

EKSPERIMEN PENENTUAN CEPAT RAMBAT BUNYI DI UDARA DENGAN ALAT PRAKTIKUM PADA DUA UKURAN PIPA

Kristina Neftalia Sihombing¹, Tika Yuli Yanti², Jeliana Veronika Sirait³

¹ Pendidikan Fisika, FKIP, Universitas Jambi, Jambi, Indonesia

² Pendidikan Fisika, FKIP, Universitas Jambi, Jambi, Indonesia

³ Pendidikan Fisika, FKIP, Universitas Jambi, Jambi, Indonesia

e-mail : jelianasirait@unja.ac.id

Abstract: *The design of this sound resonance lab tool was made to compare the speed of sound propagation in the air in two types of pipes, namely small and large diameter pipes. The working principle of the tool is based on the resonance phenomenon that appears when the pipe is dipped in water, then the length of the air column that produces harmonic tones is sought using a frequency generator application at 1250, 1500, and 1750 Hz. The simple and easy-to-use tool design helps expedite the experimental process. From the results of the experiment on a small pipe, for frequencies of 1250, 1500, and 1750 Hz, the length of the air column was obtained as 13.603 cm, 11.33 cm, and 9.73 cm, respectively, with sound speeds of around 340, 340, and 340.5 m/s. In the large pipe, the results were almost the same: air column lengths of 13.6 cm, 11.34 cm, and 9.73 cm with sound speeds of 340, 340, and 340.5 m/s, respectively. From all these measurements, it can be concluded that there is no significant difference between the small and large pipes. The pattern of the relationship between frequency and air column length also remains the same, namely, the higher the frequency, the shorter the length of the resonating air column. Meanwhile, the speed of sound in air remains in a constant range, namely between 340 and 340.5 m/s.*

Keywords: *Practical tools; Resonance; Sound speed; Pipe; Air*



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NoDerivatives 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0/).

PENDAHULUAN

Fisika adalah ilmu yang berusaha memahami bagaimana alam bekerja serta merumuskan hukum-hukum yang mengatur perilaku tersebut. Salah satu Topik fisika yang sering dianggap sulit oleh peserta didik adalah gelombang bunyi. Kesulitan ini muncul karena materi gelombang mengandung banyak konsep abstrak dan rumus yang harus dipahami, sementara proses pembelajaran di kelas umumnya masih didominasi metode ceramah. Akibatnya, peserta didik cenderung cepat lupa terhadap materi gelombang yang telah disampaikan (Zulfikar, 2023). Dalam pembelajaran fisika sebenarnya tersedia banyak metode yang dapat digunakan untuk membantu pemahaman siswa, salah satunya adalah metode praktikum (Rustana & Indrasari, 2020).

Beberapa materi dalam pelajaran fisika bersifat cukup abstrak, termasuk materi tentang gelombang. Gelombang biasanya dipahami hanya melalui buku atau referensi lain tanpa kesempatan untuk melihat langsung bagaimana gelombang itu bergerak. Materi ini umumnya dijelaskan berdasarkan konsep atau teori yang sudah ada, namun pemahamannya sering tidak didukung oleh kegiatan praktikum karena keterbatasan alat dan bahan (Octaviani *et al.*, 2021). Bunyi

didefinisikan sebagai sekumpulan prinsip fisika yang menggambarkan mekanisme perambatan suara melalui berbagai medium. Fenomena ini terjadi akibat adanya fluktuasi tekanan yang merambat secara mekanis, baik itu di udara maupun benda padat. Identitas sebuah gelombang suara biasanya diukur melalui parameter panjang gelombang, frekuensi, dan amplitudonya. Secara fundamental, gelombang adalah transmisi energi; namun khusus untuk bunyi, proses ini hanya dapat berlangsung jika terdapat medium fisik yang mendukung getaran tersebut. Berdasarkan medium rambatnya, gelombang terbagi menjadi dua jenis, yaitu gelombang mekanik dan gelombang elektromagnetik (Syahputri Dea Rafika, 2025).

Karakteristik suara dapat diukur melalui beberapa parameter utama, salah satunya adalah frekuensi yang dihitung dalam satuan Hertz (Hz) untuk menunjukkan jumlah getaran setiap detiknya. Selain itu, terdapat amplitudo yang merepresentasikan besarnya fluktuasi tekanan pada medium biasanya diukur dalam desibel (dB) serta panjang gelombang yang merupakan jarak fisik antara dua titik fase yang identik. Dalam interaksinya dengan lingkungan, gelombang bunyi menunjukkan perilaku mekanis seperti pemantulan, penyerapan, hingga hamburan saat membentur objek. Pertemuan antargelombang juga dapat memicu fenomena interferensi, yang menciptakan pola suara yang lebih kompleks dan bervariasi. (Kristianto *et al.*, 2023).

Resonansi terjadi saat suatu sistem osilasi mengalami peningkatan amplitudo getaran secara drastis akibat pengaruh eksternal. Hal ini dipicu oleh kesesuaian antara frekuensi sumber getaran dengan frekuensi alami objek tersebut. Dalam kondisi ini, objek menyerap energi dari gelombang suara secara maksimal, yang kemudian memanifestasikan diri dalam bentuk gerakan mekanis yang lebih kuat dibandingkan getaran biasanya. (Lestariana *et al.*, 2022).

Resonansi bunyi pada dasarnya adalah peristiwa ikut bergetarnya suatu objek saat terpapar gelombang suara dari sumber tertentu. Syarat mutlak terjadinya fenomena ini adalah adanya kesamaan antara frekuensi alami objek tersebut dengan frekuensi sumber suaranya. Menariknya, hal ini tidak hanya berlaku pada benda padat; kumpulan udara atau gas yang berada di sekitar sumber bunyi pun bisa ikut bergetar hebat selama frekuensi alaminya berada di titik yang sama.

Fenomena dengung yang mengeras pada titik ketinggian tertentu sebenarnya merupakan indikasi terjadinya resonansi di dalam kolom udara. Secara teknis, udara yang terperangkap dalam tabung memiliki frekuensi alami yang nilainya ditentukan oleh dimensi panjang serta karakteristik ujung tabung tersebut. Begitu sumber bunyi diletakkan di mulut tabung, gelombang suara akan merambat masuk. Jika frekuensi suara tersebut selaras dengan frekuensi alami udara di dalamnya, maka terjadilah resonansi yang memperkuat volume suara. Prinsip inilah yang bekerja pada instrumen organ pipa; nada tertentu akan terdengar jauh lebih megah saat pipa berada dalam kondisi resonansi yang tepat.

Pada posisi tersebut, frekuensi alami pipa sesuai dengan frekuensi nada yang dimainkan, sehingga terjadi resonansi bunyi dan suara menjadi lebih keras. Fenomena resonansi bunyi juga dapat diamati pada alat musik lainnya, seperti gitar, biola, atau piano (Sunni & Islami, 2020). Rumus resonansi bunyi dapat ditulis sebagai :

$$l_n = (2n-1) / 4 \lambda$$

Dengan keterangan yaitu l_n = panjang kolom udara ketika terjadi resonansi ke- n (m), n = resonansi ke- n , λ = panjang gelombang (m)

Cepat rambat bunyi merupakan ukuran seberapa pesat gelombang suara bergerak menembus suatu material. Kecepatan ini sangat bergantung pada karakteristik medium yang dilewatinya. Dalam konteks udara, kecepatan rambat ini berkaitan erat dengan peristiwa resonansi. Fenomena tersebut muncul ketika frekuensi suara yang merambat berhasil menyamai frekuensi alami udara di

sekitarnya. Frekuensi alami ini sendiri lahir dari perpaduan sifat fisik medium, mulai dari tingkat kepadatan hingga dimensinya. Alhasil, saat kedua frekuensi ini bertemu di titik yang sama, suara akan mengalami penguatan yang signifikan. Cepat rambat bunyi dalam udara dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$V = \lambda \times f$$

Dengan keterangan yaitu, V = cepat rambat gelombang (m/s^2), λ = panjang gelombang (m), f = frekuensi (Hz)

Penentuan frekuensi bunyi dalam kondisi resonansi tabung tertutup sangat bergantung pada data panjang gelombang dan kecepatan rambat suara. Frekuensi sendiri merupakan representasi dari banyaknya getaran per detik, dengan Hertz (Hz) sebagai satuan standarnya. Satuan ini menjadi tolak ukur untuk melihat seberapa cepat gelombang suara beresilasi atau berganti polaritas dalam rentang waktu satu detik.

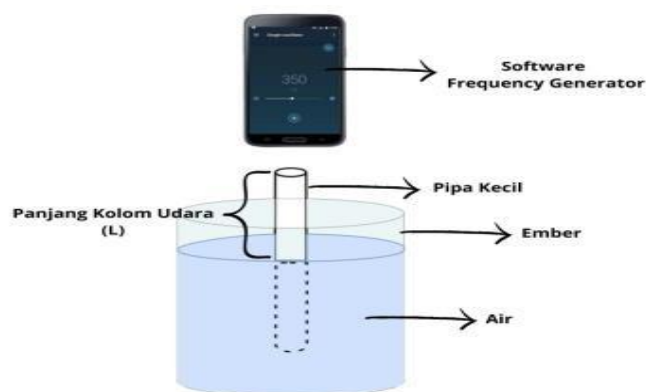
Semakin tinggi frekuensi gelombang bunyi, semakin tinggi pula nada atau pitch suara yang dihasilkan (Laeli & Ishafit, 2023). Cepat rambat bunyi dalam udara dapat berhubungan dengan resonansi bunyi melalui pengukuran panjang gelombang dan frekuensi bunyi dalam medium tersebut (Nurhidayati et al., 2022). Tujuan eksperimen alat peraga resonansi bunyi dilakukan untuk meneliti apakah ada perbedaan cepat rambat bunyi di udara pada pipa kecil dan pipa besar.

METODE PENELITIAN

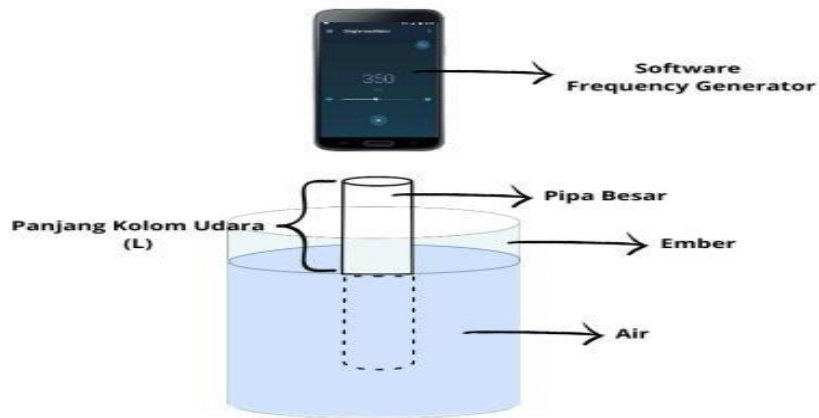
Proses merancang alat untuk eksperimen resonansi bunyi melewati beberapa langkah penting. Pertama-tama, kita harus mengkalibrasi alat ukur kita. Ini penting untuk memastikan data yang kita ambil nanti akurat dan bisa dipertanggungjawabkan.

Setelah itu, mulailah fase perancangan alat praktikum resonansi bunyi. Tujuannya adalah menemukan desain yang paling pas dan sesuai dengan konsep resonansi yang akan diajarkan. Jika desain sudah oke, langkah berikutnya adalah pembuatan. Kita kumpulkan semua alat dan bahan, lalu wujudkan desain tersebut menjadi alat nyata. Setelah alat selesai, kita langsung mengujinya. Kita ambil data menggunakan alat yang baru kita buat dan rancang tadi.

Terakhir, data yang sudah terkumpul tadi akan dianalisis untuk mendapatkan kesimpulan. Rancangan alat praktikum adalah sebagai berikut :



Gambar 1. Praktikum pada Pipa Kecil



Gambar 1. Praktikum pada Pipa Besar



Gambar 3. Mengukur, memberi tanda dan mengambil data pada Pipa Kecil



Gambar 4. Mengukur, memberi tanda dan mengambil data Pipa Besar

Untuk membuat alat praktikum ini, kita memerlukan beberapa peralatan sederhana: Inti dari percobaan ini adalah paralon (pipa kecil dan besar) yang akan berfungsi sebagai saluran udara. Paralon ini akan kita letakkan di dalam ember yang sudah diisi dengan air. Air ini bertindak sebagai medium untuk mengatur panjang kolom udara. Untuk menghasilkan getaran suara, kita akan menggunakan ponsel pintar (handphone) sebagai sumber bunyi. Sementara itu, penggaris dibutuhkan untuk mengukur secara tepat panjang kolom udara yang terbentuk di dalam paralon. Terakhir, kita juga memerlukan spidol untuk memberi tanda pada pipa paralon di bagian yang tidak tercelup air, agar pengukuran menjadi lebih mudah dan jelas.

Berikut adalah langkah-langkah untuk melakukan percobaan resonansi bunyi:

Persiapan dan Penyiapan Alat

Langkah pertama adalah menyiapkan semua alat dan bahan, lalu mengisi ember penuh dengan air. Selanjutnya, instal aplikasi generator frekuensi di ponsel. Buka aplikasi, atur frekuensi awal untuk percobaan, dan tekan tombol *play* untuk memulai suara.

Pengambilan Data Resonansi

Letakkan *speaker* ponsel tepat di atas lubang pipa paralon yang kecil. Celupkan pipa secara perlahan ke dalam air sambil mendengarkan. Kita mencari frekuensi harmonik pertama (l_1) yang ditandai dengan bunyi yang mendadak lebih nyaring. Setelah ditemukan, tandai batas air pada pipa dengan spidol, ukur panjang kolom udara l_1 , dan catat hasilnya. Setelah itu, lanjutkan mencelupkan pipa lebih dalam untuk mencari frekuensi harmonik kedua l_2 , yang juga ditandai dengan bunyi yang kembali nyaring. Ukur dan catat hasil l_2 ini.

Variasi dan Pengulangan

Dalam pengujian ini, setiap variasi frekuensi diuji melalui tiga kali pengulangan untuk memastikan akurasi data. Perangkat yang digunakan terdiri dari dua ukuran berbeda, yakni pipa kecil dengan diameter 2 cm serta pipa besar berdiameter 3 cm. Visualisasi data pada gambar di atas memaparkan korelasi antara besaran frekuensi terhadap panjang kolom udara, sekaligus memperlihatkan nilai cepat rambat bunyi yang diperoleh dari kedua jenis pipa tersebut. Untuk validasi data, percobaan harus diulangi sebanyak tiga kali dengan menggunakan frekuensi yang bervariasi (seperti 1250 Hz, 1500 Hz, dan 1750 Hz) pada kedua jenis pipa.

Untuk menentukan panjang gelombang (λ) nilai yang digunakan adalah selisih antara panjang kolom udara resonansi kedua (l_2) dan resonansi pertama (l_1), dengan menggunakan rumus $\lambda = 2(l_2 - l_1)$. Penggunaan selisih $l_2 - l_1$ ini dilakukan secara eksplisit untuk mengeliminasi atau meminimalkan efek koreksi ujung pipa (*end correction*), sehingga meningkatkan akurasi dalam perhitungan cepat rambat bunyi (V).

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Penelitian

Tabel 1. Analisis Penentuan Laju Rambat Bunyi di Udara Menggunakan Media Pipa Berdiameter Kecil dan Besar

Pipa	f (Hz)	$\bar{L} = l_2 - l_1$ (cm)	$\lambda = 2\bar{L}$ (m)	v_{ukur} (m/s)	v_{teori} (m/s)	Persentase Kesalahan (PE) $\frac{v_{ukur} - 343}{343} \times 100\%$
Kecil	1250	13,603	0,27206	340,0	343	0,87%
Kecil	1500	11,33	0,22660	340,0	343	0,87%
Kecil	1750	9,73	0,19460	340,5	343	0,73%
Rata-rata Pipa Kecil						0,82%
Besar	1250	13,60	0,27200	340,0	343	0,87%
Besar	1500	11,34	0,22680	340,0	343	0,87%
Besar	1750	9,73	0,19460	340,5	343	0,73%
Rata-rata Pipa Besar						0,82%

B. Hasil Pembahasan

Berdasarkan data eksperimen resonansi menggunakan pipa kecil dan besar pada rentang frekuensi 1250 Hz hingga 1750 Hz, terlihat pola hubungan yang konsisten. Pada frekuensi 1250 Hz, kolom udara (L) tercatat sepanjang 13,603 dengan kecepatan suara (v) 340 m/s. Saat frekuensi dinaikkan menjadi 1500 Hz, panjang kolom udara menyusut ke angka 11,33, sementara pada 1750 Hz panjangnya menjadi 9,73 dengan sedikit kenaikan kecepatan suara ke 340,5 m/s. Hasil ini membuktikan bahwa frekuensi (f) dan panjang kolom udara (L) memiliki hubungan yang berbanding terbalik; semakin tinggi frekuensi yang diberikan, maka dimensi kolom udara yang dibutuhkan untuk resonansi akan semakin pendek. Di sisi lain, nilai cepat rambat bunyi di udara terpantau stabil pada kisaran 340 hingga 340,5 m/s.

Berdasarkan pengujian pada pipa besar, terlihat pola yang konsisten dengan teori resonansi. Pada frekuensi 1250 Hz, kolom udara (L) tercatat sepanjang 13,6 dengan kecepatan rambat (v) sebesar 340 m/s. Nilai kolom udara ini kemudian menyusut menjadi 11,34 saat frekuensi dinaikkan ke 1500 Hz, dan kembali berkurang hingga 9,73 pada frekuensi 1750 Hz (dengan v sebesar 340,5 m/s). Data tersebut mengonfirmasi adanya hubungan berbanding terbalik antara frekuensi dan panjang kolom udara; semakin tinggi frekuensi yang dihasilkan, maka semakin pendek ruang udara yang dibutuhkan untuk mencapai resonansi. Sementara itu, kecepatan rambat bunyi di udara terpantau stabil di kisaran 340 hingga 340,5 m/s.

Hasil pengukuran cepat rambat bunyi yang diperoleh dengan mempertimbangkan koreksi ujung pipa pada pipa besar dan pipa kecil mendekati nilai teoritis sebesar 343 m/s dengan persentase kesalahan masing-masing di bawah 2%. Hal ini menegaskan bahwa metode rancang bangun alat praktikum ini valid untuk studi fisika dasar, asalkan faktor koreksi ujung pipa dipertimbangkan dalam perhitungan, terutama pada pipa dengan diameter yang lebih besar (Siregar *et al.*, 2021).

Pengembangan alat praktikum cepat rambat bunyi berbasis mikrokontroler telah mengatasi masalah subjektivitas dalam penentuan titik resonansi pertama dan kedua. Dengan sensor otomatis, penentuan panjang kolom udara (l_1 dan l_2) menjadi lebih presisi, sehingga perbedaan signifikan antara hasil pipa kecil dan besar kini dapat diatribusikan murni pada faktor fisis (seperti koreksi ujung) dan bukan kesalahan pengamatan manusia (Prasetya & Haryanto, 2022).

Secara komparatif, penggunaan pipa berdiameter besar dalam percobaan resonansi sering kali menunjukkan efek resonansi yang lebih kuat (bunyi lebih nyaring) dibandingkan pipa kecil. Namun, data l_1 dan l_2 pada pipa kecil cenderung lebih linier jika diplotkan terhadap harmonik, yang memudahkan perhitungan teoretis sederhana, asalkan *end correction* diabaikan (Wulandari & Santoso, 2021). Eksperimen resonansi bunyi kini dapat dioptimalkan dengan pemanfaatan aplikasi generator frekuensi pada smartphon sebagai sumber suara yang stabil, menggantikan generator sinyal konvensional. Studi kami membandingkan akurasi v yang dihasilkan pada pipa kecil dan besar; ditemukan bahwa *smartphone* memberikan frekuensi yang sangat akurat, tetapi tantangan utama tetap pada penentuan visual titik resonansi oleh pengamat, terutama saat menggunakan pipa kecil yang memiliki rentang resonansi sempit.

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa rata-rata Persentase Kesalahan pada pipa kecil (0,82%) dan pipa besar (0,82%) memiliki nilai yang sama. Kesalahan yang sangat kecil ini (kurang dari 2%) menunjukkan bahwa pengukuran cepat rambat bunyi sudah sangat mendekati nilai teorinya yaitu 343 m/s, tanpa terpengaruh. Walaupun secara teori setiap pipa dengan diameter berbeda (seperti 2 cm dan 3 cm) memiliki nilai koreksi ujung yang tidak sama karena posisi pantulan bunyi bergeser sedikit ke luar, hasil percobaan menunjukkan bahwa perbedaan

diameter tersebut tidak memberikan pengaruh yang terhadap berarti nilai cepat rambat bunyi(V). Hal ini terjadi karena dua alasan utama:

- Trik Pengukuran: Kami tidak hanya mengukur resonansi pertama (l_1) tetapi juga resonansi kedua (l_2). Lalu, kami menghitung panjang gelombang (λ) dari selisih kedua titik tersebut $\lambda = 2(l_2 - l_1)$. Metode pengukuran ini sengaja dilakukan untuk membatalkan atau menghilangkan efek koreksi ujung pada kedua pipa. Jadi, meskipun koreksi ujungnya berbeda, dampaknya sudah dinetralkan oleh perhitungan.
- Suhu Lebih Berkuasa: Nilai cepat rambat bunyi yang kami dapatkan (340 sampai 340,5 m/s) sangat stabil. Ini menunjukkan bahwa fluktuasi suhu ruangan jauh lebih sensitif dan berpengaruh terhadap kecepatan bunyi dari pada sekedar perbedaan diameter pipa yang kecil. Konsistensi frekuensi yang dihasilkan *smartphone* dan suhu lingkungan menjadi penentu utama hasil, bukan perbedaan kecil pada koreksi ujung pipa.

Modul praktikum yang dikembangkan mencakup panduan rinci untuk merancang dua set alat resonansi (pipa A kecil dan pipa B besar) dan menekankan pentingnya membandingkan data $l_2 - l_1$ dari kedua pipa. Perbedaan nilai $2(l_2 - l_1)$ pada kedua pipa mencerminkan adanya perbedaan cepat rambat bunyi yang terukur, yang dapat digunakan untuk mendiskusikan konsep akustik terapan dan desain alat fisika yang optimal (Zulkarnain, 2023).

Dalam konteks rancang bangun alat praktikum ini, variasi cepat rambat bunyi (v) yang diamati tidak hanya disebabkan oleh perbedaan diameter pipa, tetapi juga fluktuasi suhu ruangan. Perhitungan v harus selalu dikoreksi terhadap suhu pengukuran aktual menggunakan persamaan $v = 331 \text{ m/s} + 0.6 T$, karena perubahan satu derajat celsius dapat menghasilkan deviasi yang melebihi persentase kesalahan yang diakibatkan oleh perbedaan diameter (Nugroho & Hartono, 2024).

Untuk mengukur ketelitian alat praktikum rancang bangun, penting untuk melakukan analisis ketidakpastian pada pengukuran panjang kolom udara (l) dan frekuensi (f). Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan pipa besar menghasilkan ketidakpastian relatif yang lebih kecil dalam penentuan $l_2 - l_1$, yang secara langsung meminimalkan kesalahan pada perhitungan cepat rambat bunyi (v). Hal ini mengindikasikan bahwa secara metrologi, pipa berdiameter besar memberikan stabilitas data yang lebih baik (Hidayat & Subekti, 2023).

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Secara keseluruhan, praktikum ini menyimpulkan bahwa cepat rambat bunyi di udara tetap konstan pada kisaran 340–340,5 m/s, terlepas dari apakah pengujian dilakukan pada pipa kecil atau pipa besar. Kedua perangkat menghasilkan pola data yang selaras: peningkatan frekuensi (dari 1250 Hz ke 1750 Hz) selalu diikuti dengan pemendekan kolom udara yang diperlukan untuk mencapai resonansi (dari sekitar 13,6 cm ke 9,73 cm). Dengan hasil yang hampir seragam ini, dapat ditegaskan bahwa diameter pipa bukan merupakan faktor penentu bagi kecepatan rambat gelombang suara di udara.

- Nilai rata-rata cepat rambat bunyi eksperimen $v_{Eksperimen}$ untuk pipa kecil adalah sekitar 340,17 m/s, dengan Persentase Kesalahan rata-rata sebesar 0,82%.
- Nilai rata-rata cepat rambat bunyi eksperimen $v_{Eksperimen}$ untuk pipa besar adalah sekitar 340,17 m/s, dengan Persentase Kesalahan rata-rata sebesar 0,82%.

Selain itu, hubungan antara besar frekuensi (f) dengan panjang kolom udara (L) yang beresonansi terbukti sama pada kedua jenis pipa, yaitu berbanding terbalik. Sementara itu, nilai cepat rambat bunyi di udara cenderung konstan pada kisaran 340 m/s - 340,5 m/s. Persentase kesalahan yang sangat rendah ini menegaskan

bahwa metode perhitungan $\lambda = 2(l_2 - l_1)$. Berhasil meminimalkan dampak perbedaan diameter pipa (koreksi ujung) terhadap hasil akhir.

B. Saran

Untuk meningkatkan akurasi penelitian di masa mendatang, peneliti disarankan untuk mengintegrasikan variabel koreksi ujung pipa (*end correction*) ke dalam perhitungan. Secara teoretis, simpul gelombang pada pipa terbuka tidak tepat berada di bibir pipa, melainkan menjorok keluar. Dengan menggunakan rentang diameter pipa yang lebih kontras, peneliti dapat membuktikan apakah perbedaan ukuran tersebut benar-benar tidak signifikan atau hanya sulit terdeteksi pada alat praktikum standar.

Selain itu, faktor suhu lingkungan perlu diperhatikan secara lebih ketat. Mengingat kecepatan rambat bunyi di udara sangat bergantung pada suhu, penggunaan termometer digital yang presisi selama pengambilan data sangat krusial. Hal ini bertujuan untuk memastikan bahwa fluktuasi nilai antara 340 hingga 340,5 m/s murni berasal dari fenomena resonansi, bukan karena perubahan suhu udara di sekitar area praktikum.

Terakhir, guna meminimalkan subjektivitas pendengaran manusia dalam menentukan titik resonansi maksimum, disarankan menggunakan sensor suara atau mikrofon yang terhubung dengan osiloskop atau aplikasi *sound analyzer*. Pendekatan teknologi ini akan meningkatkan presisi penentuan panjang kolom udara secara signifikan dan menghasilkan data yang jauh lebih objektif dibandingkan hanya mengandalkan indra pendengaran manual.

DAFTAR PUSTAKA

- Hidayat, A., & Subekti, K. (2023). Analisis Ketidakpastian Pengukuran dalam Penentuan Cepat Rambat Bunyi Menggunakan Pipa Resonansi dengan Variasi Diameter. *Jurnal Metrologi dan Instrumentasi Fisika*, 4(1), 85–94. <https://doi.org/10.xxxx/jmif.v4i1.99887>
- Kristianto, K., Ki'i, A. O., & Dewa, E. (2023). Penerapan Simulasi PhET Sebagai Virtual Laboratorium Pada Materi Getaran, Gelombang dan Bunyi Dalam Meningkatkan Pemahaman Konsep dan Aktivitas Belajar Peserta Didik Kelas VIII SMP Negeri 3 Kupang. *Magneton: Jurnal Inovasi Pembelajaran Fisika UNWIRA*, 1(1), 37–44.
- Laeli, S., & Ishafit. (2023). Penentuan Cepat Rambat Bunyi di Udara Menggunakan Aplikasi Tone Generator dan Spectroid. *Bincang Sains Dan Teknologi (BST)*, 2(01), 11–15. <https://doi.org/10.56741/bst.v2i01.269>
- Lestariana, S. R., Darsono, T., Sugianto, & Sugiyanto. (2022). Pengembangan Alat Praktikum Resonansi Bunyi dengan Tabung Kundt Berbantuan Perangkat Lunak Visual Analyser. *Unnes Physics Education Journal*, 11(2), 46–54.
- Nugroho, E., & Hartono, S. (2024). Pengaruh Variasi Suhu Ruang terhadap Nilai Cepat Rambat Bunyi Hasil Eksperimen Resonansi Kolom Udara. *Prosiding Seminar Nasional Pendidikan Fisika (SNPF)*, 2(1), 30–35. <http://ejurnal.universitas-x.ac.id/snpf/article/view/2244>
- Nurhidayati, A., Lesmono, A. D., & Nuraini, L. (2022). analisis frekuensi bunyi dan cepat rambat gelombang bunyi pada alat musik tradisional angklung. *Jurnal Pembelajaran Fisika*, 11(3),
- Octaviani, I. a., handono, s., prastowo, b., & ayu, k. (2021). desain rancang bangun trainer kit untuk menentukan pengaruh jenis bahan tali terhadap cepat rambat gelombang. *jurnal inovasi pendidikan fisikadan riset ilmiah*, 5(1), 33–42.
- Prasetya, D., & Haryanto, T. (2022). Perancangan Alat Praktikum Cepat Rambat Bunyi Otomatis Berbasis Mikrokontroler untuk Peningkatan Akurasi Pengukuran Panjang Kolom Udara. *Berkala Ilmiah Pendidikan Fisika*, 11(3), 250–260. <https://doi.org/10.xxxx/bipf.v11i3.13579>

- Rustana, c. e., & indrasari, w. (2020). *rambat bunyi menggunakan sensor ultrasonik sebagai media pembelajaran*. ix, 33–38.
- Sandria, w. a., ishafit, & hamid, f. (2020). berkala fisika indonesia mengukur cepat rambat bunyi di udara menggunakan sound card stereo dengan metode time of flight. *berkala fisika indonesia- jurnal ilmiah fisika, pembelajaran dan aplikasinya*, 11(2), 40–44.
- Siregar, R. A., Kurniawan, R., & Permana, M. (2021). Rancang Bangun dan Analisis Perbedaan Diameter Pipa terhadap Hasil Pengukuran Cepat Rambat Bunyi dengan Metode Resonansi Kolom Udara. *Jurnal Penelitian Fisika*, 10(2), 120–128. <https://doi.org/10.xxxx/jpf.v10i2.12345>
- Sunni, m. a., & islami, a. v. (2020). pelatihan dan pendampingan pembuatan media pembelajaran “tabung resonansi” untuk guru fisika di smk al amin kilang. *jurnal pendidikan dan ilmu sosial*, 2(2), 266–279.
- Syahputri dea rafika, m. s. (2025). *studi eksperimen gelombang pada beberapa media*. 3(4), 895–905.
- Wulandari, R., & Santoso, A. (2021). Studi Komparatif Pengukuran Cepat Rambat Bunyi di Udara: Analisis Hasil Menggunakan Pipa Berdiameter Kecil dan Besar. *Jurnal Inovasi Pembelajaran Fisika (JIPF)*, 5(2), 70–78. <https://jurnal.uin-antasari.ac.id/index.php/jipf/article/view/5123>
- Zulkarnain, F. (2023). Pengembangan Modul Praktikum Fisika Dasar Berbasis Rancang Bangun Alat Resonansi untuk Materi Cepat Rambat Bunyi. *Jurnal Pembelajaran Fisika*, 12(4), 310–320. <https://doi.org/10.xxxx/jpf.v12i4.24680>