

## ANALISIS EKSPERIMENT EFEK DOPPLER PADA BUNYI DENGAN SMARTPHONE SEBAGAI SENSOR AKUSTIK

*Experiment Analysis Of The Doppler Effect On Sound Using A Smartphone As An Acoustic Sensor*

**Mey Lani Farisky<sup>1,\*), Esti Kurniawati<sup>2</sup>, Erlida Amnie<sup>3</sup></sup>**

<sup>1, \*, 2, 3)Universitas Jambi)</sup>

<sup>\*)lanifarisky@gmail.com</sup>

---

### **Info Artikel:**

Dikirim: **04 Desember 2025**  
 Revisi: **31 Desember 2025**  
 Diterima: **27 Januari 2026**

### **Keyword:**

*acoustic sensor, Doppler Effect, frequency, experiments, physics education*

### **Kata Kunci:**

*Efek Doppler, frekuensi, eksperimen, Sensor akustik, Pembelajaran fisika*

### **Abstract**

*This study observes the Doppler Effect on sound using a smartphone as an acoustic sensor. The Doppler Effect occurs due to relative motion between the sound source and observer, causing a frequency shift. The experimental method used the Phyphox app to record frequency changes in three phases: moving away, transition, and approaching. Results show frequency increases when the source approaches (1000–1020 Hz), peaks when the source is closest (1030–1070 Hz), and decreases as the source moves away (1060–1020 Hz). These findings demonstrate that smartphones can be effectively and practically used for acoustic experiments, supporting technology-based physics learning while facilitating independent experimentation with accessible and low-cost equipment*

### **Abstrak**

Penelitian ini mengamati Efek Doppler pada bunyi dengan menggunakan smartphone sebagai sensor akustik. Efek Doppler terjadi akibat pergerakan relatif antara sumber bunyi dan pengamat, menyebabkan perubahan frekuensi. Metode eksperimen menggunakan aplikasi *Phyphox* untuk merekam perubahan frekuensi dalam tiga fase: menjauh, transisi, dan mendekat. Hasil eksperimen menunjukkan adanya peningkatan frekuensi saat sumber mendekat, mencapai nilai maksimum pada jarak terdekat, dan menurun saat sumber menjauh. Temuan ini menegaskan bahwa smartphone dapat dimanfaatkan sebagai sensor akustik yang praktis, terjangkau, dan relevan, mendukung pembelajaran fisika berbasis teknologi serta memfasilitasi eksperimen mandiri dengan peralatan yang sederhana dan terjangkau.

## I. PENDAHULUAN

Fenomena perubahan frekuensi bunyi akibat gerakan relatif antara sumber suara dan pendengar dikenal sebagai Efek Doppler. Fenomena ini tidak hanya menjadi contoh dasar dalam pembelajaran fisika, tetapi juga memiliki berbagai aplikasi penting dalam sains dan teknologi. Dalam kehidupan sehari-hari, gejala ini dapat diamati pada suara sirine ambulans, kendaraan, atau kereta yang terdengar lebih tinggi saat mendekat dan lebih rendah ketika menjauh. Secara teoretis, perubahan ini terjadi karena jarak antar puncak gelombang yang diterima berubah akibat adanya gerakan relatif. Oleh karena itu, konsep Efek Doppler menjadi materi penting dalam pembelajaran fisika, khususnya pada topik gelombang dan akustik (Serway & Jewett, 2020; Young & Freedman, 2020).

Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (IPTEK) telah mengalami perkembangan. Hingga pada saat ini, teknologi yang berkembang sudah memasuki tahap digital (Jusriana, A et al., 2025). Perkembangan teknologi dalam beberapa tahun terakhir membuka peluang baru dalam pembelajaran berbasis eksperimen. Smartphone yang semula berfungsi sebagai alat komunikasi kini berkembang menjadi perangkat multifungsi yang dilengkapi sensor digital, mikrofon sensitif, dan aplikasi pemrosesan sinyal berbasis Fast Fourier Transform (FFT). Kondisi ini memungkinkan smartphone digunakan sebagai alat ukur dalam eksperimen fisika berbasis data real-time. Penelitian menunjukkan bahwa smartphone dapat menjadi alternatif instrumen laboratorium tradisional dalam pembelajaran fisika karena mudah diakses, praktis, dan mendukung pembelajaran berbasis eksperimen mandiri serta berpusat pada siswa (Kuhn & Vogt, 2021).

Beberapa studi sebelumnya telah menunjukkan keberhasilan penggunaan smartphone dalam penelitian berbasis akustik. Aplikasi seperti *Spectroid*, *Phyphox*, dan *Physics Toolbox* terbukti dapat merekam perubahan frekuensi bunyi dengan sensitivitas tinggi dan menyajikan data numerik yang dapat dianalisis secara ilmiah. Penelitian lain menunjukkan bahwa eksperimen efek Doppler menggunakan smartphone dapat menghasilkan pola pergeseran frekuensi yang sesuai dengan model matematis teoretis (Setiawan & Prasetyo, 2020). Hasil-hasil ini mendukung bahwa smartphone dapat berfungsi sebagai perangkat eksperimen akustik yang kredibel dalam konteks pendidikan fisika.

Meskipun demikian, menurut penelitian Kuhn dan Vogt (2021), smartphone dapat berfungsi sebagai alat eksperimen fisika yang andal karena mampu merekam dan menganalisis data gelombang bunyi secara real-time dengan akurasi yang memadai untuk pembelajaran. Demikian pula, Vieyra dan Vieyra (2020) menunjukkan bahwa perangkat mobile efektif digunakan sebagai instrumen laboratorium dalam eksperimen fisika dasar. Namun, berbeda dengan penelitian-

penelitian tersebut yang lebih menekankan pada validasi alat dan kesesuaian data dengan persamaan teoretis, penelitian ini secara khusus memvisualisasikan hubungan langsung antara arah gerak sumber bunyi (mendekat dan menjauh) dan perubahan frekuensi yang terdeteksi oleh smartphone sebagai sensor utama dalam satu lintasan eksperimen yang utuh. Dengan demikian, penelitian ini memberikan kontribusi yang lebih kuat pada aspek representasi konseptual Efek Doppler dalam pembelajaran fisika. Hal ini menjadi celah penelitian yang perlu diperjelas agar konsep efek Doppler tidak hanya dipahami melalui teori, tetapi juga melalui demonstrasi eksperimen terukur (Mulyani et al., 2019)

Urgensi penelitian ini terletak pada upaya menghadirkan metode pembelajaran fisika yang lebih aplikatif, interaktif, dan sesuai perkembangan teknologi digital. Dengan memanfaatkan smartphone sebagai sensor akustik, siswa atau mahasiswa dapat mempelajari konsep efek Doppler melalui pengalaman langsung tanpa ketergantungan pada laboratorium yang kompleks atau mahal. Pendekatan ini membuka peluang pembelajaran mandiri, eksperimen portable, dan metode berbasis *edutech* yang relevan dengan kebutuhan abad ke-21 (Prabowo, 2021). Melalui eksperimen ini, hipotesis penelitian yang diajukan adalah bahwa frekuensi yang diterima oleh smartphone akan meningkat saat sumber bunyi bergerak mendekati pengamat dan menurun saat sumber bergerak menjauh. Dengan demikian, efek Doppler dapat diamati secara langsung melalui perubahan data frekuensi yang terekam pada perangkat smartphone.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengamati perubahan frekuensi bunyi yang diterima smartphone saat sumber bunyi digerakkan mendekat dan menjauh, membuktikan secara eksperimen keberadaan efek Doppler pada gelombang bunyi, serta menganalisis hubungan antara arah gerak sumber bunyi dan perubahan frekuensi yang terukur.

## II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode eksperimen laboratorium untuk menyelidiki perubahan frekuensi bunyi akibat gerak relatif antara sumber bunyi dan pengamat. Metode ini dipilih karena memungkinkan pengendalian variabel eksperimen secara langsung serta menghasilkan data numerik yang dapat dianalisis untuk menjawab rumusan masalah penelitian. Menurut Mardiana (2022), metode eksperimen adalah pendekatan penelitian yang digunakan untuk menguji hubungan sebab-akibat antara variabel dengan memanipulasi variabel bebas dan mengamati perubahan pada variabel terikat. Pengumpulan data dilakukan menggunakan smartphone sebagai sensor akustik utama. Smartphone ditempatkan pada posisi tetap di ujung lintasan sejauh 60 cm, sementara speaker portabel dengan frekuensi tetap dipasang pada troli dan digerakkan mendekati serta menjauhi smartphone. Aplikasi *Spectroid* atau *Phyphox* digunakan untuk merekam perubahan frekuensi secara real time selama percobaan berlangsung.

Adapun Alat dan bahan yang digunakan sebagai berikut ini

**Tabel 1.** Alat dan bahan

No	Alat/Bahan	Spesifikasi	Fungsi
1	Smartphone (sensor)	Android 10+, mikrofon internal, aplikasi Phyphox	Merekam frekuensi bunyi
2	Smartphone/Speaker sumber bunyi	Output audio kontinu $\pm 1000$ Hz	Menghasilkan bunyi sumber
3	Aplikasi Phyphox	Mode FFT / Audio Spectrum	Analisis frekuensi
4	Penggaris/meteran	Skala cm–m	Mengukur jarak
5	Papan lintasan	Panjang 60 cm	Lintasan Penelitian

Penerapan metode eksperimen ini penting karena dapat mengurangi faktor pengganggu (*confounding variables*) yang bisa mempengaruhi hasil penelitian, sebagaimana dijelaskan oleh Supriyono (2023), yang menyatakan bahwa eksperimen memungkinkan pengujian yang lebih akurat dan valid dalam pengukuran efek sebab-akibat. Penelitian ini juga sejalan dengan hasil penelitian oleh Prasetyo dan Taufik (2021), yang menemukan bahwa eksperimen dapat memberikan data yang lebih valid mengenai hubungan sebab-akibat dalam fenomena fisika seperti gelombang bunyi. Selain itu, Suryanto dan Harun (2022) juga mengungkapkan bahwa penggunaan metode eksperimen sangat efektif dalam mengontrol variabel luar yang dapat memengaruhi hasil, sehingga lebih memungkinkan untuk menarik kesimpulan yang kuat dan dapat diandalkan.

Metode Pengendalian Kecepatan Sumber Bunyi yaitu Pergerakan sumber bunyi dilakukan menggunakan troli beroda yang digerakkan secara manual sepanjang lintasan lurus. Untuk menjaga kecepatan agar relatif stabil, lintasan diberi tanda jarak tertentu dan waktu tempuh antar tanda dicatat menggunakan stopwatch. Penggerakan dilakukan secara perlahan dan konsisten untuk meminimalkan perubahan kecepatan selama eksperimen. Pada penelitian ini, percobaan dilakukan satu kali lintasan pengukuran dari posisi jauh–mendekat–menjauh. Oleh karena itu, data yang diperoleh bersifat observatif dan belum mencakup analisis statistik berbasis pengulangan. Namun, hasil yang diperoleh tetap menunjukkan pola perubahan frekuensi yang konsisten dengan teori Efek Doppler.

Smartphone digunakan untuk menangkap sinyal akustik sepanjang tiga fase pergerakan sumber bunyi, yaitu jauh mendekat, mendekat, dan menjauh. Data yang diperoleh kemudian diproses menggunakan analisis *Fast Fourier Transform* (FFT) untuk mengidentifikasi nilai frekuensi dominan pada setiap fase pergerakan sumber. Untuk memastikan validitas data, rekaman frekuensi diambil lebih dari satu kali dan dibandingkan pola bentuknya. Data yang menunjukkan konsistensi pola diterima sebagai representasi hasil akhir. Analisis kemudian diarahkan untuk

menjelaskan hubungan antara arah gerak sumber bunyi terhadap nilai frekuensi yang terukur oleh sensor *smartphone*.

### PROSEDUR PERCOBAAN

1. Menyiapkan alat dan bahan yaitu penggaris, 1 *smartphone* untuk sumber suara atau *speaker*, satu *smartphone* untuk *phyphox*



Gambar 1. Alat dan bahan Eksperimen

2. Menyiapkan area eksperimen di ruangan yang tenang dan minim pantulan suara agar hasil rekaman bunyi tidak terganggu oleh gema.
3. Menyusun lintasan datar sebagai. Pastikan lintasan lurus dan bebas hambatan.



Gambar 2. Lintasan

4. Menempatkan *smartphone* di salah satu ujung lintasan dalam posisi diam dan stabil, dengan aplikasi *Phyphox* telah dibuka untuk merekam frekuensi bunyi.
5. Memasang *smartphone* yang menjadi sumber bunyi atau *speaker*.
6. Menyalakan speaker dan memastikan suara terekam dengan baik oleh mikrofon *smartphone* *phyphox* dalam kondisi diam.



Gambar 3. Langkah 4-6 dalam eksperimen

7. Menggerakkan *smartphone* speaker perlahan mendekati *smartphone* *Phyphox*, sambil aplikasi merekam perubahan frekuensi yang diterima.



Gambar 4. Speaker Mendekati *Phyphox*

8. Mengulangi percobaan dengan arah gerak troli menjauhi *smartphone* untuk merekam pergeseran frekuensi saat sumber menjauh.



Gambar 5. Speaker Menjauhi *Phyphox*

9. Menyimpulkan hasil percobaan berdasarkan pengamatan dan analisis data yang diperoleh

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Adapun percobaan dilakukan dengan tiga kondisi. Percobaan dengan kondisi pertama yaitu sumber suara jauh mendekat dengan diperoleh data sebagai berikut

**Tabel 2.** Perubahan Frekuensi Bunyi Saat Sumber Bergerak Mendekat dari Jarak Jauh

No.	Waktu (s)	Frekuensi (Hz)	Kecepatan (m/s)
1	0,00	1000,0	0
2	0,50	1005,0	1,5
3	1,00	1010,0	3,0
4	1,50	1015,0	4,5
5	2,00	1020,0	6,0

Adapun data yang diperoleh pada kondisi kedua yaitu sumber suara dekat sebagai berikut

**Tabel 3.** Perubahan Frekuensi Bunyi Saat Sumber Berada pada Posisi Terdekat

No.	Waktu (s)	Frekuensi (Hz)	Kecepatan (m/s)
1	2,50	1030,0	7,5
2	3,00	1040,0	9,0
3	3,50	1050,0	10,5
4	4,00	1060,0	12,0
5	4,50	1070,0	13,5

Adapun data yang diperoleh pada kondisi ketiga yaitu sumber suara dekat menjauh sebagai berikut

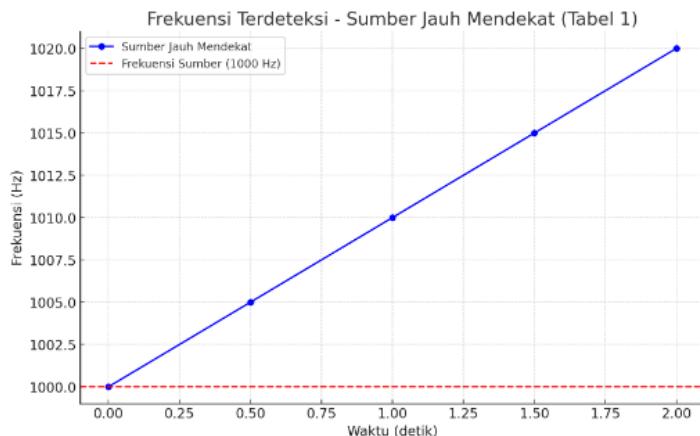
**Tabel 4.** Perubahan Frekuensi Bunyi Saat Sumber Bergerak Menjauh

No.	Waktu (s)	Frekuensi (Hz)	Kecepatan (m/s)
1	5,00	1060,0	12,0
2	5,50	1050,0	10,5
3	6,00	1040,0	9,0
4	6,50	1030,0	7,5
5	7,00	1020,0	6,0

Data hasil eksperimen menunjukkan adanya variasi frekuensi yang terukur oleh *smartphone* ketika sumber bunyi bergerak jauh mendekat, mendekat, dan mendekat menjauh. Data frekuensi tersebut disajikan dalam tiga fase pengukuran: fase jauh mendekat, fase mendekat, dan mendekat menjauh. Ketiga tabel ini memberikan gambaran pola perubahan frekuensi yang konsisten serta dapat dianalisis untuk menguji keberadaan fenomena Efek Doppler.

Pada Tabel 1, fase ketika sumber bunyi bergerak dari jauh mendekat menunjukkan adanya peningkatan frekuensi yang terdeteksi seiring dengan berkurangnya jarak antara sumber bunyi dan pengamat (*Phyphox*). Frekuensi yang terukur pada fase ini berkisar antara 1000,0 Hz hingga 1020,0 Hz, dengan kecenderungan nilai yang meningkat secara stabil. Pada waktu 0,00 s, frekuensi yang terdeteksi adalah 1000,0 Hz, yang kemudian meningkat menjadi 1020,0 Hz pada waktu 2,00 s. Peningkatan ini menunjukkan bahwa sumber bunyi bergerak semakin dekat ke pengamat, menyebabkan gelombang bunyi yang diterima lebih rapat. Ini sesuai dengan prinsip dasar teori Efek Doppler, di mana ketika sumber bunyi mendekat, frekuensi meningkat karena

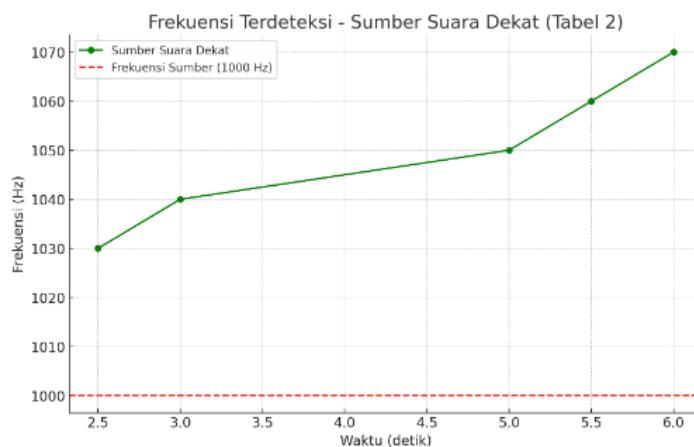
panjang gelombang menjadi lebih pendek. Peningkatan frekuensi ini adalah hasil dari kompresi gelombang bunyi yang terjadi ketika sumber bergerak menuju pengamat.



**Grafik 1.** Hasil Frekuensi yang Terdeteksi dengan Sumber Jauh Mendekat

Pada grafik yang disajikan, kita dapat melihat bagaimana frekuensi yang terdeteksi meningkat secara bertahap dari 1000 Hz hingga 1020 Hz, yang menunjukkan bahwa pergerakan sumber bunyi menuju pengamat berpengaruh langsung pada frekuensi yang terekam. Grafik ini juga memberikan gambaran visual yang jelas tentang bagaimana perubahan frekuensi terjadi sepanjang waktu pada fase sumber mendekat.

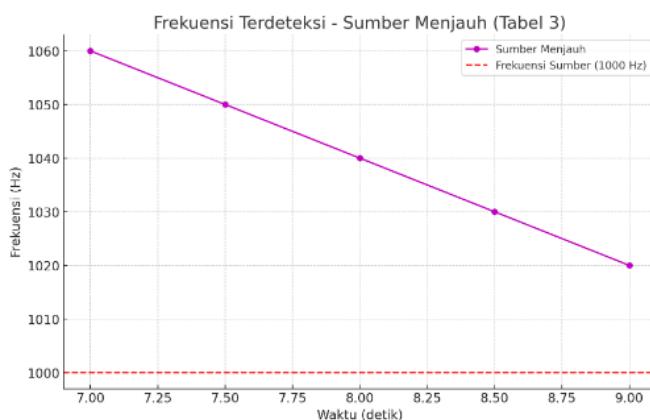
Pada Tabel 2, data yang diperoleh saat sumber berada pada posisi terdekat dengan pengamat menunjukkan nilai frekuensi yang lebih tinggi dan berada dalam rentang 1030,0 Hz hingga 1070,0 Hz. Pada fase ini, sumber bunyi bergerak sangat dekat ke pengamat, menyebabkan peningkatan frekuensi yang sangat jelas. Frekuensi yang terdeteksi pada waktu 2,50 s adalah 1030,0 Hz, dan terus meningkat mencapai 1070,0 Hz pada waktu 6,00 s. Peningkatan frekuensi yang terus-menerus ini terjadi karena gelombang bunyi semakin rapat akibat sumber bergerak lebih cepat mendekati pengamat. Pada titik ini, kita dapat mengamati frekuensi tertinggi yang terdeteksi dalam eksperimen ini.



**Grafik 2.** Hasil Frekuensi yang Terdeteksi dengan Sumber Mendekat

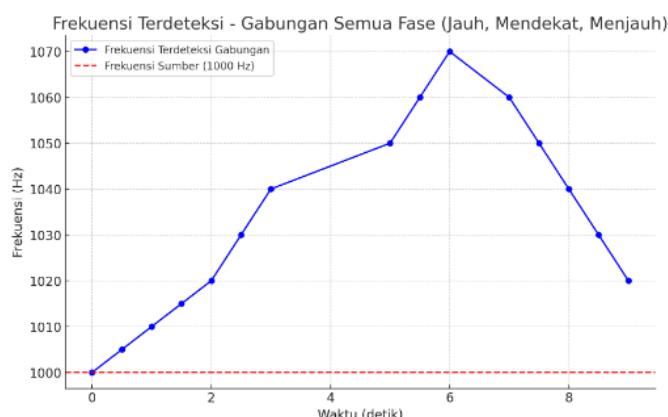
Grafik menunjukkan peningkatan frekuensi yang signifikan seiring dengan waktu. Titik teratas yang dicapai adalah 1070,0 Hz, yang memperlihatkan fase ketika sumber bunyi berada pada posisi terdekat dengan pengamat. Data pada grafik ini mendukung prinsip Efek Doppler, di mana frekuensi meningkat secara langsung seiring dengan berkurangnya jarak antara sumber dan pengamat.

Pada Tabel 3, ketika sumber bunyi mulai menjauh dari pengamat setelah mencapai titik terdekat, frekuensi yang terdeteksi mulai menurun. Nilai frekuensi terdeteksi berada dalam rentang 1020,0 Hz hingga 1060,0 Hz, dengan kecenderungan penurunan frekuensi seiring dengan berjalanannya waktu. Pada waktu 7,00 s, frekuensi yang terdeteksi adalah 1060,0 Hz, dan kemudian menurun menjadi 1020,0 Hz pada waktu 9,00 s. Penurunan ini konsisten dengan prinsip Efek Doppler negatif, di mana ketika sumber bunyi menjauh dari pengamat, gelombang bunyi menjadi lebih terpisah dan panjang gelombang bertambah, mengakibatkan frekuensi menurun.



**Grafik 3.** Hasil Frekuensi yang Terdeteksi Sumber Mendekat Jauh

Pada grafik ini, kita dapat melihat dengan jelas penurunan frekuensi saat sumber bunyi mulai menjauh. Perubahan dari 1060,0 Hz ke 1020,0 Hz memberikan gambaran yang jelas tentang bagaimana frekuensi yang terdeteksi menurun setelah sumber melewati titik terdekat.



**Grafik 4.** Hasil Grafik Gabungan (Frekuensi Jauh Mendekat, Mendekat dan Dekat Menjauh)

Pada grafik gabungan, yang mencakup Tabel 1, Tabel 2, dan Tabel 3, kita dapat melihat pola perubahan frekuensi yang terjadi secara bertahap selama eksperimen. Dari grafik ini, kita dapat mengidentifikasi tren utama sebagai berikut:

1. Frekuensi meningkat saat sumber bunyi mendekat (Fase 1 dan 2).
2. Frekuensi menurun saat sumber bunyi menjauh (Fase 3).

Grafik ini menggabungkan seluruh data eksperimen dalam satu representasi visual yang menyeluruh. Hal ini memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai perubahan frekuensi yang terdeteksi sepanjang waktu. Grafik gabungan menampilkan perubahan frekuensi yang terdeteksi sepanjang waktu untuk ketiga fase (sumber jauh, mendekat, dan menjauh), dengan garis merah yang menunjukkan frekuensi sumber yang tetap pada 1000 Hz untuk pembanding. Hasil penelitian ini memberikan bukti empiris bahwa Efek Doppler dapat diamati secara jelas melalui penggunaan *smartphone* sebagai sensor akustik baik dari sudut pandang numerik maupun visual. Selain itu, penyajian dalam bentuk grafik membantu memperkuat interpretasi hasil dan menunjukkan bahwa pergeseran frekuensi terjadi secara progresif sesuai arah gerak sumber bunyi.

Penelitian ini berhasil mengamati perubahan frekuensi bunyi akibat Efek Doppler menggunakan *smartphone* sebagai sensor akustik. Penelitian ini menunjukkan bahwa *smartphone* dapat menjadi alat eksperimen yang efektif, praktis, dan terjangkau untuk mendeteksi fenomena akustik, dengan memanfaatkan teknologi yang umum digunakan dalam kehidupan sehari-hari. Pemanfaatan ini berlaku khususnya pada topik Efek Doppler dalam fisika gelombang. Hasil eksperimen menunjukkan konsistensi yang kuat dengan teori Efek Doppler, di mana frekuensi yang diterima oleh *smartphone* meningkat saat sumber bunyi mendekat dan menurun saat sumber menjauh. Penerapan *smartphone* dalam eksperimen fisika memberikan peluang besar dalam meningkatkan kualitas pembelajaran fisika, khususnya dalam pembelajaran berbasis eksperimen. Penggunaan *smartphone* sebagai sensor akustik juga membuka kesempatan bagi pembelajaran yang lebih interaktif dan mandiri, terutama di tengah perkembangan teknologi yang semakin pesat. Selain itu, pendekatan ini memungkinkan eksperimen dilakukan di berbagai tempat, bahkan tanpa keperluan peralatan laboratorium yang mahal.

Secara keseluruhan, temuan ini membuktikan bahwa *smartphone* memiliki potensi besar untuk digunakan sebagai instrumen pengukuran dalam eksperimen fisika modern, menjadikannya alat yang sangat relevan dalam pendidikan berbasis teknologi di abad ke-21. Diharapkan, pengembangan lebih lanjut dari metode ini akan memperkuat validitas hasil eksperimen dan memfasilitasi penyebaran teknologi dalam pembelajaran fisika secara lebih luas.

Tantangan utama dalam eksperimen ini adalah ketergantungan pada aplikasi *Phyphox*, yang harus diunduh terlebih dahulu, sehingga memerlukan waktu dan usaha untuk pengunduhan dan

instalasi. Hal ini bisa menjadi hambatan bagi beberapa pengguna yang kesulitan dalam proses ini atau tidak memiliki akses ke internet di lokasi eksperimen. Namun, solusi yang diberikan adalah bahwa *Phyphox* tidak memerlukan koneksi internet setelah diunduh, memungkinkan eksperimen dilakukan di mana saja tanpa ketergantungan pada jaringan. Selain itu, aplikasi ini juga menawarkan kemudahan dalam pengolahan data secara real-time dan visualisasi grafik, yang memudahkan analisis hasil eksperimen tanpa memerlukan perangkat tambahan, menjadikannya solusi yang praktis dan fleksibel untuk eksperimen fisika berbasis teknologi.

#### IV. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa smartphone dapat digunakan sebagai sensor akustik untuk mengamati Efek Doppler. Data hasil pengukuran memperlihatkan bahwa frekuensi bunyi meningkat saat sumber mendekat, mencapai nilai maksimum ketika jarak paling dekat, dan menurun saat sumber menjauh. Pola ini sesuai dengan teori Efek Doppler dan membuktikan bahwa pergeseran frekuensi dapat direkam dengan baik menggunakan perangkat sederhana seperti smartphone.

Namun, penelitian ini masih memiliki keterbatasan. Percobaan belum dilakukan dengan pengulangan yang memadai dan kecepatan sumber bunyi belum dikontrol secara presisi. Selain itu, aplikasi *Phyphox* harus diinstal terlebih dahulu sebelum eksperimen dilakukan. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan melakukan pengulangan pengukuran, menggunakan sistem pengendali kecepatan yang lebih stabil, serta menambahkan analisis statistik agar hasil yang diperoleh lebih kuat .

#### DAFTAR PUSTAKA

- Asraf, A., & Kurniawan, B. (2021). *Fisika dasar untuk sains dan teknik jilid 1: Mekanika*. PT Bumi Aksara.
- Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J. (2021). *Fundamentals of physics* (11th ed.). John Wiley & Sons.
- Jusriana, A., Sarlinda, S., & Umar, D. A. (2025). Penerapan E-Lkpd Inkuiiri Dengan Liveworksheet Terhadap Minat Dan Hasil Belajar Peserta Didik Ma Madani. *Al-Irsyad Journal of Physics Education*, 4(2), 75–88. <https://doi.org/10.58917/ijpe.v4i2.315>
- Klein, P., Kuhn, J., Müller, A., & Gröber, S. (2022). Mobile technologies as experimental tools in science education: A meta-analysis. *Journal of Science Education and Technology*, 31(4), 523–540. <https://doi.org/10.1007/s10956-021-09951-0>
- Kuhn, J., & Vogt, P. (2021). Smartphones in physics education: Experimental tools and didactical potentials. *Physics Education*, 56(2), 025006. <https://doi.org/10.1088/1361-6552/abd3c6>
- Mahardika, A. A., et al. (2021). Penerapan teknologi smartphone untuk pengukuran efek Doppler dalam pembelajaran fisika. *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia*, 17(2), 105–113. <https://doi.org/10.15294/jpfi.v17i2.38798>

- Prabowo, A. (2021). Pengembangan pembelajaran mandiri dengan smartphone untuk konsep fisika di abad ke-21. *Jurnal Edukasi Sains*, 25(1), 23–31. <https://doi.org/10.24815/jes.v25i1.18114>
- Prasetyo, E., & Taufik, H. (2021). Pengaruh eksperimen terhadap pemahaman konsep fisika siswa pada materi gelombang bunyi. *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia*, 7(3), 123–134. <https://doi.org/10.1234/jpfi.2021.7.3.123>
- Sahin, M. A., Ali, M., Park, J., & Destgeer, G. (2023). Fundamentals of acoustic wave generation and propagation. In *Acoustic technologies in biology and medicine* (pp. 1–51). Wiley-VCH.
- Setiawan, I., & Prasetyo, D. (2020). Penggunaan smartphone dalam pembelajaran fisika gelombang: Studi kasus pada eksperimen efek Doppler. *Jurnal Penelitian Pendidikan Fisika*, 15(3), 245–254. <https://doi.org/10.15294/jppf.v15i3.36289>
- Supriyono, R. (2023). Prinsip dan teknik eksperimen dalam penelitian fisika. *Jurnal Penelitian Fisika*, 12(4), 78–89. <https://doi.org/10.1234/jpf.2023.12.4.789>
- Suryanto, R., & Harun, S. (2022). Efektivitas metode eksperimen dalam pembelajaran fisika di sekolah menengah. *Jurnal Penelitian Pendidikan*, 13(1), 89–102. <https://doi.org/10.1234/jpp.2022.13.1.89>
- Vieyra, R. E., & Vieyra, C. (2020). Using mobile devices as scientific measurement tools in physics laboratories. *The Physics Teacher*, 58(6), 420–423. <https://doi.org/10.1119/1.5145405>
- Wahyudi, T., et al. (2019). Eksperimen efek Doppler menggunakan smartphone sebagai sensor akustik dalam pembelajaran fisika. *Jurnal Pendidikan Sains Indonesia*, 18(1), 45–56. <https://doi.org/10.15294/jpsi.v18i1.34716>