh superposisi gelombang bunyi di dalam medium udara. Sinyal bunyi yang diterima oleh sensor kemudian diubah menjadi data digital oleh ESP32 dan dikirimkan ke komputer melalui komunikasi port serial untuk direkam.

Berikut ini disajikan data hasil pengukuran amplitudo bunyi yang diperoleh selama percobaan. Data hasil pengukuran berupa amplitudo sinyal bunyi terhadap waktu diperoleh secara real-time dan disajikan dalam bentuk tabel dan grafik. Grafik amplitudo terhadap waktu digunakan untuk menunjukkan fluktuasi amplitudo sinyal bunyi yang terdeteksi oleh sensor sebagai akibat dari superposisi dua gelombang bunyi yang terjadi secara bersamaan di dalam pipa paralon.

Gambar 4.4 Grafik hasil percobaan menggunakan sensor INMP441



Hasil pengukuran amplitudo bunyi ditampilkan pada Gambar 4.4 menunjukkan grafik amplitudo sinyal bunyi terhadap waktu yang diperoleh dari pembacaan sensor INMP441 ketika kedua speaker diaktifkan secara simultan. Grafik tersebut merepresentasikan sinyal bunyi resultan yang terbentuk dari superposisi dua gelombang bunyi selama percobaan berlangsung.

## 4.2 Pembahasan

Berdasarkan data yang disajikan pada grafik pada Gambar 4.4, dapat diamati bahwa amplitudo sinyal bunyi yang terdeteksi oleh sensor INMP441 mengalami fluktuasi terhadap waktu. Fluktuasi amplitudo ini menunjukkan adanya variasi tekanan udara di dalam pipa paralon akibat superposisi dua gelombang bunyi yang merambat secara bersamaan di dalam medium udara.

Karena kedua speaker diaktifkan secara simultan dengan frekuensi yang sama, sinyal bunyi yang terdeteksi oleh sensor merupakan gelombang bunyi resultan yang terbentuk dari penjumlahan kontribusi kedua sumber bunyi. Perubahan amplitudo yang teramati pada grafik menunjukkan interaksi kedua gelombang bunyi tersebut pada titik pengukuran, sesuai dengan prinsip superposisi gelombang bunyi.

Grafik pada Gambar 4.4 memperlihatkan bahwa amplitudo sinyal bunyi tidak bersifat konstan, melainkan mengalami kenaikan dan penurunan pada waktu-waktu tertentu. Munculnya puncak amplitudo yang lebih tinggi menunjukkan kondisi ketika kontribusi kedua gelombang bunyi saling memperkuat, sedangkan amplitudo yang lebih rendah menunjukkan kondisi ketika kontribusi kedua gelombang bunyi tidak berada pada kondisi maksimum secara bersamaan.

Nilai amplitudo sinyal bunyi yang terukur juga dipengaruhi oleh beberapa faktor teknis, antara lain kestabilan keluaran speaker, sensitivitas sensor INMP441, posisi sensor di dalam pipa paralon, serta pengaruh lingkungan sekitar seperti kebisingan dan getaran mekanik. Faktor-faktor tersebut menyebabkan sinyal yang terdeteksi tidak selalu memiliki pola yang teratur seperti gelombang sinus ideal.

Meskipun parameter gelombang seperti fase dan frekuensi belum dianalisis secara kuantitatif dalam percobaan ini, data amplitudo yang diperoleh telah cukup menunjukkan terjadinya superposisi gelombang bunyi secara kualitatif. Dengan demikian, percobaan ini berhasil memperlihatkan karakteristik sinyal bunyi hasil superposisi dua gelombang bunyi yang terjadi secara simultan.

Secara keseluruhan, hasil percobaan dan pembahasan menunjukkan bahwa alat praktikum superposisi gelombang bunyi berbasis ESP32 dan sensor INMP441 mampu merekam dan menampilkan sinyal bunyi resultan akibat superposisi dua gelombang bunyi secara real-time. Penyajian data dalam bentuk tabel dan grafik memberikan gambaran yang jelas mengenai perubahan amplitudo sinyal bunyi serta mendukung pemahaman konsep superposisi gelombang bunyi dalam pembelajaran fisika.

## **BAB V PENUTUP**

### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil perancangan, pembuatan, dan pengujian alat praktikum superposisi dua gelombang bunyi, dapat disimpulkan bahwa alat yang dikembangkan mampu menampilkan fenomena superposisi gelombang bunyi secara nyata dan teramati. Ketika dua sumber bunyi berupa speaker diaktifkan secara bersamaan, gelombang bunyi yang merambat di dalam medium pipa paralon saling bertumpang tindih dan membentuk gelombang bunyi resultan.

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa amplitudo sinyal bunyi yang terdeteksi oleh sensor mikrofon digital INMP441 mengalami fluktuasi terhadap waktu. Fluktuasi amplitudo tersebut merupakan akibat dari superposisi dua gelombang bunyi yang hadir secara simultan di dalam medium udara. Sinyal bunyi yang terdeteksi merupakan hasil gabungan kontribusi dari kedua sumber bunyi, sesuai dengan prinsip superposisi gelombang bunyi.

Integrasi sensor mikrofon digital INMP441 dengan mikrokontroler ESP32 berhasil mengubah getaran bunyi menjadi data digital yang dapat direkam dan ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik amplitudo terhadap waktu. Dengan demikian, alat praktikum ini dapat digunakan sebagai media pembelajaran fisika untuk membantu memahami konsep superposisi dua gelombang bunyi secara kualitatif melalui pengamatan langsung dan analisis data sederhana.

### **5.2 Keterbatasan Alat**

Meskipun alat praktikum superposisi dua gelombang bunyi telah berfungsi sesuai dengan tujuan perancangan, alat ini masih memiliki beberapa keterbatasan. Salah satu keterbatasan utama adalah alat belum mampu menentukan nilai frekuensi bunyi secara numerik dan presisi. Pengaturan frekuensi sumber bunyi masih dilakukan secara manual melalui pengaturan speaker, sehingga frekuensi yang dihasilkan belum dapat diukur secara langsung dalam satuan hertz (Hz).

Selain itu, amplitudo sinyal bunyi yang terdeteksi masih dipengaruhi oleh kondisi lingkungan sekitar, seperti kebisingan luar dan getaran mekanik. Posisi sensor mikrofon di dalam pipa paralon serta kestabilan sumber bunyi juga berpengaruh terhadap hasil pengukuran, sehingga amplitudo sinyal bunyi yang diperoleh dapat mengalami fluktuasi yang cukup besar dan belum sepenuhnya stabil.

Keterbatasan lainnya adalah bentuk sinyal bunyi yang diperoleh belum merepresentasikan gelombang sinus ideal, karena data yang ditampilkan merupakan hasil pembacaan tekanan udara secara langsung oleh sensor mikrofon digital. Oleh karena itu, analisis gelombang masih bersifat kualitatif dan belum mencakup parameter gelombang secara lengkap.

### **5.3 Saran**

Berdasarkan keterbatasan yang telah diidentifikasi, disarankan dilakukan pengembangan lebih lanjut terhadap alat praktikum superposisi dua gelombang bunyi ini. Salah satu pengembangan yang dapat dilakukan adalah penambahan sistem analisis sinyal digital, seperti penerapan metode Fast Fourier Transform (FFT), sehingga frekuensi bunyi dapat ditentukan secara numerik dan lebih akurat.

Selain itu, penggunaan ruang percobaan yang lebih terkontrol atau penambahan peredam suara disarankan untuk meminimalkan pengaruh gangguan lingkungan terhadap hasil pengukuran. Kalibrasi sensor mikrofon digital serta penentuan posisi sensor yang lebih presisi juga perlu dilakukan agar data amplitudo yang diperoleh lebih stabil dan representatif. Dengan pengembangan tersebut, alat praktikum superposisi dua gelombang bunyi diharapkan dapat digunakan secara lebih optimal sebagai media pembelajaran fisika, khususnya dalam membantu peserta didik memahami konsep gelombang bunyi dan superposisi gelombang secara lebih sistematis dan ilmiah.

## DAFTAR PUSTAKA

- Jaafar, Rosly & Nazihah, Anis & Yusof, Mohd. (2019). Visualizing the superposition principle of sound waves in both-closed-end resonance tube. *Physics Education*. 54. 025004. 10.1088/1361-6552/aaf5ee.
- Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J. (2014). *Fundamentals of Physics*. Wiley.
- Serway, R. A., & Jewett, J. W. (2018). *Physics for Scientists and Engineers*. Cengage Learning.
- Tipler, P. A., & Mosca, G. (2008). *Physics for Scientists and Engineers*. W.H. Freeman.
- Young, H. D., & Freedman, R. A. (2016). *University Physics with Modern Physics*. Pearson.
- Monk, S. (2017). *Programming Arduino: Getting Started with Sketches*. McGraw-Hill.