

**LAPORAN PROYEK PENGEMBANGAN ALAT PERAGA PRAKTIKUM EFEK
DOPPLER MENGGUNAKAN MODUL MIC INMP441 DAN ESP-32**

Oleh Kelompok 1

Selvia Lestari (2413022009)

Ricky Eka Setya (2413022011)

Desi Amelia (2413022019)

Muthi Shaleha (2413022043)

Dosen pengampu

Prof.Dr.Kartini Herlina, M.Si

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

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



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

2025

LEMBAR PENGESAHAN

Judul Proyek : Pengembangan alat peraga praktikum efek doppler menggunakan modul mic INMP441 dan ESP-32

Tanggal Percobaan :

Tempat Percobaan : Gd Lt. 3 FKIP Universitas Lampung

Kelompok : 1 (satu)

Anggota : Selvia Lestari (2413022009)
Ricky Eka Setya (2413022011)
Desi Amelia (2413022019)
Muthi Shalehah (2413022043)

Fakultas : Keguruan dan Ilmu Pendidikan

Jurusan : Pendidikan MIPA

Program Studi : Pendidikan Fisika

Bandar Lampung, 23 Desember 2025

Mengetahui,

Dosen Pengampu I

Dosen Pengampu II

Dosen Pengampu III

Prof.Dr.Kartini Herlina, M.Si

NIP. 1965061619910220011

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

NIP. 0210028902

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

NIP. 1994061920224062001

ANGGOTA KELOMPOK 1



ABSTRAK

PENGEMBANGAN ALAT PERAGA PRAKTIKUM EFEK DOPPLER MENGUNAKAN MODUL MIC INMP441 DAN ESP-32

Oleh

Kelompok 1 (satu)

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dan mengimplementasikan alat peraga praktikum fisika yang mampu mendemonstrasikan fenomena Efek Doppler pada gelombang bunyi dengan memanfaatkan modul mikrofon digital INMP441 dan mikrokontroler ESP-32. Efek Doppler merupakan salah satu konsep penting dalam fisika gelombang yang menjelaskan terjadinya perubahan frekuensi bunyi yang diterima oleh pengamat akibat adanya gerak relatif antara sumber bunyi dan pengamat. Namun, konsep ini sering kali sulit dipahami oleh siswa karena bersifat abstrak dan umumnya hanya dijelaskan melalui pendekatan teoritis dan persamaan matematis. Oleh karena itu, diperlukan alat peraga praktikum yang dapat memvisualisasikan fenomena tersebut secara nyata dan interaktif.

Alat peraga yang dikembangkan dalam penelitian ini menggunakan modul mikrofon INMP441 sebagai sensor utama untuk menangkap sinyal bunyi dari sumber suara dan mendeteksi perubahan frekuensi secara digital. Mikrokontroler ESP-32 berperan sebagai pusat kendali sistem yang mengolah data sinyal bunyi, menghitung nilai frekuensi terdeteksi, serta menampilkan hasil pengukuran secara real-time melalui media tampilan digital dan sistem monitoring berbasis komunikasi nirkabel. Proses pengembangan alat meliputi tahap perancangan perangkat keras, pemrograman sistem pengolahan sinyal, serta integrasi sensor dan mikrokontroler agar mampu bekerja secara sinkron dan akurat dalam berbagai kondisi pengujian.

Pengujian alat peraga dilakukan dengan memvariasikan kecepatan relatif sumber bunyi terhadap pengamat untuk mensimulasikan kondisi sumber bunyi yang mendekati dan menjauhi pendengar. Hasil pengujian menunjukkan bahwa perubahan kecepatan relatif berbanding lurus dengan pergeseran frekuensi bunyi yang terdeteksi oleh modul INMP441. Frekuensi terukur mengalami peningkatan ketika sumber bunyi bergerak mendekati pengamat dan mengalami penurunan ketika sumber bunyi bergerak menjauhi pengamat. Pola perubahan frekuensi tersebut

konsisten dengan teori Efek Doppler pada gelombang bunyi, sehingga menunjukkan bahwa alat peraga yang dikembangkan mampu merepresentasikan fenomena fisika secara tepat.

Selain sebagai alat demonstrasi konsep Efek Doppler, alat peraga ini juga memberikan pengalaman belajar berbasis praktik yang lebih kontekstual bagi siswa. Melalui kegiatan eksperimen langsung, siswa dapat mengamati keterkaitan antara kecepatan relatif, frekuensi sumber bunyi, dan frekuensi bunyi yang diterima pengamat. Pemanfaatan mikrokontroler ESP-32 memungkinkan pengolahan data yang cepat, penyimpanan hasil pengukuran, serta integrasi dengan sistem pembelajaran berbasis teknologi digital. Dengan demikian, pengembangan alat peraga praktikum ini diharapkan dapat meningkatkan pemahaman konseptual, keterampilan eksperimen, serta minat siswa terhadap pembelajaran fisika. Penelitian ini juga menunjukkan potensi besar pemanfaatan teknologi sensor dan mikrokontroler dalam pengembangan media pembelajaran fisika yang inovatif dan adaptif terhadap perkembangan teknologi pendidikan.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
ANGGOTA KELOMPOK 1	iii
ABSTRAK	iv
DAFTAR ISI	vi
GAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	ix
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	2
C. Tujuan Penulisan	3
BAB II	4
TUNJAUAN PUSTAKA	4
A. Kajian Teori	4
Hipotesis	6
BAB III	8
METODE PROYEK	8
A. Desain Alat Proyek	8
a) Desain mobil yang berperan sebagai sumber bunyi	8
b) Desain mobil yang berperan sebagai pengamat	10
c) Skematik Rangkaian alat dan flowchat kerja alat	11
B. Alat proyek Yang di Kembangkan	14
C. Alat dan Bahan	15
D. Prosedur Pelaksanaan Proyek	19
E. Metode Analisis Data	20
F. Langkah Kerja	22
BAB IV	26
PEMBAHASAN	26

A. Tabel Hasil Pengamatan	26
B. Pembahasan	30
a) Perancangan dan Implementasi Alat Peraga Praktikum Efek Doppler Berbasis Modul Mikrofon INMP441 dan Mikrokontroler ESP32.	30
b) Pengaruh Variasi Frekuensi Sumber Bunyi terhadap Frekuensi yang Terdeteksi oleh Modul Mikrofon INMP441.	32
c) Pemanfaatan Alat Peraga Efek Doppler Berbasis ESP32 terhadap Peningkatan Pemahaman Konseptual Siswa.	34
BAB V	36
KESIMPULAN	36
A. Kesimpulan	36
B. Keterbatasan dan Kendala Proyek	36
C. Saran	39
DAFTAR PUSTAKA	40
LAMPIRAN	41

GAFTAR GAMBAR

Gambar. 1: Pendengar yang bergerak menuju sumber bunyi yang tidak bergerak..	5
Gambar.2: Bentuk pancaran gelombang oleh bunyi yang bergerak.	6
Gambar. 3: Desain mobil yang berperan sebagai sumber bunyi	8
Gambar. 4: Desain mobil yang berperan sebagai mobil pengamat	10
Gambar.5: Skematik rangkaian alat mobil yang berperan sebagai sumber bunyi ...	11
Gambar.6: Skematik rangkaian alat mobil yang berperan sebagai sumber bunyi ...	12
Gambar.7: Flowchat kerja alat mobil sumber bunyi	12
Gambar.8: Flowchat kerja alat mobil pengamat.....	13
Gambar.9: Alat Yang di Kembangkan	14

DAFTAR TABEL

Tabel 1. <i>Alat dan Bahan</i>	15
Tabel 2. <i>Hasil uji coba efek Doppler pada sumber bunyi bergerak mendekat dan pengamat diam</i>	26
Tabel 3. <i>Hasil uji coba efek doppler pada sumber bunyi bergerak menjauh dan pengamat diam</i>	26
Tabel 4. <i>Hasil uji coba efek Doppler pada sumber bunyi diam dan pengamat bergerak mendekat.</i>	27
Tabel 5. <i>Hasil uji coba efek Doppler pada sumber bunyi diam dan pengamat bergerak menjauh.</i>	27
Tabel 6. <i>Hasil uji coba efek Doppler pada saat sumber bunyi dan pengamat saling bergerak mendekat</i>	27
Tabel 7. <i>Hasil uji coba efek Doppler pada sumber bunyi bergerak mendekat dan pengamat diam</i>	28
Tabel 8. <i>Hasil uji coba efek doppler pada sumber bunyi bergerak menjauh dan pengamat diam</i>	28
Tabel 9. <i>Hasil uji coba efek Doppler pada sumber bunyi diam dan pengamat bergerak mendekat.</i>	29
Tabel 10. <i>Hasil uji coba efek Doppler pada sumber bunyi diam dan pengamat bergerak menjauh.</i>	29
Tabel 11. <i>Hasil uji coba efek Doppler pada saat sumber bunyi dan pengamat saling bergerak mendekat</i>	29

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Efek Doppler merupakan salah satu fenomena penting dalam fisika gelombang yang menggambarkan terjadinya perubahan frekuensi gelombang akibat adanya gerak relatif antara sumber gelombang dan pengamat. Fenomena ini pertama kali dikemukakan oleh fisikawan Austria, Christian Doppler, pada tahun 1842. Dalam kehidupan sehari-hari, efek Doppler dapat diamati dengan jelas pada gelombang bunyi, misalnya ketika bunyi sirene kendaraan darurat terdengar lebih tinggi saat mendekati pendengar dan lebih rendah ketika menjauh. Selain itu, konsep Efek Doppler juga memiliki peranan penting dalam berbagai bidang ilmu dan teknologi, seperti astronomi untuk menentukan pergeseran spektrum cahaya, radar dan sonar untuk mengukur kecepatan objek, serta sistem komunikasi modern.

Meskipun Efek Doppler merupakan konsep fundamental dalam fisika, pemahaman siswa terhadap materi ini masih tergolong rendah. Hal ini disebabkan oleh karakteristik konsep Efek Doppler yang bersifat abstrak dan umumnya disampaikan melalui pendekatan matematis tanpa dukungan visualisasi atau pengalaman eksperimen secara langsung. Metode pembelajaran konvensional yang berfokus pada ceramah dan penyelesaian soal sering kali membuat siswa kesulitan mengaitkan teori dengan fenomena nyata yang terjadi di sekitarnya. Oleh karena itu, diperlukan media pembelajaran yang mampu menjembatani konsep teoritis dengan pengalaman praktis agar pemahaman siswa menjadi lebih mendalam dan bermakna.

Salah satu alternatif solusi untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah melalui pengembangan alat peraga praktikum berbasis teknologi mikrokontroler dan sensor digital. Pemanfaatan teknologi ini memungkinkan terjadinya pembelajaran yang lebih interaktif, kontekstual, dan sesuai dengan perkembangan teknologi pendidikan saat ini. Dalam konteks pembelajaran Efek Doppler, alat peraga yang mampu mendeteksi dan menampilkan perubahan frekuensi bunyi secara real-time akan sangat membantu siswa

dalam memahami hubungan antara kecepatan relatif, frekuensi sumber bunyi, dan frekuensi bunyi yang diterima oleh pengamat.

Berdasarkan kebutuhan tersebut, proyek ini mengembangkan alat peraga praktikum Efek Doppler dengan memanfaatkan modul mikrofon digital INMP441 dan mikrokontroler ESP-32. Modul INMP441 digunakan untuk menangkap sinyal bunyi dan mendeteksi perubahan frekuensi secara digital dengan tingkat presisi yang baik, sedangkan ESP-32 berfungsi sebagai pengendali sistem yang mengolah data sinyal bunyi, menampilkan hasil pengukuran, serta mendukung integrasi dengan sistem monitoring berbasis digital. Kombinasi kedua perangkat ini memungkinkan perancangan alat peraga yang tidak hanya mampu mendemonstrasikan fenomena Efek Doppler secara akurat, tetapi juga selaras dengan perkembangan teknologi pembelajaran berbasis Internet of Things (IoT).

Pengembangan alat peraga praktikum ini diharapkan dapat memberikan pengalaman belajar yang lebih bermakna bagi siswa melalui kegiatan eksperimen dan pengamatan langsung. Dengan mengamati perubahan frekuensi bunyi akibat variasi kecepatan relatif sumber bunyi, siswa dapat lebih mudah memahami konsep Efek Doppler secara konseptual maupun aplikatif. Selain itu, alat peraga ini diharapkan dapat meningkatkan minat dan motivasi siswa dalam mempelajari fisika, serta menjadi salah satu inovasi media pembelajaran yang mendukung peningkatan kualitas pembelajaran fisika di sekolah.

B. Rumusan Masalah

1. Bagaimana perancangan dan implementasi alat peraga praktikum Efek Doppler menggunakan modul mikrofon digital INMP441 dan mikrokontroler ESP-32 agar dapat mendemonstrasikan fenomena Efek Doppler secara efektif?
2. Bagaimana pengaruh variasi frekuensi sumber bunyi terhadap frekuensi bunyi yang terdeteksi oleh modul mikrofon INMP441 pada alat peraga Efek Doppler yang dikembangkan?
3. Bagaimana penggunaan alat peraga praktikum Efek Doppler berbasis modul mikrofon INMP441 dan ESP-32 dapat meningkatkan pemahaman konseptual siswa terhadap fenomena fisika Efek Doppler?

C. Tujuan Penulisan

1. Untuk merancang dan mengimplementasikan alat peraga praktikum Efek Doppler menggunakan modul mikrofon digital INMP441 dan mikrokontroler ESP-32 yang mampu mendemonstrasikan fenomena Efek Doppler secara efektif dan mudah dipahami.
2. Untuk mengkaji pengaruh variasi frekuensi sumber bunyi terhadap frekuensi bunyi terdeteksi oleh modul mikrofon INMP441 pada alat peraga praktikum Efek Doppler yang dikembangkan.
3. Untuk mengetahui efektivitas penggunaan alat peraga praktikum Efek Doppler berbasis modul mikrofon INMP441 dan ESP-32 dalam meningkatkan pemahaman konseptual siswa terhadap fenomena fisika Efek Doppler.

BAB II TUNJAUAN PUSTAKA

A. Kajian Teori

Jika satu buah mobil bergerak menuju Anda sambil membunyikan klakson, Anda akan mendengar frekuensi bunyi klakson yang semakin besar. kebalikannya, apabila mobil tersebut bergerak membelakangi Anda, Anda akan mendengar frekuensi bunyi klakson yang semakin kecil. Kejadian ini pertama sekali disampaikan oleh ilmuwan berkebangsaan Austria Christian Doppler pada abad pertengahan, sehingga dinamakan efek Doppler. Secara umum, apabila sumber bunyi dan pendengar bergerak relatif satu sama lain, maka frekuensi bunyi yang didengar oleh pendengar berbeda terhadap frekuensi sumber bunyi. Untuk menelaah efek Doppler pada gelombang bunyi, kita ingin menetapkan hubungan antara pergeseran frekuensi, kecepatan sumber, dan kecepatan orang yang mendengar relatif dengan medium (udara) yang dilewati oleh gelombang bunyi tersebut. agar simpel, kita hanya akan berbicara posisi khusus di mana kecepatan sumber dan orang yang mendengar keduanya berada disepanjang garis lurus yang keduanya terhubung. Untuk topik efek Doppler v_s dan v_p berturut-turut memperlihatkan unsur-unsur kecepatan sumber bunyi dan kecepatan orang yang mendengar, relatif dengan medium. Kita akan memilih arah positif untuk v_s dan v_p sebagai arah dari orang yang mendengar P ke sumber S. Laju perambatan bunyi relatif dengan medium, yaitu v , selalu positif.

Pendengar Bergerak

Gambar 5.5 memperlihatkan pendengar bergerak pada kecepatan v_p menuju sumber bunyi yang diam.

Frekuensi sumber bunyi adalah f_s dengan panjang gelombang $\lambda = \frac{v}{f_s}$ Puncak gelombang yang tidak menyatu pada jarak yang sama adalah λ Besar laju relatif pendengar sebesar $v + v_p$. Jadi besar frekuensi pendengar f_p adalah:

$$f_p = \frac{v+v_p}{\lambda} = \frac{v+v_p}{v/f_s} \quad (1)$$

$$f_p = \left(1 + \frac{v_p}{v}\right) f_s \quad (2)$$



Gambar. 1: Pendengar yang bergerak menuju sumber bunyi yang tidak bergerak

Dengan demikian, orang yang mendengar bergerak mendekati sumber bunyi seperti pada **Gambar. 1** orang yang mendengar akan mendengar frekuensi yang lebih besar daripada yang didengar oleh orang yang mendengar yang diam. Melainkan, orang yang mendengar yang bergerak menjauhi sumber bunyi akan mendengar frekuensi yang lebih kecil.

Sumber Bunyi dan Pendengar yang Bergerak

Pada **Gambar.2** memperlihatkan sebuah sumber bunyi yang bergerak pada kecepatan. v_s Laju gelombang bunyi relatif terhadap medium (udara) adalah v . Laju gelombang bunyi bernilai konstan, tidak akan bergantung pada gerak sumber. Tetapi, rumus panjang gelombang bunyi tidak sama dengan v/f_s . Waktu untuk memancarkan satu daur gelombang sama dengan periode $T = 1/f_s$. Dalam waktu $T = 1/f_s$ ini gelombang merambat sejauh $vT = v/f_s$ dan sumber bunyi merambat sejauh $v_s T = v_s/f_s$. Panjang gelombang yaitu jarak antara dua ujung gelombang yang berdekatan. Seperti diperlihatkan pada **Gambar.2** panjang gelombang di depan sumber tidak sama dengan panjang gelombang di belakang sumber. Di depan sumber yang berada di sebelah kanan **Gambar.2** panjang gelombangnya yaitu:

$$\lambda = \frac{v}{f_s} - \frac{v}{f_s} = \frac{v-v_s}{f_s} \quad (3)$$

Persamaan panjang gelombang jika berada dibelakang sumber yang berada disebalah kiri yaitu:

$$\lambda = \frac{v}{f_s} - \frac{v}{f_s} = \frac{v+v_s}{f_s} \quad (4)$$



Gambar.2: Bentuk pancaran gelombang oleh bunyi yang bergerak.

Persamaan (4) ditukar menjadi persamaan (1) untuk frekuensi pendengar yang berada dibelakang sumber.

$$f_p = \frac{v+v_p}{\lambda} = \frac{v+v_p}{(v+v_s)/f_s} \quad (5)$$

$$f_p = \frac{v+v_p}{v+v_s} f_s \quad (6)$$

Persamaan 6 digunakan untuk sumber bunyi dan pendengar sepanjang garis yang dihubungkan untuk sumber bunyi dan pendengar. Apabila $v_p = 0 \text{ m/s}$ Apabila sumber bunyi dan pendengar tidak bergerak atau mempunyai kecepatan yang sama relatif terhadap medium, $v_p = v_s$ dan $f_p = f_s$. Apabila arah kecepatan asal atau arah kecepatan orang yang mendengar berlawanan dengan arah orang yang mendengar ke sumber (yang telah diartikan ditandai dengan tanda positif), sehingga besar kecepatan pendengar bertanda negatif.

Hipotesis

Berikut adalah hipotesis berdasarkan rumusan masalah dan kajian teori:

1. Alat peraga praktikum Efek Doppler yang dikembangkan dengan menggunakan modul mikrofon digital INMP441 dan mikrokontroler ESP-32 mampu mendemonstrasikan fenomena Efek Doppler secara efektif. Hal ini ditunjukkan dengan kemampuan sistem dalam menangkap perubahan frekuensi bunyi akibat gerak relatif antara sumber bunyi dan pendengar serta menampilkan hasil pengukuran secara real-time sesuai dengan prinsip teori Efek Doppler pada gelombang bunyi.

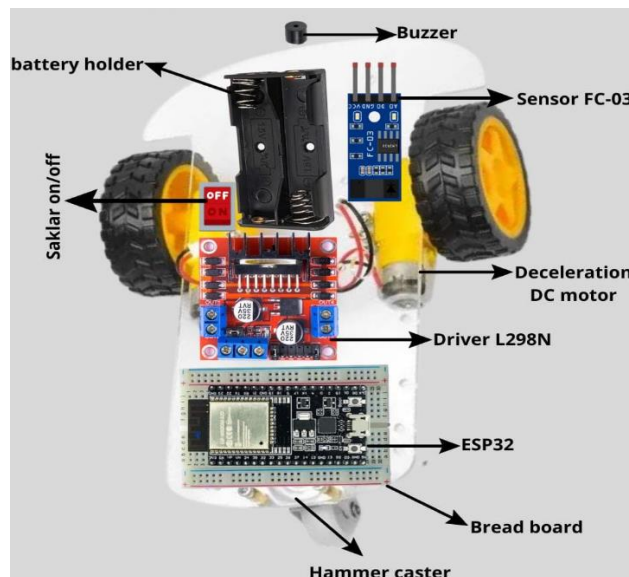
2. Perubahan frekuensi sumber bunyi memengaruhi secara langsung frekuensi bunyi yang terdeteksi oleh modul mikrofon INMP441 pada alat peraga yang dikembangkan. Dengan kecepatan relatif yang tetap, peningkatan frekuensi sumber bunyi akan menyebabkan peningkatan frekuensi terdeteksi, sehingga menunjukkan hubungan linier antara frekuensi sumber dan frekuensi yang diterima oleh pendengar sesuai dengan teori gelombang bunyi.
3. Penggunaan alat peraga praktikum Efek Doppler berbasis modul mikrofon INMP441 dan ESP-32 dapat meningkatkan pemahaman konseptual siswa terhadap fenomena fisika Efek Doppler. Melalui pembelajaran berbasis eksperimen dan pengamatan langsung, siswa lebih mudah memahami keterkaitan antara kecepatan relatif, frekuensi sumber bunyi, dan frekuensi bunyi terdeteksi dibandingkan dengan pembelajaran yang bersifat teoritis semata.

BAB III METODE PROYEK

A. Desain Alat Proyek

Alat peraga praktikum Efek Doppler ini dirancang untuk memvisualisasikan perubahan frekuensi bunyi akibat gerak relatif antara sumber bunyi dan pengamat. Desain alat terdiri atas dua unit mobil, yaitu mobil sumber bunyi sebagai penghasil gelombang bunyi dan mobil pengamat sebagai penerima serta pengukur frekuensi bunyi, yang keduanya dikendalikan menggunakan mikrokontroler ESP32.

a) Desain mobil yang berperan sebagai sumber bunyi



Gambar. 3: Desain mobil yang berperan sebagai sumber bunyi

Desain Mobil 1 (sumber bunyi) pada alat peraga praktikum Efek Doppler ini berfungsi sebagai penghasil gelombang bunyi yang akan diamati pergeseran frekuensinya oleh mobil pengamat. Mobil ini dirancang agar mampu menghasilkan bunyi dengan frekuensi tertentu dan bergerak secara terkontrol, sehingga dapat mensimulasikan kondisi sumber bunyi yang mendekati atau menjauhi pengamat sesuai dengan konsep Efek Doppler. Seluruh sistem dikendalikan oleh mikrokontroler ESP32

yang berperan sebagai pusat pengendali frekuensi bunyi, pengatur gerak mobil, serta penyedia koneksi nirkabel untuk pengaturan dan pemantauan sistem.

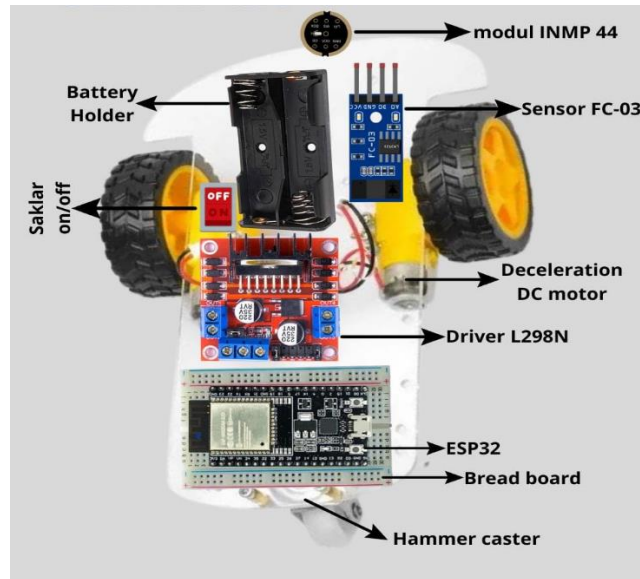
Sebagai sumber gelombang bunyi, mobil ini dilengkapi dengan buzzer yang frekuensinya dapat diatur melalui program pada ESP32. Buzzer menghasilkan bunyi kontinu dengan frekuensi tertentu yang digunakan sebagai frekuensi sumber (f_s) dalam percobaan Efek Doppler. Pengaturan frekuensi dilakukan secara digital sehingga nilai frekuensi sumber dapat dijaga relatif tetap selama pengujian dan mudah divariasikan sesuai kebutuhan praktikum.

Sistem penggerak mobil menggunakan motor DC yang dikendalikan melalui driver motor L298N. Driver ini memungkinkan pengaturan arah dan kecepatan motor sehingga mobil dapat bergerak maju atau mundur dengan perintah dari ESP32. Penggunaan driver L298N juga berfungsi untuk menstabilkan suplai arus ke motor serta melindungi mikrokontroler dari gangguan arus berlebih. Untuk menjaga kestabilan gerak, bagian depan mobil dilengkapi dengan hammer caster sebagai roda bantu agar mobil dapat bergerak lebih seimbang di permukaan lintasan.

Mobil sumber bunyi juga dilengkapi dengan sensor FC-03 sebagai sensor pendukung sistem, yang digunakan untuk membantu pemantauan kondisi operasional mobil selama percobaan. Seluruh rangkaian elektronik, termasuk ESP32 dan koneksi antar komponen, dirakit pada breadboard sehingga memudahkan proses perakitan, pengujian, serta modifikasi rangkaian apabila diperlukan.

Sumber daya listrik pada mobil ini berasal dari baterai lithium 18650 yang ditempatkan pada battery holder, serta dilengkapi dengan saklar on/off sebagai pengendali daya utama. Saklar ini memungkinkan sistem diaktifkan dan dinonaktifkan dengan mudah tanpa perlu melepas baterai. Penempatan komponen disesuaikan agar distribusi massa mobil tetap seimbang dan buzzer berada pada posisi yang optimal untuk memancarkan gelombang bunyi ke arah mobil pengamat.

b) Desain mobil yang berperan sebagai pengamat



Gambar. 4: Desain mobil yang berperan sebagai mobil pengamat

Desain mobil 2 (pengamat) pada alat peraga praktikum Efek Doppler ini dirancang sebagai unit utama yang berfungsi untuk mendeteksi dan mengukur frekuensi bunyi yang diterima akibat gerak relatif dengan sumber bunyi. Mobil ini menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali sistem, yang berperan dalam mengolah data sinyal bunyi dari sensor, mengendalikan pergerakan motor, serta menyediakan koneksi nirkabel berbasis WiFi untuk pemantauan data secara real-time. ESP32 dipasang pada breadboard guna memudahkan perakitan rangkaian, pengembangan, dan perbaikan sistem selama proses pengujian.

Sebagai sensor utama, mobil pengamat dilengkapi dengan modul mikrofon digital INMP441 yang berfungsi menangkap gelombang bunyi dari sumber suara. Modul ini dipilih karena memiliki sensitivitas tinggi dan kemampuan pemrosesan sinyal digital yang baik, sehingga cocok untuk mendeteksi perubahan frekuensi bunyi akibat Efek Doppler. Selain itu, pada mobil pengamat juga dipasang sensor FC-03 yang berfungsi sebagai sensor pendukung sistem, terutama dalam membantu deteksi kondisi gerak dan respons sistem selama mobil beroperasi.

Sistem penggerak mobil menggunakan motor DC yang dikendalikan melalui driver motor L298N. Driver ini memungkinkan pengaturan arah dan kecepatan putaran

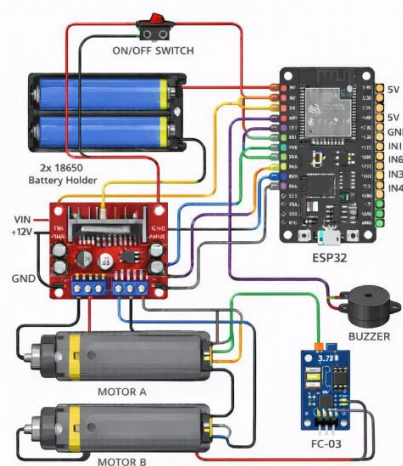
motor sehingga mobil dapat bergerak maju dan mundur sesuai perintah dari ESP32. Penggunaan driver L298N memberikan kestabilan arus ke motor serta melindungi mikrokontroler dari lonjakan arus listrik. Untuk mendukung pergerakan mobil agar tetap seimbang, bagian depan mobil dilengkapi dengan hammer caster, yang berfungsi sebagai roda bantu agar mobil dapat bergerak lebih stabil di permukaan lintasan.

Sumber daya listrik pada mobil pengamat berasal dari baterai lithium 18650 yang ditempatkan pada battery holder, dilengkapi dengan saklar on/off sebagai pengendali daya utama. Keberadaan saklar ini memudahkan pengguna dalam mengaktifkan dan menonaktifkan sistem tanpa harus melepas sumber daya. Seluruh komponen elektronik dipasang secara terintegrasi pada rangka mobil, dengan tata letak yang disesuaikan agar sensor mikrofon berada pada posisi yang optimal untuk menangkap gelombang bunyi dari sumber.

c) Skematik Rangkaian alat dan flowchat kerja alat

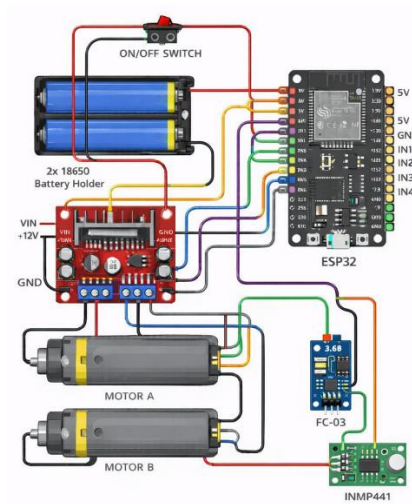
Skematik rangkaian alat disusun untuk menunjukkan hubungan dan koneksi antar komponen elektronik yang digunakan dalam alat peraga praktikum Efek Doppler. Skema ini memberikan gambaran alur, sistem kendali, serta integrasi sensor, aktuator, dan mikrokontroler sebagai satu kesatuan sistem. Gambar berikut menampilkan skematik rangkaian alat yang digunakan dalam proyek ini.

1. Skematik rangkaian alat mobil yang berperan sebagai sumber bunyi



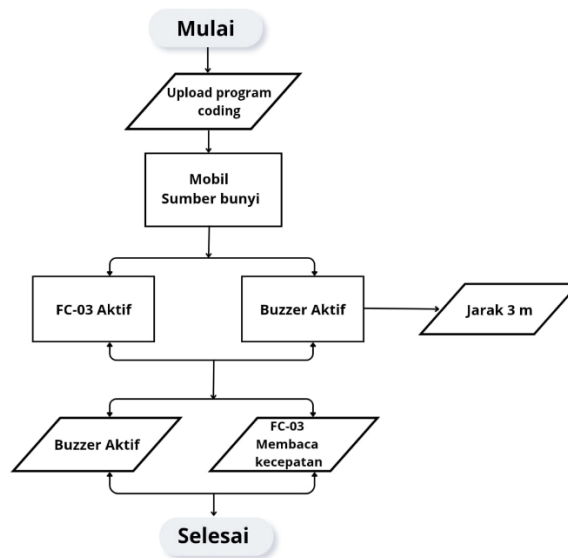
Gambar.5: Skematik rangkaian alat mobil yang berperan sebagai sumber bunyi

2. Skematik rangkaian alat mobil yang berperan sebagai sumber pengamat



Gambar.6: Skematik rangkaian alat mobil yang berperan sebagai sumber bunyi

3. Flowchat kerja alat mobil sumber bunyi

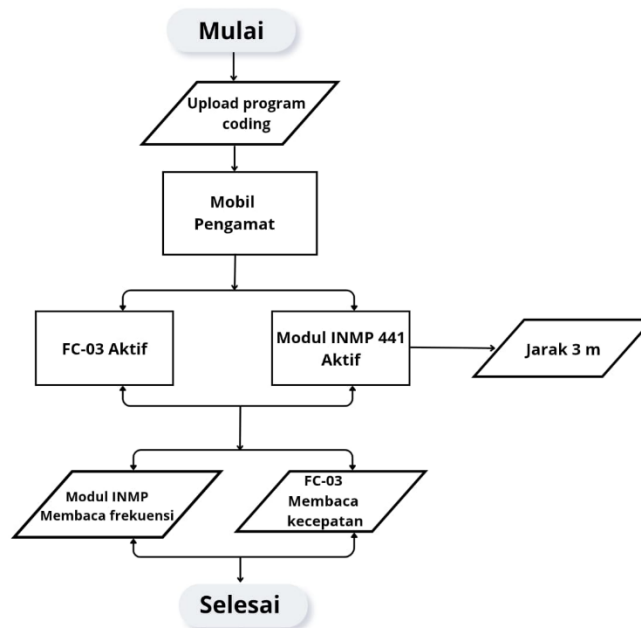


Gambar.7: Flowchat kerja alat mobil sumber bunyi

Skematik tersebut menggambarkan alur kerja sistem mobil sebagai sumber bunyi pada alat peraga Efek Doppler yang diawali dari proses mulai dengan melakukan unggah program (coding) ke mikrokontroler. Setelah program berhasil diunggah, sistem mengaktifkan mobil sumber bunyi yang kemudian memicu dua komponen utama, yaitu

sensor FC-03 dan buzzer. Sensor FC-03 berfungsi untuk mendeteksi dan membaca kecepatan gerak mobil, sedangkan buzzer berperan sebagai sumber bunyi dengan frekuensi tertentu. Buzzer diaktifkan ketika mobil bergerak dan bunyi dipancarkan hingga jarak sekitar 3 meter. Selanjutnya, data kecepatan yang terbaca oleh FC-03 digunakan sebagai informasi pendukung dalam pengamatan perubahan frekuensi bunyi akibat gerak relatif sumber bunyi. Setelah proses pembacaan kecepatan dan pengaktifan buzzer selesai dilakukan sesuai program, sistem kemudian berakhir pada tahap selesai.

4. Flowchat kerja alat mobil pengamat



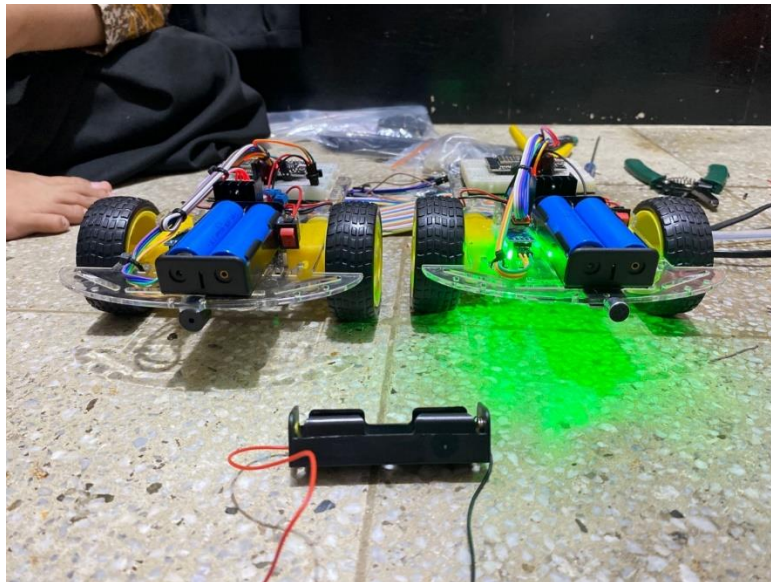
Gambar.8: Flowchat kerja alat mobil pengamat

Skematik tersebut menunjukkan alur kerja mobil pengamat pada alat peraga Efek Doppler yang diawali dari proses mulai dengan melakukan unggah program (coding) ke mikrokontroler. Setelah program berjalan, sistem mengaktifkan mobil pengamat yang selanjutnya memicu dua komponen utama, yaitu sensor FC-03 dan modul mikrofon digital INMP441. Sensor FC-03 berfungsi untuk mendeteksi dan membaca kecepatan gerak mobil pengamat, sedangkan modul INMP441 berperan menangkap serta membaca frekuensi bunyi yang diterima dari sumber bunyi pada jarak sekitar 3

meter. Data kecepatan dari FC-03 dan data frekuensi dari modul INMP441 kemudian diproses sesuai program untuk menganalisis perubahan frekuensi bunyi akibat gerak relatif pengamat terhadap sumber bunyi. Setelah seluruh proses pembacaan kecepatan dan frekuensi selesai dilakukan, sistem diakhiri pada tahap selesai.

B. Alat proyek Yang di Kembangkan

Alat yang dikembangkan pada proyek ini merupakan prototipe alat peraga praktikum Efek Doppler yang terdiri atas dua unit mobil berbasis mikrokontroler. Kedua mobil dirancang untuk bergerak secara terkontrol dan saling berinteraksi, sehingga memungkinkan pengamatan perubahan frekuensi bunyi akibat gerak relatif antara sumber bunyi dan pengamat. Gambar berikut menunjukkan bentuk fisik dan susunan komponen utama dari alat peraga yang telah dirakit dan siap digunakan dalam kegiatan pengujian.



Gambar.9: Alat Yang di Kembangkan

Alat pada gambar merupakan alat peraga praktikum Efek Doppler yang dirancang untuk membantu siswa memahami perubahan frekuensi bunyi akibat gerak relatif antara sumber bunyi dan pengamat. Alat ini terdiri atas dua unit mobil, di mana mobil yang dilengkapi lampu LED hijau berfungsi sebagai mobil pengamat, sedangkan mobil tanpa lampu hijau berfungsi sebagai mobil sumber bunyi. Pada mobil sumber bunyi dipasang buzzer yang frekuensinya dapat diatur, sehingga berperan sebagai sumber gelombang bunyi dalam percobaan Efek Doppler. Ketika mobil sumber bunyi bergerak mendekati atau

menjauhi mobil pengamat, akan terjadi perubahan frekuensi bunyi yang diterima oleh pengamat sesuai dengan teori Efek Doppler.


Pada mobil pengamat dipasang modul mikrofon digital INMP441 yang berfungsi untuk menangkap dan mendeteksi frekuensi bunyi yang dipancarkan oleh buzzer pada mobil sumber bunyi. Sinyal bunyi yang diterima kemudian diproses oleh mikrokontroler ESP32 untuk dianalisis dan ditampilkan sebagai data frekuensi terukur. Dengan demikian, siswa dapat mengamati secara langsung perbedaan frekuensi bunyi ketika jarak dan kecepatan relatif antara kedua mobil berubah, baik saat sumber bunyi mendekati maupun menjauhi pengamat.

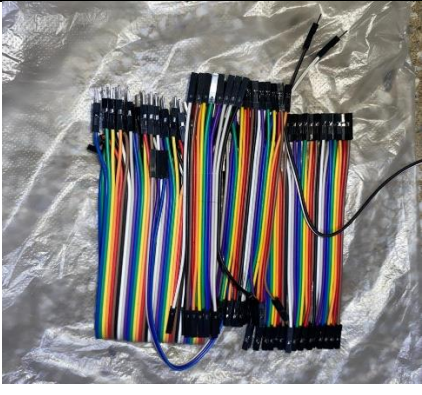
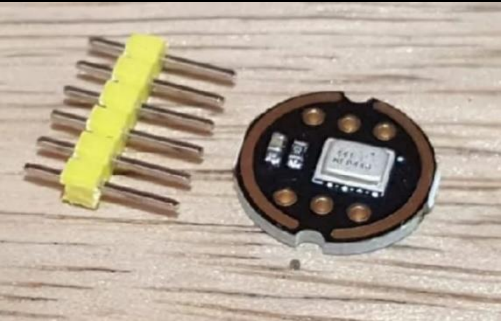


Kedua mobil pada alat peraga ini memiliki konfigurasi perangkat keras yang sama, yaitu menggunakan ESP32 sebagai pengendali utama, sensor FC-03 sebagai pendukung sistem deteksi, driver motor L298N untuk mengatur arah dan kecepatan motor, breadboard sebagai media perakitan rangkaian, tombol saklar sebagai pengendali daya, serta baterai lithium 18650 sebagai sumber catu daya. Integrasi seluruh komponen tersebut memungkinkan kedua mobil bergerak secara terkontrol dan stabil selama praktikum berlangsung. Dengan desain ini, alat peraga Efek Doppler tidak hanya menampilkan konsep fisika secara nyata, tetapi juga mengintegrasikan pembelajaran fisika dengan penerapan teknologi mikrokontroler dan sistem elektronika modern.


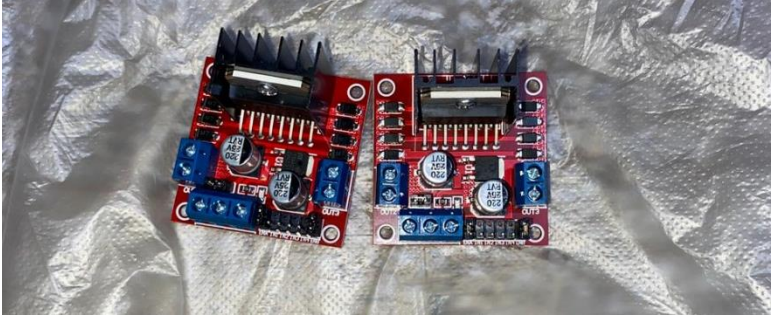


C. Alat dan Bahan

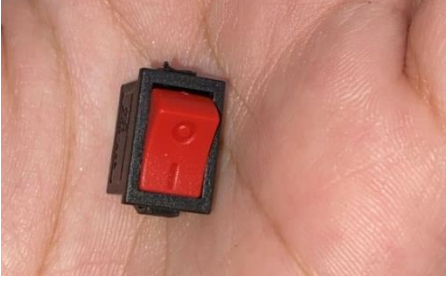

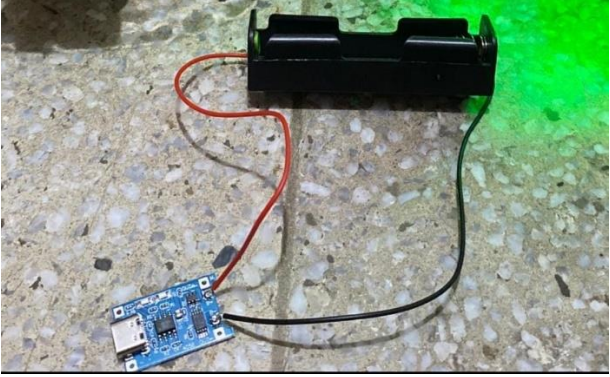

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam percobaan ini yaitu:


Tabel. 1: *Alat dan Bahan*

NO	Alat dan Bahan	Jumlah	Gambar
1.	ESP 32	2 buah	

2.	Kabel jumper female to male	10 buah	
3.	Modul mic INMP441	1 buah	
4.	Batrai lithium 18650	4 buah	
5.	Wadah batrai	2 buah	

6.	Breatbort	2 buah	
7.	Driver l298n	2 buah	
8.	Kerangka mobil	2 buah	
9.	Kabel tis	1 pak	

10.	Tombol saklar		
11.	Sensor FC-03	2 buah	
12.	T4056 Papan pengisi daya batrai lithium USB type C	1 buah	
13.	Solder	1 buah	

14.	Timah	1 buah	
-----	-------	--------	--

D. Prosedur Pelaksanaan Proyek

Prosedur pelaksanaan proyek pengembangan alat peraga praktikum Efek Doppler ini dilaksanakan melalui beberapa tahapan yang sistematis, mulai dari tahap perencanaan hingga tahap pengujian alat. Tahapan-tahapan tersebut dirancang agar alat peraga yang dikembangkan dapat berfungsi secara optimal dan mampu merepresentasikan fenomena Efek Doppler sesuai dengan teori fisika gelombang bunyi.

Tahap pertama adalah perencanaan dan studi awal. Pada tahap ini dilakukan kajian literatur mengenai konsep Efek Doppler pada gelombang bunyi, prinsip kerja modul mikrofon digital INMP441, serta karakteristik mikrokontroler ESP-32. Kajian ini bertujuan untuk menentukan spesifikasi teknis alat, rancangan sistem, serta metode pengukuran frekuensi bunyi yang akan digunakan dalam praktikum.

Tahap kedua adalah perancangan alat peraga. Pada tahap ini disusun desain perangkat keras (hardware) dan perangkat lunak (software). Perancangan hardware meliputi penentuan konfigurasi komponen utama, yaitu ESP-32, modul mikrofon INMP441, buzzer sebagai sumber bunyi, driver motor L298N, sensor pendukung FC-03, baterai lithium 18650, serta kerangka mobil sebagai media gerak. Perancangan software meliputi pembuatan program pada ESP-32 untuk membaca sinyal bunyi dari modul mikrofon, melakukan pengolahan sinyal untuk menentukan frekuensi bunyi, serta menampilkan data hasil pengukuran secara real-time melalui antarmuka berbasis WiFi.

Tahap ketiga adalah perakitan alat. Pada tahap ini seluruh komponen elektronik dirangkai sesuai dengan desain yang telah dibuat. Modul mikrofon INMP441 dipasang pada mobil pengamat, sedangkan buzzer dipasang pada mobil sumber bunyi. Mikrokontroler ESP-32 dihubungkan dengan driver motor, sensor, dan sumber daya sehingga kedua mobil dapat bergerak maju dan mundur secara terkontrol. Setelah perakitan selesai, dilakukan

pemeriksaan koneksi dan fungsi dasar setiap komponen untuk memastikan tidak terjadi kesalahan rangkaian.

Tahap keempat adalah pemrograman dan integrasi sistem. Program dikembangkan dan diunggah ke ESP-32 untuk mengendalikan gerak mobil, mengatur frekuensi buzzer, membaca data sinyal bunyi dari modul INMP441, serta mengolah dan menampilkan nilai frekuensi terdeteksi. Pada tahap ini dilakukan pengujian awal (uji coba fungsional) untuk memastikan sistem komunikasi WiFi, pengendalian mobil, dan pembacaan frekuensi berjalan dengan baik dan stabil.

Tahap kelima adalah pengujian dan pengambilan data. Pengujian dilakukan dengan menjalankan mobil sumber bunyi dan mobil pengamat pada lintasan lurus sejauh ± 3 meter dengan variasi kondisi gerak, meliputi sumber bunyi mendekat pengamat, sumber bunyi menjauh, pengamat bergerak mendekati sumber, pengamat bergerak menjauh, serta kondisi keduanya diam dan keduanya bergerak saling mendekat. Pada setiap kondisi, frekuensi sumber bunyi dan frekuensi yang terdeteksi oleh modul INMP441 dicatat untuk dianalisis.

Tahap terakhir adalah evaluasi dan penyempurnaan alat. Data hasil pengujian dibandingkan dengan perhitungan teori Efek Doppler untuk menilai kesesuaian hasil eksperimen dengan konsep fisika yang berlaku. Jika ditemukan ketidaksesuaian atau kendala teknis, dilakukan perbaikan pada perangkat keras maupun perangkat lunak. Tahap ini bertujuan untuk memastikan bahwa alat peraga praktikum yang dikembangkan layak digunakan sebagai media pembelajaran fisika dan mampu meningkatkan pemahaman konseptual siswa terhadap fenomena Efek Doppler.

E. Metode Analisis Data

Metode analisis data pada proyek pengembangan alat peraga praktikum Efek Doppler ini menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif, yaitu dengan menganalisis data frekuensi bunyi hasil pengukuran eksperimen dan membandingkannya dengan nilai frekuensi yang diprediksi berdasarkan teori Efek Doppler pada gelombang bunyi. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui tingkat kesesuaian hasil eksperimen dengan konsep fisika, sekaligus menilai kinerja dan ketelitian alat peraga yang dikembangkan.

Data yang dianalisis meliputi frekuensi sumber bunyi (f_{sumber}), frekuensi bunyi yang terbaca pada mobil pengamat (f_{pengamat}), serta frekuensi hasil perhitungan teoritis (f_{teori}). Frekuensi sumber bunyi diatur melalui buzzer yang terpasang pada mobil sumber bunyi, sedangkan frekuensi yang diterima pengamat diperoleh dari hasil pengolahan sinyal bunyi menggunakan modul mikrofon digital INMP441 yang diproses oleh mikrokontroler ESP32. Pengambilan data dilakukan pada berbagai variasi kondisi gerak relatif, yaitu sumber bunyi bergerak mendekati atau menjauhi pengamat, pengamat bergerak mendekati atau menjauhi sumber bunyi, kondisi keduanya bergerak, serta kondisi keduanya diam. Analisis data diawali dengan menghitung frekuensi teoritis yang diterima pengamat menggunakan persamaan umum Efek Doppler pada gelombang bunyi:

$$f_p = \frac{v \pm v_p}{v \mp v_s} f_s$$

dengan keterangan:

- f_p = frekuensi bunyi yang diterima pengamat (Hz)
- f_s = frekuensi sumber bunyi (Hz)
- v = cepat rambat bunyi di udara (m/s)
- v_p = kecepatan pengamat relatif terhadap medium (m/s)
- v_s = kecepatan sumber bunyi relatif terhadap medium (m/s)

Tanda (+) pada pembilang digunakan ketika pengamat bergerak mendekati sumber bunyi, sedangkan tanda (-) digunakan ketika pengamat bergerak menjauhi sumber bunyi. Sebaliknya, tanda (-) pada penyebut digunakan ketika sumber bunyi bergerak mendekati pengamat, dan tanda (+) digunakan ketika sumber bunyi bergerak menjauhi pengamat.

Untuk kondisi khusus tertentu, persamaan Efek Doppler disederhanakan sesuai dengan skenario percobaan, antara lain:

1. Sumber bunyi bergerak, pengamat diam

$$f_p = \frac{v}{v \mp v_s} f_s$$

2. Pengamat bergerak, sumber bunyi diam

$$f_p = \frac{v \pm v_p}{v} f_s$$

3. Sumber bunyi dan pengamat sama-sama diam

$$f_p = f_s$$

Nilai frekuensi teoritis yang diperoleh kemudian dibandingkan dengan frekuensi hasil pengukuran yang terbaca pada mobil pengamat. Untuk mengevaluasi ketelitian alat peraga dalam mendeteksi pergeseran frekuensi Doppler, digunakan rumus persentase error yang dimodifikasi dengan mempertimbangkan tiga nilai frekuensi, yaitu:

$$\text{Error (\%)} = \left| \frac{f_{\text{ukur}} - f_{\text{teori}}}{f_{\text{teori}}} \right| 100\%$$

Rumus tersebut menunjukkan sejauh mana hasil pengukuran alat menyimpang dari pergeseran frekuensi ideal yang diprediksi oleh teori Efek Doppler. Nilai error yang kecil menunjukkan bahwa alat peraga memiliki kemampuan yang baik dalam mendeteksi perubahan frekuensi akibat gerak relatif antara sumber bunyi dan pengamat. Selanjutnya, dilakukan analisis penyebab error yang mungkin timbul selama proses eksperimen. Beberapa faktor yang dapat memengaruhi besarnya error antara lain ketidakstabilan kecepatan mobil selama bergerak pada lintasan, gangguan lingkungan (noise) seperti suara sekitar dan pantulan gelombang bunyi, keterbatasan sensitivitas dan respons frekuensi modul mikrofon digital INMP441, serta keterbatasan sistem sampling dan pemrosesan sinyal pada mikrokontroler ESP32.

Hasil analisis data kemudian disajikan dalam bentuk tabel dan grafik untuk mempermudah pengamatan pola perubahan frekuensi pada setiap kondisi percobaan. Kesesuaian tren hasil eksperimen dengan prediksi teori Efek Doppler digunakan sebagai dasar untuk menyimpulkan bahwa alat peraga praktikum yang dikembangkan mampu merepresentasikan fenomena Efek Doppler secara akurat dan efektif sebagai media pembelajaran fisika.

F. Langkah Kerja

Langkah Kerja Praktikum Efek Doppler Menggunakan Mobil Kendali WiFi ESP32

Keterangan Umum:

Pada setiap percobaan, mobil yang bergerak dijalankan sepanjang lintasan lurus sejauh ± 3

meter dengan kecepatan yang dijaga konstan untuk memperoleh data yang stabil dan dapat dibandingkan.

a) Sumber Bunyi Bergerak Mendekat dan Pengamat Diam

Keterangan Percobaan:

Mobil sumber bunyi dijalankan mendekati mobil pengamat sejauh ± 3 meter, sedangkan mobil pengamat berada dalam keadaan diam.

Langkah Kerja:

1. Hubungkan HP ke WiFi ESP32 pengamat dan pastikan tampilan pengukuran frekuensi serta bentuk gelombang aktif.
2. Posisikan mobil pengamat diam di ujung lintasan.
3. Hubungkan HP ke WiFi ESP32RCbuzzer, lalu atur frekuensi buzzer pada nilai tertentu (misalnya 1000 Hz).
4. Jalankan mobil sumber bunyi mendekati pengamat sejauh ± 3 meter menggunakan tombol kendali (maju).
5. Amati frekuensi yang diterima pengamat dan bentuk gelombang bunyi.
6. Catat frekuensi sumber, frekuensi terukur, dan kondisi gerak.

b) Sumber Bunyi Bergerak Menjauh dan Pengamat Diam

Keterangan Percobaan:

Mobil sumber bunyi dijalankan menjauhi mobil pengamat sejauh ± 3 meter, sedangkan mobil pengamat tetap diam.

Langkah Kerja:

1. Pastikan mobil pengamat tetap diam dan sistem pengukuran aktif.
2. Hubungkan HP ke WiFi ESP32RCbuzzer dan atur frekuensi buzzer pada nilai yang sama seperti percobaan pertama.
3. Jalankan mobil sumber bunyi menjauhi pengamat sejauh ± 3 meter menggunakan tombol kendali (mundur).
4. Amati penurunan frekuensi dan perubahan bentuk gelombang pada mobil pengamat.
5. Catat seluruh data hasil pengamatan.

c) Sumber Bunyi Diam dan Pengamat Bergerak Mendekat

Keterangan Percobaan:

Mobil pengamat dijalankan mendekati mobil sumber bunyi sejauh ± 3 meter, sedangkan mobil sumber bunyi berada dalam keadaan diam.

Langkah Kerja:

1. Atur mobil sumber bunyi diam dengan buzzer menyala pada frekuensi tertentu.
2. Hubungkan HP ke WiFi ESP32 pengamat.
3. Jalankan mobil pengamat mendekati sumber bunyi sejauh ± 3 meter menggunakan tombol kendali (maju).
4. Amati peningkatan frekuensi terukur dan perubahan bentuk gelombang bunyi.
5. Catat frekuensi sumber dan frekuensi terukur.

d) Sumber Bunyi Diam dan Pengamat Bergerak Menjauh

Keterangan Percobaan:

Mobil pengamat dijalankan menjauhi mobil sumber bunyi sejauh ± 3 meter, sedangkan mobil sumber bunyi tetap diam.

Langkah Kerja:

1. Pastikan mobil sumber bunyi tetap diam dan buzzer menyala pada frekuensi tetap.
2. Hubungkan HP ke WiFi ESP32 pengamat.
3. Jalankan mobil pengamat menjauhi sumber bunyi sejauh ± 3 meter menggunakan tombol kendali (mundur).
4. Amati penurunan frekuensi terukur dan bentuk gelombang yang semakin renggang.
5. Catat seluruh hasil pengamatan.

e) Sumber Bunyi dan Pengamat Bergerak Saling Mendekat

Keterangan Percobaan:

Mobil sumber bunyi dan mobil pengamat dijalankan secara bersamaan saling mendekat pada lintasan lurus sejauh ± 3 meter, sehingga terjadi gerak relatif maksimum antara sumber bunyi dan pengamat.

Langkah Kerja:

1. Atur posisi awal mobil sumber bunyi dan mobil pengamat berada pada ujung lintasan yang berlawanan dengan jarak awal sekitar 3 meter.
2. Hubungkan HP ke WiFi ESP32RCbuzzer dan atur frekuensi buzzer pada nilai tertentu (misalnya 1000 Hz).
3. Hubungkan HP ke WiFi ESP32 pengamat dan pastikan tampilan pengukuran frekuensi serta bentuk gelombang aktif.
4. Jalankan kedua mobil secara bersamaan menggunakan tombol kendali pada masing-masing web:
 - Mobil sumber bunyi bergerak maju.
 - Mobil pengamat bergerak maju ke arah sumber bunyi.
5. Biarkan kedua mobil bergerak saling mendekat sejauh ± 3 meter hingga berpapasan.
6. Amati pada mobil pengamat:
 - Frekuensi bunyi yang diterima meningkat lebih besar dibandingkan percobaan ketika hanya salah satu mobil yang bergerak.
 - Bentuk gelombang bunyi tampak paling rapat.
7. Catat:
 - Frekuensi sumber bunyi.
 - Frekuensi maksimum yang diterima pengamat.
 - Kondisi gerak kedua mobil.
8. Gunakan data hasil pengamatan untuk dibandingkan dengan perhitungan teori Efek Doppler ketika sumber dan pengamat sama-sama bergerak mendekat.

BAB IV
PEMBAHASAN

A. Tabel Hasil Pengamatan

a. Tabel hasil pengamatan dengan Frekuensi Sumber 5000 Hz

Tabel 2. Hasil uji coba efek Doppler pada sumber bunyi bergerak mendekat dan pengamat diam.

No	Frekuensi Sumber (Hz)	Kecepatan Sumber (m/s)	Kecepatan Pengamat (m/s)	Hasil Pengukuran (Hz)	Hasil Perhitungan (Hz)	Eror (%)
1	5000	12,83	0	5195	5193,82	0,02
2	5000	10,69	0	5222	5160,84	1,19
3	5000	12,84	0	5152	5194,45	0,82
4	5000	12,48	0	5217	5188,79	0,54
5	5000	12,43	0	5161,5	5188	0,51

Tabel 3. Hasil uji coba efek doppler pada sumber bunyi bergerak menjauh dan pengamat diam.

No	Frekuensi Sumber (Hz)	Kecepatan Sumber (m/s)	Kecepatan Pengamat (m/s)	Hasil Pengukuran (Hz)	Hasil Perhitungan (Hz)	Eror (%)
1	5000	10,20	0	3385,4	3620,8	6,50
2	5000	10,74	0	3774,6	4847,07	2,13
3	5000	10,30	0	4521,8	4682,9	3,44
4.	5000	11,80	0	3114,9	3320,6	6,19
5.	5000	10,95	0	3859,8	4046,9	4,61

Tabel 4. Hasil uji coba efek Doppler pada sumber bunyi diam dan pengamat bergerak mendekat.

No	Frekuensi Sumber (Hz)	Kecepatan Sumber (m/s)	Kecepatan Pengamat (m/s)	Hasil Pengukuran (Hz)	Hasil Perhitungan (Hz)	Error (%)
1	5000	0	9,43	5279	5141,35	2,68
2	5000	0	9,10	5276	5136,26	2,72
3	5000	0	9,24	5281	5138,42	2,77
4	5000	0	9,60	5311,8	5189,7	2,35
5	5000	0	9,85	5334,2	5224,6	2,10

Tabel 5. Hasil uji coba efek Doppler pada sumber bunyi diam dan pengamat bergerak menjauh.

No	Frekuensi Sumber (Hz)	Kecepatan Sumber (m/s)	Kecepatan Pengamat (m/s)	Hasil Pengukuran (Hz)	Hasil Perhitungan (Hz)	Error (%)
1	5000	0	9,07	4668,2	4866,15	4,07
2	5000	0	8,89	4625,4	4870,12	5,02
3	5000	0	9,55	4716,9	4821,40	2,17
4	5000	0	9,76	4473,6	4858,66	7,93
5	5000	0	9,30	4524,8	4840,80	6,54

Tabel 6. Hasil uji coba efek Doppler pada saat sumber bunyi dan pengamat saling bergerak mendekat

No	Frekuensi Sumber (Hz)	Kecepatan Sumber (m/s)	Kecepatan Pengamat (m/s)	Hasil Pengukuran (Hz)	Hasil Perhitungan (Hz)	Error (%)
1	5000	9,61	7,32	5098,4	5254,45	2,97
2	5000	9,35	7,74	5146,7	5256,80	2,09
3	5000	9,51	8,25	3043,1	5266,25	1,58

4	5000	9,80	8,60	5236,9	5310,40	1,38
5	5000	10,10	8,90	5281,5	5356,70	1,41

b. Tabel Variasi Frekuensi Sumber 1750 Hz

Tabel 7. Hasil uji coba efek Doppler pada sumber bunyi bergerak mendekat dan pengamat diam.

No	Frekuensi Sumber (Hz)	Kecepatan Sumber (m/s)	Kecepatan Pengamat (m/s)	Hasil Pengukuran (Hz)	Hasil Perhitungan (Hz)	Error (%)
1	1750	11,57	0	1739,9	1812,60	4,01
2	1750	11,59	0	1852,8	1812,72	4,01
3	1750	11,83	0	17,87	1812,72	2,21
4	1750	12,10	0	1842,7	1836,50	0,34
5	1750	12,35	0	1858,3	1850,90	0,40

Tabel 8. Hasil uji coba efek doppler pada sumber bunyi bergerak menjauh dan pengamat diam.

No	Frekuensi Sumber (Hz)	Kecepatan Sumber (m/s)	Kecepatan Pengamat (m/s)	Hasil Pengukuran (Hz)	Hasil Perhitungan (Hz)	Error (%)
1	1750	11,33	0	1862,4	1695,98	0,80
2	1750	11,55	0	1671,6	1694,94	1,38
3	1750	11,64	0	1664,9	1694,53	1,75
4	1750	11,90	0	1652,8	1689,10	2,15
5	1750	12,15	0	1641,3	1683,40	2,50

Tabel 9. Hasil uji coba efek Doppler pada sumber bunyi diam dan pengamat bergerak mendekat.

No	Frekuensi Sumber (Hz)	Kecepatan Sumber (m/s)	Kecepatan Pengamat (m/s)	Hasil Pengukuran (Hz)	Hasil Perhitungan (Hz)	Eror (%)
1	1750	0	9,19	1766,6	1796,88	6,25
2	1750	0	9,12	1684,3	1796,52	6,25
3	1750	0	9,02	1752,8	1795,96	2,41
4	1750	0	9,60	1812,3	1818,90	0,36
5	1750	0	9,35	1789,6	1802,40	0,71

Tabel 10. Hasil uji coba efek Doppler pada sumber bunyi diam dan pengamat bergerak menjauh.

No	Frekuensi Sumber (Hz)	Kecepatan Sumber (m/s)	Kecepatan Pengamat (m/s)	Hasil Pengukuran (Hz)	Hasil Perhitungan (Hz)	Eror (%)
1	1750	0	7,67	1641,5	1710,88	4,06
2	1750	0	8,26	1563,6	1707,87	8,45
3	1750	0	7,80	1601,8	1710,20	6,34
4	1750	0	8,00	1589,4	1708,60	6,99
5	1750	0	8,40	1552,7	1705,30	8,95

Tabel 11. Hasil uji coba efek Doppler pada saat sumber bunyi dan pengamat saling bergerak mendekat

No	Frekuensi Sumber (Hz)	Kecepatan Sumber (m/s)	Kecepatan Pengamat (m/s)	Hasil Pengukuran (Hz)	Hasil Perhitungan (Hz)	Eror (%)
1	1750	8,09	9,56	1730,3	1843,26	6,13
2	1750	9,05	8,80	1768,4	1843,61	4,08

3	1750	8,96	7,19	1679,5	1833,66	8,41
4	1750	9,20	9,10	1826,7	1852,40	1,39
5	1750	9,45	9,35	1841,8	1866,90	1,34

B. Pembahasan

a) Perancangan dan Implementasi Alat Peraga Praktikum Efek Doppler Berbasis Modul Mikrofon INMP441 dan Mikrokontroler ESP32.

Berdasarkan hasil pengamatan yang disajikan pada Tabel 2 sampai dengan Tabel 11, dapat dianalisis bahwa alat peraga praktikum Efek Doppler berbasis modul mikrofon INMP441 dan mikrokontroler ESP32 mampu merepresentasikan fenomena Efek Doppler sesuai dengan kajian teori. Seluruh data percobaan menunjukkan kecenderungan perubahan frekuensi bunyi yang konsisten dengan arah dan besar gerak relatif antara sumber bunyi dan pengamat.

Pada kondisi sumber bunyi bergerak mendekati pengamat dan pengamat berada dalam keadaan diam (Tabel 2 dan Tabel 7), frekuensi bunyi yang terdeteksi oleh modul mikrofon INMP441 mengalami peningkatan dibandingkan dengan frekuensi sumber. Hal ini menunjukkan bahwa ketika sumber bunyi mendekati pengamat, jarak antar puncak gelombang yang diterima menjadi lebih rapat sehingga jumlah gelombang yang diterima per satuan waktu meningkat. Fenomena ini sesuai dengan teori Efek Doppler, di mana gerak relatif mendekat menyebabkan frekuensi teramati lebih besar dari frekuensi sumber. Nilai error pada kondisi ini relatif kecil, terutama pada pengujian dengan frekuensi sumber 5000 Hz, yang mengindikasikan kestabilan sistem dalam mendeteksi peningkatan frekuensi.

Sebaliknya, pada kondisi sumber bunyi bergerak menjauh dari pengamat yang diam (Tabel 3 dan Tabel 8), frekuensi bunyi yang terdeteksi mengalami penurunan dibandingkan dengan frekuensi sumber. Penurunan ini disebabkan oleh semakin renggangnya jarak antar puncak gelombang yang diterima pengamat ketika sumber bunyi menjauh. Hasil ini secara kualitatif dan kuantitatif sesuai dengan teori Efek Doppler. Meskipun pada beberapa data nilai error relatif lebih besar dibandingkan kondisi mendekat, kecenderungan penurunan frekuensi tetap konsisten, sehingga tidak menghilangkan makna fisis dari hasil percobaan.

Pada kondisi sumber bunyi diam dan pengamat bergerak mendekati sumber (Tabel 4 dan Tabel 9), frekuensi terdeteksi menunjukkan peningkatan yang jelas dibandingkan frekuensi sumber. Peningkatan frekuensi ini terjadi karena pengamat bergerak menuju arah datangnya gelombang bunyi, sehingga gelombang diterima dengan laju yang lebih besar. Nilai error pada kondisi ini relatif stabil, terutama pada pengujian dengan frekuensi sumber 5000 Hz, yang menunjukkan bahwa modul mikrofon INMP441 mampu menangkap perubahan frekuensi akibat gerak pengamat dengan cukup baik.

Sementara itu, pada kondisi sumber bunyi diam dan pengamat bergerak menjauh dari sumber (Tabel 5 dan Tabel 10), frekuensi bunyi yang terdeteksi mengalami penurunan. Penurunan ini sesuai dengan teori Efek Doppler, di mana gerak pengamat menjauhi sumber menyebabkan jumlah gelombang yang diterima per satuan waktu berkurang. Pada kondisi ini, nilai error cenderung lebih besar dibandingkan kondisi mendekat. Hal tersebut dipengaruhi oleh melemahnya intensitas bunyi akibat bertambahnya jarak, gangguan noise lingkungan, serta keterbatasan sensitivitas sensor dalam mendeteksi sinyal bunyi dengan amplitudo yang semakin kecil. Meskipun demikian, pola penurunan frekuensi tetap konsisten dengan teori.

Kondisi ketika sumber bunyi dan pengamat saling bergerak mendekat (Tabel 6 dan Tabel 11) menunjukkan perubahan frekuensi yang paling besar dibandingkan kondisi percobaan lainnya. Hal ini disebabkan oleh kecepatan relatif maksimum antara sumber bunyi dan pengamat, sehingga efek pergeseran frekuensi menjadi semakin signifikan. Meskipun terdapat satu atau dua data yang menunjukkan penyimpangan nilai akibat gangguan eksperimen, kecenderungan umum data tetap menunjukkan peningkatan frekuensi yang paling besar pada kondisi ini. Temuan tersebut sesuai dengan teori Efek Doppler yang menyatakan bahwa pergeseran frekuensi akan semakin besar ketika kecepatan relatif antara sumber dan pengamat meningkat.

Secara keseluruhan, hasil percobaan pada Tabel 2 sampai dengan Tabel 11 menunjukkan bahwa alat peraga praktikum Efek Doppler yang dikembangkan mampu menampilkan perubahan frekuensi bunyi sesuai dengan arah dan besar gerak relatif antara sumber bunyi dan pengamat. Meskipun terdapat variasi nilai error dan beberapa penyimpangan data akibat keterbatasan eksperimen, tren utama hasil pengamatan tetap konsisten dengan teori Efek Doppler. Dengan demikian, data hasil pengamatan yang

diperoleh menunjukkan bahwa alat peraga praktikum Efek Doppler berbasis mikrokontroler ESP32 dan modul mikrofon digital INMP441 mampu merepresentasikan fenomena Efek Doppler secara konsisten dengan teori, baik secara kuantitatif melalui nilai frekuensi terukur maupun secara konseptual melalui kecenderungan perubahan frekuensi akibat gerak relatif antara sumber bunyi dan pengamat.

b) Pengaruh Variasi Frekuensi Sumber Bunyi terhadap Frekuensi yang Terdeteksi oleh Modul Mikrofon INMP441.

Berdasarkan hasil pengamatan yang disajikan pada Tabel 2 hingga Tabel 11, dapat dianalisis bahwa variasi frekuensi sumber bunyi memberikan pengaruh yang signifikan terhadap besarnya frekuensi bunyi yang terdeteksi oleh modul mikrofon digital INMP441. Percobaan dilakukan dengan dua variasi frekuensi sumber, yaitu 5000 Hz dan 1750 Hz, pada berbagai kondisi gerak relatif antara sumber bunyi dan pengamat. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa perubahan frekuensi terdeteksi selalu mengikuti kecenderungan yang sama dengan prediksi teori Efek Doppler, namun dengan besaran pergeseran frekuensi yang bergantung langsung pada nilai frekuensi sumber bunyi yang digunakan.

Pada pengujian dengan frekuensi sumber 5000 Hz (Tabel 2 sampai Tabel 6), pergeseran frekuensi yang terukur relatif lebih besar dibandingkan dengan pengujian menggunakan frekuensi sumber 1750 Hz (Tabel 7 sampai Tabel 11). Hal ini terlihat jelas pada kondisi sumber bunyi atau pengamat bergerak mendekat, di mana frekuensi terukur meningkat cukup signifikan dari nilai frekuensi sumber, misalnya pada rentang sekitar 5150–5330 Hz untuk frekuensi sumber 5000 Hz. Sebaliknya, pada kondisi sumber bunyi atau pengamat bergerak menjauh, frekuensi terukur mengalami penurunan yang lebih besar secara absolut ketika frekuensi sumber yang digunakan lebih tinggi, dengan nilai frekuensi terukur yang berada jauh di bawah frekuensi sumber. Fenomena ini menunjukkan bahwa besarnya pergeseran frekuensi Doppler berbanding lurus dengan frekuensi sumber bunyi, sebagaimana dijelaskan dalam teori Efek Doppler pada gelombang bunyi.

Hasil pengamatan juga menunjukkan bahwa meskipun pola perubahan frekuensi konsisten dengan teori, nilai persentase error bervariasi pada setiap kondisi percobaan. Secara umum, percobaan dengan frekuensi sumber 1750 Hz (Tabel 7 sampai Tabel 11) menghasilkan nilai error yang relatif lebih kecil dan lebih stabil dibandingkan dengan percobaan menggunakan frekuensi sumber 5000 Hz, khususnya pada kondisi sumber bunyi atau pengamat bergerak mendekat. Kondisi ini mengindikasikan bahwa modul mikrofon INMP441 dan sistem pemrosesan sinyal pada mikrokontroler ESP32 bekerja lebih optimal pada rentang frekuensi menengah, sehingga pendeteksian frekuensi dapat dilakukan dengan ketelitian yang lebih baik dan gangguan noise relatif lebih kecil.

Namun demikian, pada beberapa kondisi tertentu, terutama ketika sumber bunyi atau pengamat bergerak menjauh (sepaimana terlihat pada Tabel 3, Tabel 5, dan Tabel 10), nilai error yang cukup besar masih ditemukan baik pada frekuensi sumber 5000 Hz maupun 1750 Hz. Hal ini dipengaruhi oleh beberapa faktor eksperimental, antara lain ketidakstabilan kecepatan gerak mobil selama percobaan, melemahnya intensitas bunyi akibat bertambahnya jarak antara sumber dan pengamat, pengaruh noise lingkungan, pantulan gelombang bunyi, serta keterbatasan resolusi sampling dan respons frekuensi modul mikrofon INMP441. Meskipun demikian, kecenderungan umum perubahan frekuensi yang diamati tetap sesuai dengan teori Efek Doppler.

Dengan demikian, hasil pengamatan pada Tabel 2 sampai Tabel 11 membuktikan bahwa variasi frekuensi sumber bunyi secara langsung memengaruhi frekuensi bunyi yang terdeteksi oleh modul mikrofon INMP441. Semakin besar frekuensi sumber bunyi yang digunakan, semakin besar pula perubahan frekuensi yang terukur akibat Efek Doppler pada kondisi gerak relatif yang sama. Temuan ini menunjukkan bahwa alat peraga praktikum yang dikembangkan mampu merepresentasikan hubungan antara frekuensi sumber dan pergeseran frekuensi Doppler secara nyata dan kuantitatif, sehingga efektif digunakan untuk membantu siswa memahami pengaruh variasi frekuensi sumber bunyi terhadap fenomena Efek Doppler sesuai dengan teori fisika gelombang bunyi.

c) Pemanfaatan Alat Peraga Efek Doppler Berbasis ESP32 terhadap Peningkatan Pemahaman Konseptual Siswa.

Berdasarkan hasil pengamatan dan analisis data pada seluruh tabel uji coba (Tabel 2 sampai dengan Tabel 11), pemanfaatan alat peraga praktikum Efek Doppler berbasis modul mikrofon digital INMP441 dan mikrokontroler ESP32 terbukti mampu memberikan gambaran nyata mengenai fenomena Efek Doppler kepada siswa. Melalui alat peraga ini, siswa tidak hanya mempelajari konsep Efek Doppler secara matematis, tetapi juga mengamati secara langsung perubahan frekuensi bunyi akibat adanya gerak relatif antara sumber bunyi dan pengamat. Hal ini tercermin dari kecenderungan data hasil pengukuran yang secara konsisten menunjukkan peningkatan frekuensi ketika sumber bunyi atau pengamat bergerak mendekat, serta penurunan frekuensi ketika sumber bunyi atau pengamat bergerak menjauh, sebagaimana ditunjukkan pada data Tabel 2 sampai Tabel 11.

Pada kondisi sumber bunyi bergerak mendekati pengamat dengan pengamat dalam keadaan diam (Tabel 2 dan Tabel 7), frekuensi bunyi yang terukur cenderung lebih besar dibandingkan dengan frekuensi sumber. Sebaliknya, pada kondisi sumber bunyi bergerak menjauh dari pengamat yang diam (Tabel 3 dan Tabel 8), frekuensi terukur mengalami penurunan yang jelas dibandingkan frekuensi sumber. Pola perubahan ini membantu siswa memahami bahwa perubahan frekuensi bunyi tidak terjadi secara acak, melainkan dipengaruhi oleh arah dan besar kecepatan relatif antara sumber bunyi dan pengamat. Dengan demikian, siswa dapat mengaitkan makna fisis perubahan frekuensi dengan kondisi gerak yang diamati secara langsung selama percobaan.

Selain itu, pada kondisi pengamat bergerak sementara sumber bunyi berada dalam keadaan diam (Tabel 4, Tabel 9, dan Tabel 10), siswa dapat mengamati bahwa perubahan frekuensi bunyi tetap terjadi meskipun sumber bunyi tidak mengalami pergerakan. Temuan ini memperkuat pemahaman konseptual bahwa Efek Doppler ditentukan oleh gerak relatif antara sumber bunyi dan pengamat, bukan semata-mata oleh gerak sumber bunyi saja. Pemahaman ini sering kali sulit diperoleh melalui pembelajaran teoritis, namun menjadi lebih mudah dipahami ketika siswa melihat secara langsung perubahan frekuensi yang terukur akibat pergerakan pengamat.

Kondisi ketika sumber bunyi dan pengamat saling bergerak mendekat (Tabel 6 dan Tabel 11) menunjukkan perubahan frekuensi yang paling besar dibandingkan kondisi percobaan lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar kecepatan relatif antara sumber bunyi dan pengamat, semakin besar pula pergeseran frekuensi yang terjadi. Pengamatan ini memberikan pengalaman belajar yang kuat bagi siswa untuk menganalisis hubungan antara kecepatan sumber, kecepatan pengamat, dan besar pergeseran frekuensi, sehingga pemahaman siswa tidak hanya bersifat kualitatif, tetapi juga berkembang secara kuantitatif.

Nilai persentase error yang diperoleh dari perbandingan antara hasil pengukuran dan hasil perhitungan teoritis pada seluruh tabel percobaan juga berperan penting dalam meningkatkan pemahaman konseptual siswa. Melalui analisis error, siswa dapat memahami bahwa dalam eksperimen nyata selalu terdapat perbedaan antara teori dan hasil pengukuran. Perbedaan tersebut dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti ketidakstabilan kecepatan mobil selama percobaan, gangguan noise lingkungan, pantulan gelombang bunyi, serta keterbatasan sensor dan sistem pemrosesan sinyal. Dengan demikian, siswa tidak hanya memahami konsep Efek Doppler, tetapi juga memahami hakikat eksperimen fisika sebagai proses ilmiah yang melibatkan ketidakpastian dan analisis kesalahan.

Secara keseluruhan, pemanfaatan alat peraga praktikum Efek Doppler berbasis ESP32 ini mampu meningkatkan pemahaman konseptual siswa karena menyajikan pembelajaran yang bersifat kontekstual, interaktif, dan berbasis pengalaman langsung. Siswa dapat mengaitkan konsep Efek Doppler dengan fenomena fisis yang mereka amati sendiri melalui data pada Tabel 2 sampai Tabel 11, sehingga konsep tidak lagi dipahami secara abstrak, melainkan sebagai representasi dari peristiwa fisis yang benar-benar terjadi. Dengan demikian, alat peraga ini efektif digunakan sebagai media pembelajaran untuk membantu siswa memahami fenomena Efek Doppler secara lebih mendalam dan bermakna.

BAB V

KESIMPULAN

A. Kesimpulan

1. Alat peraga praktikum Efek Doppler berbasis modul mikrofon digital INMP441 dan mikrokontroler ESP32 berhasil dirancang dan diimplementasikan dengan baik. Berdasarkan hasil pengamatan, alat ini mampu mendemonstrasikan fenomena Efek Doppler pada gelombang bunyi secara nyata melalui perubahan frekuensi yang terdeteksi akibat adanya gerak relatif antara sumber bunyi dan pengamat, baik pada kondisi mendekat, menjauh, maupun bergerak bersamaan, sesuai dengan teori Efek Doppler.
2. Hasil pengujian menunjukkan bahwa variasi frekuensi sumber bunyi berpengaruh secara langsung terhadap besarnya pergeseran frekuensi yang terdeteksi oleh modul mikrofon INMP441. Frekuensi sumber yang lebih tinggi menghasilkan pergeseran frekuensi Doppler yang lebih besar dibandingkan frekuensi sumber yang lebih rendah pada kondisi kecepatan relatif yang sama, sehingga hubungan antara frekuensi sumber dan frekuensi terdeteksi sejalan dengan persamaan Efek Doppler secara teoritis.
3. Pemanfaatan alat peraga praktikum Efek Doppler ini mampu membantu meningkatkan pemahaman konseptual peserta didik terhadap fenomena Efek Doppler. Melalui kegiatan eksperimen dan analisis perbedaan antara hasil pengukuran dan perhitungan teori, peserta didik dapat mengaitkan konsep matematis dengan fenomena fisis nyata serta memahami keterbatasan dan ketidakpastian dalam pengukuran eksperimen fisika.

B. Keterbatasan dan Kendala Proyek

Pengembangan alat peraga praktikum Efek Doppler ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan dalam interpretasi hasil pengukuran. Keterbatasan pertama berkaitan dengan kecepatan gerak mobil yang tidak dapat dijaga konstan selama percobaan. Meskipun kecepatan mobil diupayakan relatif stabil, sistem pengendalian yang dilakukan secara manual melalui kendali nirkabel menyebabkan terjadinya fluktuasi kecepatan. Kondisi ini berpengaruh terhadap nilai frekuensi bunyi yang terdeteksi karena

fenomena Efek Doppler sangat bergantung pada besar kecepatan relatif antara sumber bunyi dan pengamat.

Keterbatasan kedua adalah tidak digunakannya mobil Tamiya sebagai media gerak. Hal ini disebabkan oleh ukuran mobil Tamiya yang relatif kecil sehingga kurang mampu menopang dan menampung komponen elektronik seperti ESP-32, modul mikrofon INMP441, driver motor, baterai lithium, serta rangkaian pendukung lainnya secara stabil. Oleh karena itu, digunakan mobil dengan ukuran yang lebih besar meskipun karakteristik geraknya belum sepenuhnya ideal.

Keterbatasan berikutnya berkaitan dengan tidak digunakannya lintasan dengan pembatas sebagai jalur pergerakan mobil. Pada tahap uji coba awal, penggunaan pembatas lintasan justru menyebabkan mobil sering menabrak pembatas, sehingga arah gerak mobil menjadi tidak stabil dan kecepatan berubah secara tiba-tiba akibat benturan. Selain itu, gesekan antara ban mobil dan pembatas lintasan juga menghambat laju mobil dan menurunkan konsistensi kecepatan. Oleh karena itu, pembatas lintasan tidak digunakan untuk meminimalkan gangguan mekanis yang dapat memengaruhi hasil pengukuran.

Meskipun tidak menggunakan pembatas lintasan, arah gerak mobil tetap sulit dijaga agar selalu lurus. Ketidaksejajaran roda, perbedaan daya motor, serta kondisi permukaan lintasan menyebabkan mobil cenderung menyimpang dari lintasan lurus selama percobaan berlangsung. Penyimpangan arah ini berdampak pada perubahan jarak relatif antara sumber bunyi dan pengamat, sehingga memengaruhi ketelitian pengukuran frekuensi bunyi yang diterima.

Meskipun terdapat beberapa keterbatasan tersebut, alat peraga praktikum yang dikembangkan tetap mampu menunjukkan kecenderungan perubahan frekuensi bunyi yang sesuai dengan teori Efek Doppler. Oleh karena itu, alat ini masih layak digunakan sebagai media pembelajaran fisika, khususnya untuk membantu siswa SMA kelas XI dalam memahami konsep Efek Doppler melalui pengalaman praktikum secara langsung, dengan catatan bahwa keterbatasan ini perlu diperhatikan dalam pelaksanaan dan pengembangan alat lebih lanjut.

Dalam pelaksanaan proyek pengembangan alat peraga praktikum Efek Doppler ini, terdapat beberapa keterbatasan dan kendala yang ditemui selama proses perancangan, pengujian, dan pengambilan data. Keterbatasan pertama berkaitan dengan kestabilan

kecepatan gerak mobil sumber bunyi dan mobil pengamat. Meskipun kecepatan diupayakan konstan selama percobaan, pada praktiknya kecepatan mobil masih mengalami fluktuasi akibat kondisi permukaan lintasan, gesekan roda, serta keterbatasan sistem penggerak motor DC. Hal ini dapat memengaruhi ketelitian hasil pengukuran frekuensi dan menyebabkan nilai error yang relatif bervariasi pada setiap percobaan.

Kendala berikutnya berasal dari faktor lingkungan selama pengambilan data. Gangguan suara di sekitar area percobaan, seperti percakapan, langkah kaki, atau bunyi lain di dalam ruangan, berpotensi memengaruhi pembacaan frekuensi oleh modul mikrofon digital INMP441. Selain itu, pantulan gelombang bunyi dari dinding dan benda di sekitar lintasan juga dapat menyebabkan interferensi sinyal, sehingga frekuensi terukur tidak sepenuhnya merepresentasikan frekuensi bunyi langsung dari sumber.

Dari sisi perangkat keras, keterbatasan sensitivitas dan rentang respons frekuensi modul mikrofon INMP441 menjadi salah satu faktor yang memengaruhi akurasi pengukuran. Modul mikrofon ini memiliki keterbatasan dalam menangkap perubahan frekuensi yang sangat kecil secara presisi, terutama ketika perbedaan kecepatan relatif antara sumber bunyi dan pengamat tidak terlalu besar. Selain itu, sistem sampling dan pengolahan sinyal pada mikrokontroler ESP32 juga memiliki keterbatasan resolusi waktu, sehingga dapat memengaruhi ketelitian perhitungan frekuensi secara real-time.

Keterbatasan lainnya adalah pengukuran kecepatan mobil yang masih bersifat perkiraan. Kecepatan mobil ditentukan berdasarkan waktu tempuh dan jarak lintasan, sehingga nilai kecepatan yang digunakan dalam perhitungan teori Efek Doppler belum sepenuhnya akurat. Ketidakpastian ini turut berkontribusi terhadap perbedaan antara hasil pengukuran eksperimen dan hasil perhitungan teoritis.

Selain keterbatasan yang telah dijelaskan, galat (error) pada hasil pengukuran juga dipengaruhi oleh beberapa faktor teknis dan eksperimental yang tidak dapat dihindari selama pelaksanaan proyek. Salah satu penyebab utama galat berasal dari posisi modul mikrofon digital INMP441 yang tidak berada tepat berhadapan dengan buzzer sebagai sumber bunyi. Kondisi ini menyebabkan sinyal bunyi yang diterima tidak optimal, sehingga nilai galat pengukuran yang diperoleh pada beberapa kondisi percobaan dapat mencapai sekitar 8%.

Meskipun memiliki beberapa keterbatasan dan kendala, alat peraga praktikum Efek Doppler yang dikembangkan tetap mampu mendemonstrasikan fenomena Efek Doppler secara jelas dan sesuai dengan teori. Kendala-kendala yang ditemukan justru menjadi bahan evaluasi penting untuk pengembangan lebih lanjut, baik dari segi peningkatan kestabilan sistem mekanik, perbaikan metode pengukuran kecepatan, maupun peningkatan kualitas pengolahan sinyal agar alat peraga ini dapat digunakan secara lebih optimal sebagai media pembelajaran fisika.

C. Saran

Untuk pengembangan alat peraga praktikum Efek Doppler di masa mendatang, disarankan agar sistem penggerak mobil dilengkapi dengan pengendali kecepatan otomatis, seperti penggunaan encoder roda atau penerapan kontrol PID, sehingga kecepatan sumber bunyi dan pengamat dapat dijaga lebih konstan dan akurat selama percobaan. Selain itu, pengukuran kecepatan secara langsung menggunakan sensor kecepatan perlu diterapkan agar nilai kecepatan yang digunakan dalam perhitungan teori Efek Doppler lebih presisi dan dapat meningkatkan ketelitian hasil pengukuran.

Pengembangan selanjutnya juga dapat difokuskan pada peningkatan kualitas pengolahan sinyal bunyi, antara lain dengan menerapkan filtering digital serta meningkatkan laju sampling pada mikrokontroler ESP32. Upaya ini diharapkan mampu mengurangi pengaruh noise lingkungan dan meningkatkan akurasi pendeteksian frekuensi oleh modul mikrofon digital INMP441.

Selain itu, disarankan penggunaan lintasan khusus yang dilengkapi panduan arah agar pergerakan mobil lebih lurus dan konsisten, sehingga jarak relatif antara sumber bunyi dan pengamat dapat dikontrol dengan lebih baik. Penggunaan ruang uji yang lebih kedap suara atau penambahan peredam bunyi di sekitar lintasan juga perlu dipertimbangkan untuk meminimalkan pantulan gelombang bunyi dan gangguan suara lingkungan yang dapat memengaruhi ketelitian pengukuran frekuensi.

DAFTAR PUSTAKA

Aminulloh, A. M. (2018). Keefektifan alat peraga bunyi untuk meningkatkan motivasi belajar dan pemahaman konsep siswa. *e-Jurnal Pensa*, 6(2), 134–140. <https://doi.org/10.26740/pensa.v6i02.23306>

Aprilia, R. D., Harijanto, A., & Subiki. (2022). Rancang bangun alat peraga fisika efek Doppler menggunakan modul sensor suara dan Arduino. *Jurnal Fisika Unand*, 11(2), 139–145. <https://doi.org/10.25077/jfu.11.2.139-145.2022>

Habibi, N., & Sucahyo, I. (2015). Perancangan alat ukur kecepatan menggunakan sensor ultrasonik dan prinsip efek Doppler. *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia*, 4(3), 48–54.

Katoende, F. A. (2019). *Efek Doppler*. Academia.edu. https://www.academia.edu/38521850/Efek_Doppler

Kaundilya, D. (2025). *Doppler effect*. ResearchGate.

Kause, M. C., & Boimau, I. (2019). Rancang bangun alat peraga fisika berbasis Arduino (studi kasus gerak jatuh bebas). *Cyclotron: Jurnal Teknik Elektro*, 2(1), 13–19. <https://doi.org/10.30651/cl.v2i1.2511>

Pengembangan alat peraga praktikum efek Doppler. (n.d.). *Unpublished manuscript*.

Zulfikar, Z., Rustana, C. E., & Indrasari, W. (2020). Pengembangan alat pengukur cepat rambat bunyi menggunakan sensor ultrasonik sebagai media pembelajaran fisika SMA. *Prosiding Seminar Nasional Fisika*, 9, 33–38.

<https://doi.org/10.21009/03.SNF2020.02.PF.05>

[Efek Doppler.pdf - Google Drive](#)

[m204.dvi](#)

[Article+Text,+10544-22409-1-ED+\(Bu+Sulis+Copy+Editing\) \(1\).pdf](#)

[Vol 27, No 1 \(2023\)](#)

[Pengembangan Alat Peraga Praktikum Efek Doppler Me.pdf](#)

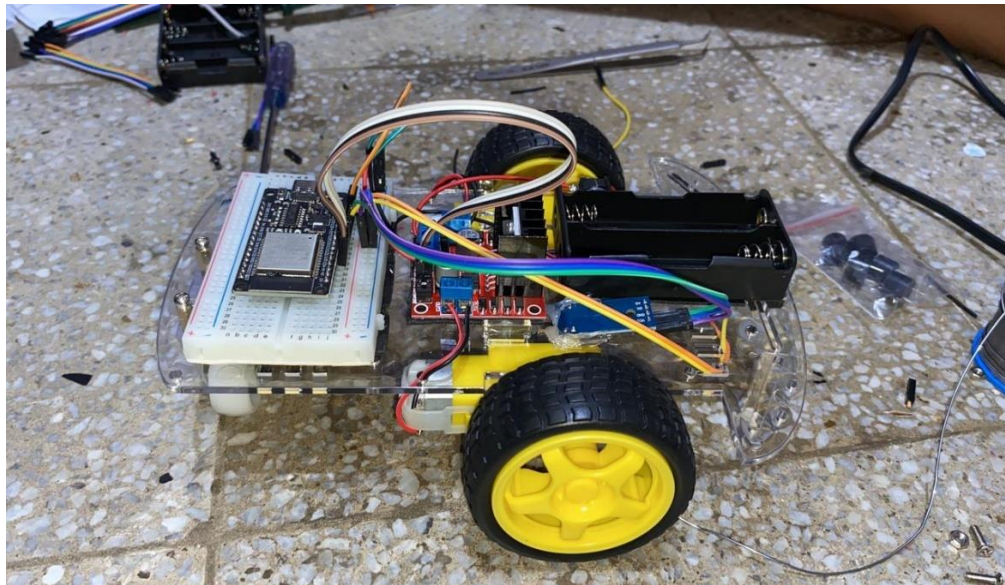
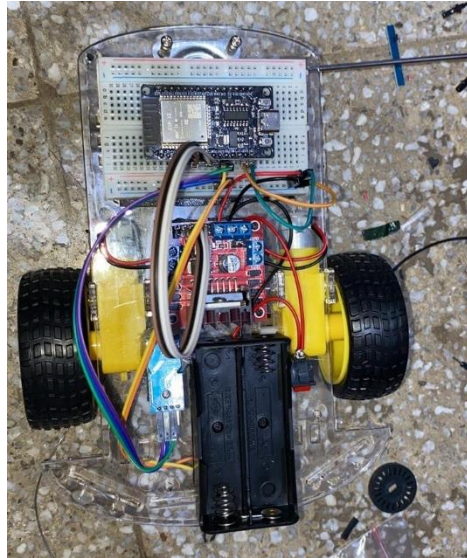
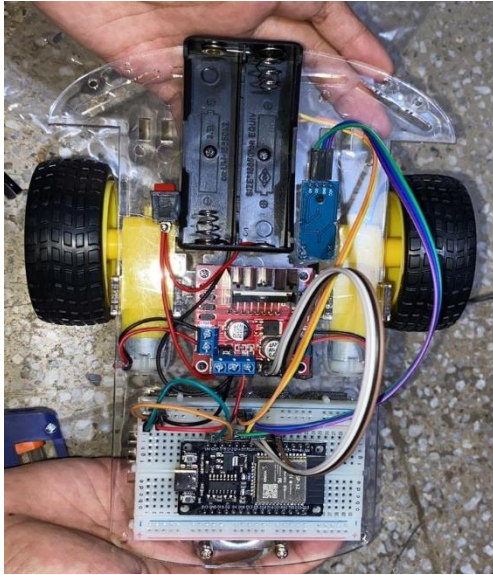
<http://vektor.iain-jember.ac.id>

[DopplerEffectanditsapplication.pdf](#)

https://www.academia.edu/38521850/Efek_Doppler

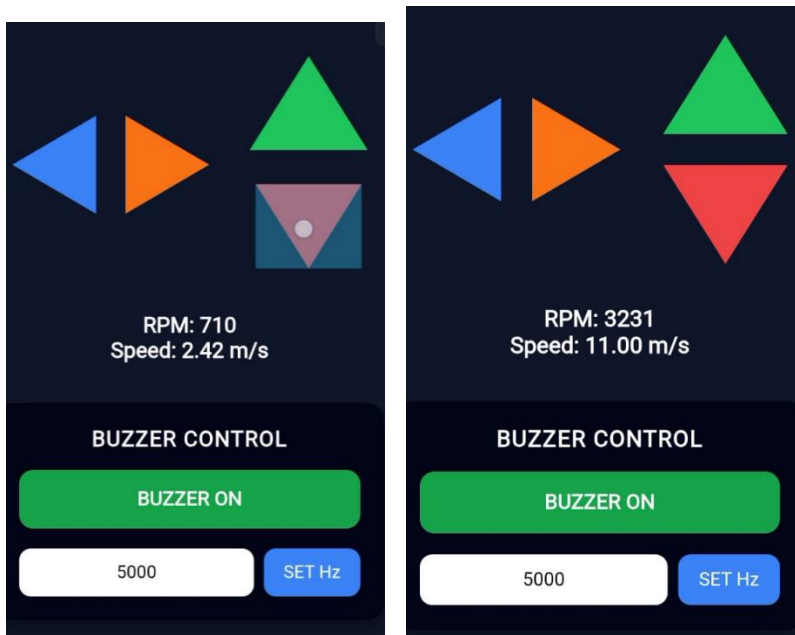
DOI:[10.13140/RG.2.2.15803.53281](https://doi.org/10.13140/RG.2.2.15803.53281)

LAMPIRAN





Gambar diatas merupakan tampilan web untuk mobil pengamat



Gambar diatas merupakan tampilan web untuk mobil sumber bunyi

Link vidio persentasi alat:

<https://drive.google.com/file/d/1316J1N8oeFLWdNkLuKOarlB1E2fTqs0i/view?usp=drivesdk>