



Pengembangan Alat Praktikum Resonansi Bunyi dengan Tabung Kundt Berbantuan Perangkat Lunak *Visual Analyser*

Sintya Rina Lestariana✉, Teguh Darsono, Sugianto, Sugiyanto

Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang, Indonesia
 Gedung D7 Lt. 2, Kampus Sekaran Gunungpati, Semarang 50229

Info Artikel

Sejarah Artikel:

Diterima Agustus 2022

Disetujui Bulan September 2022

Dipublikasikan September 2022

Keywords:

Resonance, Kundt's tube, Visual Analyser, Speed of sound

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan perangkat praktikum resonansi bunyi berbasis tabung Kundt berbantuan perangkat lunak *Visual Analyser (VA)*. *VA* merupakan perangkat lunak berbasis windows yang dapat diunduh secara bebas. Kelebihan *VA* yaitu dapat membangkitkan beberapa jenis gelombang dan dapat digunakan untuk mengkonfigurasi parameter-parameter gelombang yang terkait. Perangkat praktikum yang dikembangkan menggunakan sebuah tabung berdiameter 2,5 cm dari bahan akrilik dengan panjang 1 meter digunakan sebagai kolom resonator, speaker berdiameter 5 cm dengan daya 20 W diletakkan pada salah satu ujung kolom resonator yang terbuka. Speaker ini berfungsi sebagai pengubah gelombang listrik yang dibangkitkan *VA* menjadi gelombang bunyi. Pada ujung kolom resonator yang lain diletakkan piston yang dapat digerakkan mendekati atau menjauhi sumber bunyi, piston berfungsi sebagai pemantul ujung tetap. Piston dilengkapi dengan mikrofon untuk mendeteksi gejala-gejala resonansi. Butiran-butiran styrofoam berdiameter $\pm 0,5$ mm disebarkan di dalam tabung resonator untuk memvisualisasikan gejala-gejala gelombang seperti rapatan dan regangan, simpul dan perut. Gejala-gejala resonansi dapat dideteksi dengan baik. Hal ini dapat dilakukan dengan cara mengamati bentuk gelombang yang diterima oleh mikrofon yang ditampilkan oleh jendela *scope* pada *VA*. Kemunculan frekuensi harmonik dengan orde yang lebih tinggi saat terjadi resonansi dapat diamati dengan jelas pada tampilan jendela *spectrum VA*. Hubungan antara panjang gelombang (λ) dan periode gelombang (T) yang digunakan pada saat eksperimen adalah linier dengan persamaan $\lambda = 347,1T - 0,021$ dengan koefisien determinasi sebesar 0,999. Hasil percobaan menentukan cepat rambat bunyi di dalam kolom udara pada temperatur ruang 22°C diperoleh nilai cepat rambat bunyi sebesar $(347,1 \pm 3,83)$ m/s, dengan kesalahan relatif dan kesalahan mutlak masing-masing sebesar 1,1% dan 0,67%.

Abstract

This research aims to develop a sound resonance practicum tool based on Kundt tube assisted by Visual Analyzer (VA) software. VA is a windows based software and can be downloaded free from the internet. VA has the advantage of being able to generate several types of electrical waves and can be used to control parameters related to the relevant waves. A tube with a diameter of 2.5 cm from acrylic material with a length of 1 meter is used as a resonator column. The speaker is 5 cm in diameter and 20 W of power is placed at one end of the open column of the resonator. Speaker with a diameter of 5 cm in diameter and a power of 20 W is placed at one end of the open column of the resonator, which functions to change the electric waves generated by VA into sound waves. At the other end of the resonator column is placed a piston that can be moved closer to or away from the sound source, and this piston functions as a reflecting wave at the fixed end. The piston is equipped with a microphone to detect the phenomenon of sound resonance. Styrofoam beads ± 0.5 mm in diameter are distributed in the resonator column to visualize wave phenomena such as compressions, rarefactions, nodes and antinodes. The sound resonance phenomenon can be detected using a microphone and observing the waveform displayed in the scope window on the VA. The appearance of harmonic frequencies at a higher-order at the time of resonance can be seen by observing the frequency spectrum patterns displayed in the spectrum window of VA. The experimental result shows a linear relationship between the wavelength (λ) and the wave period (T) used during the experiment with the equation and the coefficient of determination are $\lambda = 347.1T - 0.02$ and 0.999, respectively. The result of the calculation of the speed of sound propagation in the resonator tube at 22°C was obtained (347.1 ± 3.83) m/s, with relative error and absolute error are 1.1% and 0.67% respectively.

PENDAHULUAN

Pemahaman mahasiswa mengenai konsep gelombang terutama gelombang bunyi yang termasuk gelombang longitudinal masih sangat rendah dikarenakan konsep gelombang merupakan konsep yang abstrak, namun gejala-gejala yang diakibatkannya dapat diamati. Konsep gelombang lebih mudah dipahami mahasiswa melalui kegiatan praktikum, hal ini dikarenakan mahasiswa mendapatkan pengalaman langsung dalam pembelajaran dan pembentukan konsep (Lutfiyah, *et al.*, 2017). Salah satu kegiatan praktikum gelombang bunyi yang dilakukan oleh mahasiswa adalah resonansi bunyi. Praktikum resonansi gelombang bunyi dapat dilakukan dengan menggunakan kolom resonansi atau pipa organa. Pada praktikum gelombang bunyi menggunakan kolom resonansi, mahasiswa masih mengalami kesulitan menentukan besaran-besaran fisis yang terlibat. Sebagai contoh sederhana mahasiswa tidak dapat menentukan letak simpul dan perut, atau rapatan dan regangan gelombang bunyi karena tidak dapat diamati secara langsung (Nursulistiyo, 2017). Kendala ini dapat diselesaikan dengan dikembangkanya *Kundt's Tube* atau tabung Kundt. Butiran-butiran serbuk gabus yang dimasukkan ke dalam tabung Kundt transparan dapat memvisualisasikan gejala-gejala gelombang bunyi (Moldenhauer & Stratmann, 2009; Macho-stadler & Elejalde-garcia, 2018). Alat ini dapat membantu memvisualisasi peristiwa resonansi yang terjadi pada kolom udara, sehingga dapat ditunjukkan bagian mana yang merupakan simpul dan perut serta rapatan dan regangan.

Perkembangan dunia pendidikan mendorong banyaknya tenaga pendidik untuk berinovasi menghasilkan media pembelajaran yang dapat menunjang pemahaman konsep peserta didik. Terdapat banyak perangkat lunak yang diciptakan untuk membantu menjelaskan konsep kepada mahasiswa. Perangkat lunak yang dapat digunakan untuk membantu proses pembelajaran gelombang salah satunya adalah *visual analyser (VA)*. Keuntungan dari

penggunaan perangkat lunak tersebut antara lain adalah dapat diunduh secara bebas dari internet, tak berbayar, dan mudah dioperasikan. Fitur utama yang ada pada VA adalah dapat digunakan untuk menghasilkan sumber gelombang yang parameter dasar seperti frekuensi, jenis fungsi gelombang, fase, maupun amplitudonya dapat diatur secara langsung dengan mengganti angka sesuai dengan kebutuhan. Beberapa fitur kelebihanannya dibandingkan perangkat lunak yang lain adalah mampu memvisualisasikan gejala-gejala gelombang yang diamati serta dapat mengekstrak data kuantitatif dari besaran-besaran fisis yang terkait. Besaran-besaran kuantitatif tersebut dapat digunakan untuk menganalisis. Perangkat lunak ini dapat digunakan untuk menghasilkan sumber gelombang dengan frekuensi tertentu dan secara bersamaan dapat menampilkan bentuk sinyal gelombang. Penggunaan perangkat lunak VA adalah salah satu solusi yang dapat digunakan untuk menyelesaikan permasalahan yang terkait dengan memahami gejala-gejala gelombang terutama gelombang bunyi (Kadri, *et al.*, 2013).

Resonansi gelombang bunyi pada tabung Kundt terjadi ketika panjang gelombang dan panjang pipa sesuai sedemikian sehingga terdapat superposisi antara gelombang datang yang dihasilkan oleh sumber bunyi dan gelombang pantul yang menjalar berlawanan dengan arah gelombang datang, superposisi ini membentuk pola-pola gelombang stasioner yang memiliki perut dan simpul gelombang. Selain perut dan simpul, rapatan dan regangan molekul udara terdapat di sepanjang kolom resonansi. Rapatan menunjukkan densitas molekul udara rendah yang mengakibatkan tekanan udara meningkat, sedangkan regangan menunjukkan densitas molekul udara tinggi yang mengakibatkan tekanan udara menurun. Sehingga titik perut untuk simpangan gelombang merupakan titik simpul untuk tekanan udara, dan titik simpul simpangan gelombang merupakan titik puncak dari tekanan udara (Kadri, *et al.*, 2013).

Tabung resonansi yang digunakan adalah tabung dengan salah satu ujung tertutup. Resonansi gelombang bunyi terjadi ketika panjang kolom udara di

dalam tabung adalah kelipatan ganjil dari panjang gelombang dibagi empat atau secara matematis:

$$\lambda = \frac{4L}{n}, n = 1, 3, 5, \dots \quad (1)$$

Bilangan n adalah resonansi ke n (atau harmonik ke n). L merupakan panjang kolom udara, dan λ adalah panjang gelombang.

Melalui VA, frekuensi resonansi dapat ditentukan dan diatur. Jika panjang gelombang saat resonansi diketahui, maka cepat rambat bunyi di udara dapat ditentukan dengan:

$$v = \lambda f \quad (2)$$

v merupakan cepat rambat gelombang bunyi di udara dan f adalah frekuensi.

Secara akustik, letak perut gelombang pada ujung terbuka tabung resonansi berbentuk silindris berada sedikit di luar mulut tabung, sehingga perlu dicantumkan koreksi yang dipengaruhi oleh jari-jari tabung (Hellesund, 2019). Koreksi panjang tabung ini dinyatakan oleh persamaan berikut (Setiawan, 2013; Utami, *et al.*, 2014):

$$f = \frac{nv}{4(L + \frac{4}{3\pi}r)} \quad (3)$$

r adalah jari-jari dalam tabung silinder.

Pada kondisi temperatur ruang dan tekanan atmosfer, udara dapat dianggap sebagai gas ideal untuk kepentingan eksperimen (Hellesund, 2019), sehingga kecepatan gelombang bunyi di udara dapat ditentukan dengan persamaan:

$$v_T = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}} \quad (4)$$

dimana γ adalah koefisien adiabatik udara, R adalah konstanta gas molar, T adalah

temperatur udara dalam satuan Kelvin, dan M adalah massa molar.

METODE

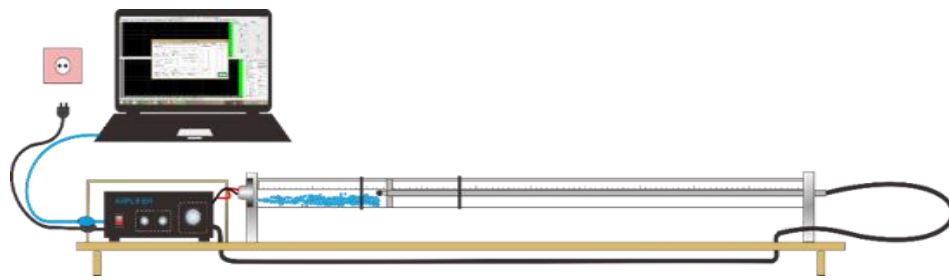
Penelitian ini merupakan penelitian pengembangan yang bertujuan untuk menghasilkan produk perangkat praktikum resonansi bunyi dengan tabung Kundt berbantuan VA. Peneliti mengadaptasi metode penelitian *Research and Development (R&D)* dengan pendekatan *ADDIE (Analysis, Design, Development, Implementation, Evaluation)* yang dikembangkan oleh Robert Maribe Branch (2009).

Analisis

Pada tahap ini, peneliti menganalisis kebutuhan pengembangan melalui observasi awal. Peneliti melakukan studi pustaka untuk mengumpulkan informasi terkait dengan pengembangan perangkat praktikum resonansi bunyi. Selain itu, peneliti melakukan survei lapangan untuk mengetahui kondisi perangkat praktikum (alat praktikum dan modul praktikum) resonansi bunyi. Hasil observasi awal pada mahasiswa tersebut digunakan untuk mengetahui pengembangan apa yang perlu dilakukan pada perangkat praktikum resonansi bunyi.

Desain

Tahap perencanaan yang dilakukan oleh peneliti adalah merancang pengembangan alat praktikum resonansi bunyi. Berdasarkan dari analisis, alat yang dikembangkan membutuhkan komponen utama berupa tabung resonansi, speaker, amplifier, piston, mikrofon, *styrofoam beads*, dan komputer untuk menginstal perangkat lunak VA. Desain alat ditunjukkan pada gambar 1.

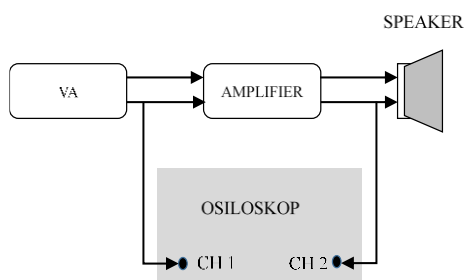


Gambar 1. Desain perangkat praktikum yang dikembangkan (a)

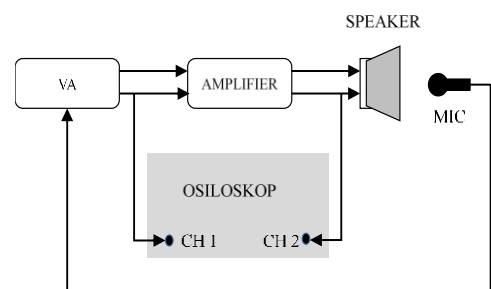
Pengembangan

Pada tahap ini, peneliti membuat perangkat praktikum resonansi bunyi yang terdiri dari alat praktikum resonansi dan modul pratikum yang berbasis inkuiri terbimbing. Perangkat praktikum yang sudah dibuat, kemudian diuji kalibrasi. Uji

kalibrasi alat praktikum resonansi bunyi dengan tabung Kundt berbantuan VA dilakukan dengan membandingkan frekuensi hasil pengukuran yang ditampilkan oleh VA, dan Osiloskop. Diagram rangkaian uji kalibrasi dapat dilihat pada gambar 2. Selanjutnya produk akan diimplementasikan pada mahasiswa responden.



(a)



(b)

Gambar 2. (a) Kalibrasi frekuensi keluaran VA dan frekuensi keluaran Amplifier; (b) Kalibrasi frekuensi keluaran speaker dan frekuensi keluaran mikrofon

Implementasi

Pada tahap implementasi, produk pengembangan yang sudah diuji skala kecil selanjutnya diuji dalam skala besar, yaitu pada sampel mahasiswa Fisika yang sudah pernah melakukan praktikum resonansi bunyi.

Evaluasi

Tahap ini, peneliti melakukan evaluasi yaitu menganalisis data dan menyusun hasil penelitian terhadap perangkat praktikum resonansi bunyi yang dikembangkan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

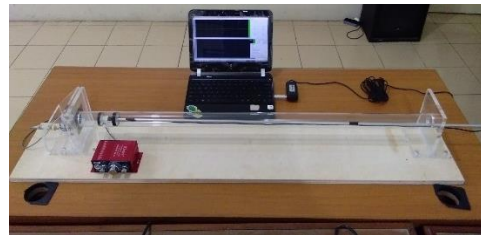
Hasil dari penelitian ini berupa produk alat praktikum resonansi bunyi dengan tabung Kundt beserta modul praktikumnya. Alat ini dapat digunakan untuk menghasilkan data-data kuantitatif dari besaran-besaran gelombang, seperti panjang gelombang, periode, dan frekuensi yang dapat dihitung dari grafik yang tampak pada VA maupun secara langsung melalui pengamatan. VA memungkinkan alat tersebut mampu dioperasikan dengan mengatur frekuensi keluaran melalui *waveform generator* dan menampilkan grafik melalui *scope window* serta menampilkan spektrum melalui *spectrum*

window. *Scope window* dapat menampilkan grafik sinyal masukan dan keluaran secara bersamaan, dan grafik tersebut dapat di tangkap melalui tombol *capture scope* dan dapat diekstrak menjadi data kuantitatif dengan format teks.

Susunan Perangkat Praktikum

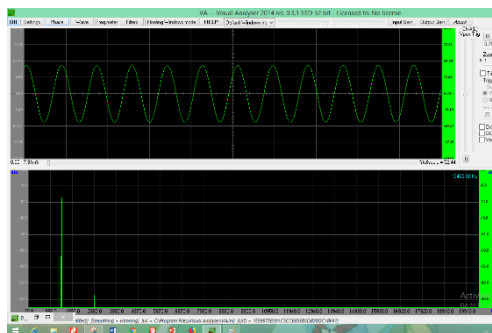
Susunan perangkat praktikum dapat dilihat di gambar 3. Tabung resonansi berbahan akrilik transparan berfungsi untuk mengisolasi udara dan memungkinkan praktikan mengamati fenomena yang terjadi di dalam tabung ketika diberi perlakuan khusus. Tabung berbahan akrilik dipilih karena sifatnya yang kuat dan transparan sehingga peneliti dapat mengamati peristiwa apa saja yang terjadi di dalam tabung ketika resonansi bunyi terjadi. Diameter dalam tabung akrilik yang digunakan adalah 21 mm dan diameter luar tabung akrilik yang digunakan adalah 24 mm. Panjang tabung resonansi ini adalah 1 m. *Speaker* yang digunakan adalah *speaker* LG dengan daya 20 Watt. *Speaker* ini dipilih berdasarkan pertimbangan diameter tabung. Piston terbuat dari bahan akrilik dengan diameter yang disesuaikan dengan diameter dalam tabung akrilik, kemudian piston disambungkan dengan *microphone* dan batang aluminium berongga berdiameter 8 mm. Kabel *microphone* diisolasi pada batang aluminium tersebut.

Ruang-ruang di sekitar piston diisolasi dan bagian tepi piston dilapisi kain beludru agar piston lebih mudah dipindahkan dan memperkecil gesekan antara piston dan tabung akrilik ketika berada di dalam tabung akrilik.

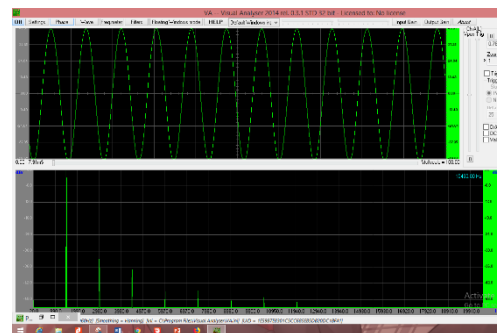


Gambar 3. Susunan perangkat praktikum resonansi bunyi dengan Tabung Kundt berbantuan perangkat lunak Visual Analyser

Peristiwa resonansi bunyi dapat dideteksi dengan mudah melalui VA, di jendela *scope* amplitudo akan terus meningkat ketika *mic* mendekati titik resonansi, dan nilai amplitudo maksimal ini dapat dilihat dengan jelas. Selain itu, resonansi bunyi ditandai dengan munculnya frekuensi harmonik yang tampak pada jendela *spectrum analyzer*. Tampilan jendela *scope* dan jendela *spectrum analyzer* sebelum dan saat terjadi resonansi ditunjukkan pada gambar 4.



(a)



(b)

Gambar 4. (a) Tangkapan layar VA sebelum terjadi resonansi bunyi; (b) Tangkapan layar VA saat terjadi resonansi bunyi

Perangkat praktikum resonansi bunyi dengan Tabung Kundt berbantuan VA dapat digunakan untuk menghitung kecepatan rambat gelombang bunyi di

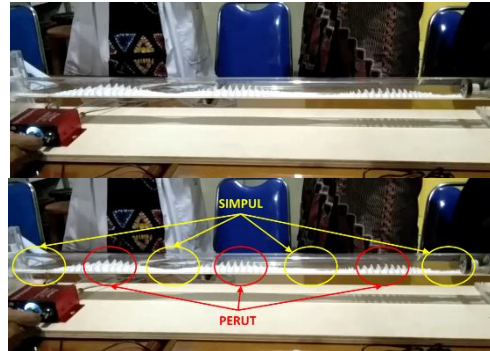
udara. Keunggulan alat praktikum ini adalah mampu memvisualisasikan bentuk rapatan dan regangan gelombang bunyi di udara melalui butiran styrofoam (*microbeads*) akibat sumber getaran dari

speaker. Selain itu alat ini mampu menunjukkan pola-pola perut dan simpul gelombang tekanan yang dapat dilihat dari *microbeads* ketika terjadi peristiwa resonansi gelombang bunyi di udara.

Pola-Pola Gelombang Stasioner

Pola-pola gelombang stasioner yang terbentuk ketika peristiwa resonansi bunyi

terjadi ditunjukkan oleh gambar 5. Gelombang bunyi merupakan gelombang longitudinal yang terbentuk karena adanya rapatan dan regangan. Pada praktikum ini, alat yang berperan sebagai sumber bunyi adalah *speaker*. Getaran pada membran *speaker* menghasilkan rapatan dan regangan yang diteruskan pada udara di dekat *speaker*.

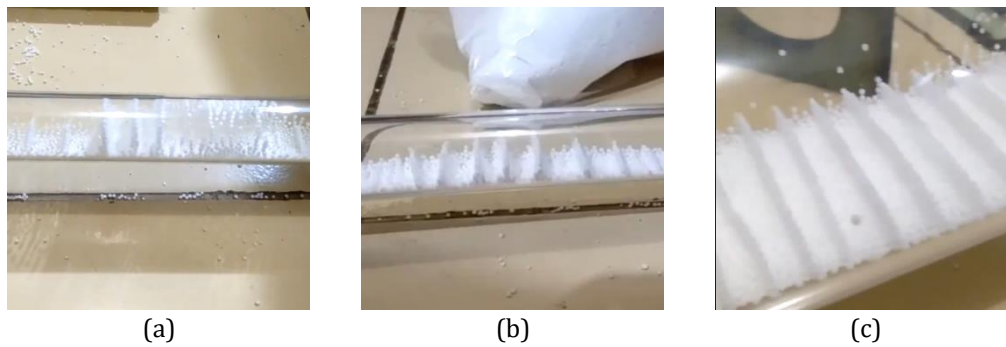


Gambar 5. Pola gelombang stasioner yang tampak ketika terjadi resonansi bunyi

Variasi diameter pipa akrilik yang digunakan menampilkan interaksi *styrofoam beads* yang berbeda-beda. Variasi pertama, pipa akrilik yang memiliki diameter dalam 2 cm. *Styrofoam beads* pada pipa akrilik pertama mampu mengisi hampir seluruh luas penampang pipa, tetapi *styrofoam beads* terus bergetar sehingga menyebabkan efek elektrostatis antara pipa akrilik dan styrofoam lebih besar dan terdapat beberapa *beads* yang masih menempel ketika *speaker* dimatikan. Variasi kedua, pipa akrilik yang memiliki diameter dalam 3,6 cm. *Styrofoam beads* dapat menunjukkan pola gelombang stasioner yang terdiri dari perut dan simpul.

Pola yang ditunjukkan ini lebih jelas batasnya dibandingkan dengan variasi pertama. Efek elektrostatis antara *beads*

dengan pipa tidak sebesar variasi pertama. Variasi ketiga, dengan diameter dalam pipa akrilik 5,4 cm. *Styrofoam beads* membutuhkan waktu yang lebih lama untuk bergetar dan berpindah dalam membentuk pola gelombang stasioner. Riak yang terbentuk dapat diamati dengan jelas. Secara lengkap perbandingan variasi diameter pipa akrilik ditunjukkan pada gambar 6.



Gambar 6. Variasi diameter pipa akrilik untuk mengamati *styrofoam beads*

(a) pipa berdiameter 2cm; (b) pipa berdiameter 3,6 cm; (c) Pipa berdiameter 5,4 cm

Riak yang dibentuk di bagian simpul berbeda dengan riak yang dibentuk di bagian perut. Riak pada bagian perut memiliki jarak yang lebih lebar daripada riak yang terbentuk di bagian simpul. Hasil ini sesuai dengan pernyataan Moldenhauer & Stratmann (2009). Styrofoam beads akan lebih mudah bergetar ketika amplitudo gelombang tinggi. Semakin tinggi amplitudo gelombang, styrofoam beads

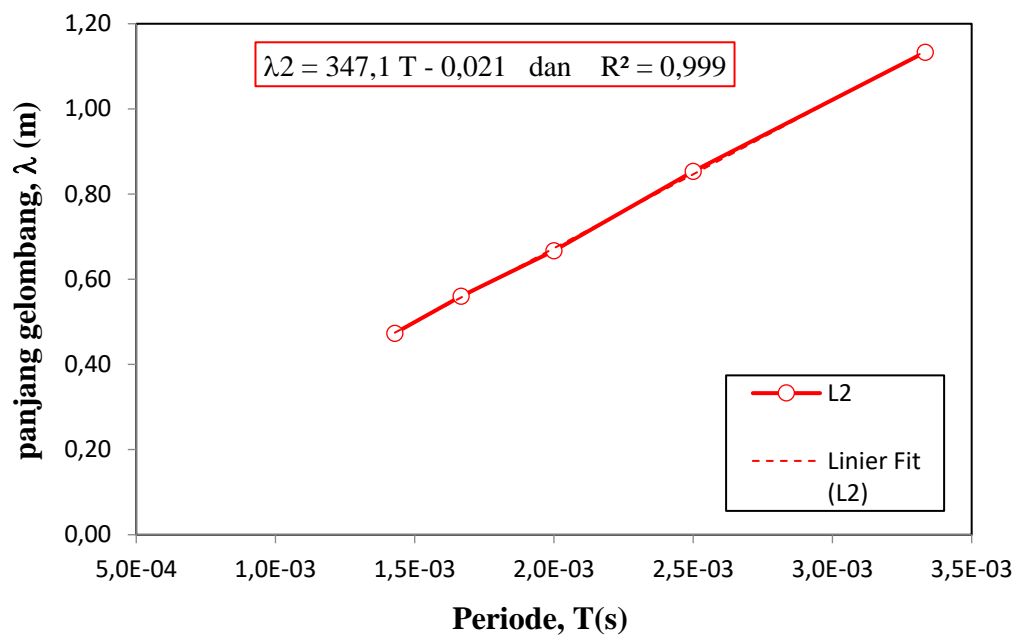
bergetar lebih cepat, namun ada efek elektrostatis yang muncul di antara styrofoam beads dengan pipa akrilik sehingga terdapat beberapa styrofoam beads yang akan menempel setelah sumber gelombang dimatikan.

Cepat Rambat Gelombang Bunyi di Udara

Perangkat praktikum resonansi bunyi dengan Tabung Kundt berbantuan VA dapat digunakan untuk menghitung cepat rambat gelombang bunyi di udara. Frekuensi dapat diketahui dari VA, dengan

menentukan besarnya pada jendela *waveform generator*. Setelah menentukan frekuensi, langkah selanjutnya adalah mencari panjang gelombang bunyi saat terjadi resonansi. Dengan memindahkan piston yang dipasang mic, letak resonansi dapat dideteksi secara langsung melalui jendela *scope* dan jendela *spektrum analyzer*. Kelebihan penggunaan VA dalam praktikum ini, VA mampu digunakan untuk mendeteksi peristiwa resonansi dengan amplitudo sumber gelombang bunyi yang kecil. Selain itu, data resonansi ke n bisa diperoleh dengan mudah hanya dengan memindahkan piston hingga ditemukan resonansi selanjutnya.

Hubungan antara panjang gelombang (λ) dan periode gelombang (T) yang digunakan pada saat eksperimen adalah linier dengan persamaan $\lambda = 347,1T - 0,021$ dengan koefisien determinasi sebesar 0,999 ditunjukkan pada gambar 7. Hasil percobaan menentukan cepat rambat bunyi di dalam kolom udara pada temperatur ruang 22°C diperoleh nilai cepat rambat bunyi sebesar $(347,1 \pm 3,83)$ m/s, dengan kesalahan relatif dan kesalahan mutlak masing-masing sebesar 1,1% dan 0,67%.



Gambar 7. Grafik hubungan panjang gelombang terhadap periode

SIMPULAN

Perangkat praktikum resonansi bunyi dengan tabung Kundt berbantuan VA memiliki kelebihan-kelebihan, diantaranya dapat menghasilkan data kuantitatif untuk memahami resonansi bunyi, dan dapat menghasilkan data kualitatif berupa bentuk pola gelombang stasioner ketika terjadi resonansi bunyi, kekurangan perangkat praktikum yang dikembangkan adalah terjadinya efek elektrostatis antara *styrofoam beads* dan pipa akrilik, namun hal ini tidak terlalu berpengaruh di dalam praktikum.

Perangkat lunak visual analyser sangat praktis dan bagus dimanfaatkan untuk eksperimen dan dieksplorasi penggunaannya, terutama untuk kepentingan perkembangan ilmu pengetahuan.

DAFTAR PUSTAKA

Hellesund, S., 2019. Measuring the speed of sound in air using a smartphone and a cardboard tube. *Physics Education*, 035015(54), pp. 1-5.

Kadri, S., Jaafar, R., Adli, W. Z. & Nazihah, A., 2013. Physics demonstration of sound waves using Visual Analyser. *Latin-American Journal of Physics Education*, 7(1), pp. 10-15.

Lutfiyah, A. et al., 2017. Correction factors in determining speed of sound among freshmen in undergraduate physics laboratory. Surabaya, Seminar Nasional Fisika (SNF) 2017.

Macho-stadler, E. & Elejalde-garcia, M. J., 2018. Experiments with Kundt's tube. Bilbao, GIREP-MTPL 2018.

Moldenhauer, J. & Stratmann, K., 2009. Dust Figures in Kundt's Tube – Investigations on the Formation of Ripples, Oldenburg: Universität Oldenburg, Institut für Physik - Akustik.

Nursulistiyo, E., 2017. Design and development of multipurpose Kundt's tube as physics learning media. Yogyakarta, International Conference on Mathematics, Science and Education 2017 (ICMSE2017).

Setiawan, I., 2013. Pengaruh Dimensi Resonator Silindris terhadap Kinerja

Suatu Pendingin Termoakustik,
Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.

Utami, M. S. N., Arif, N. R. & Yulianto, A.,
2014. Pengaruh Frekuensi Resonansi
Terhadap Penurunan Suhu Pada Sistem
Termoklastik Sederhana. Jurnal Fisika,
4(2), pp. 101-104.