

## Studi Awal Sonifikasi Pada Data Gerak Parabola Berbantuan Arduino Uno R3 Atmega328

Riza Hayuningtias<sup>1</sup>, Yudhiakto Pramudya<sup>2\*</sup>

<sup>1,2</sup>Universitas Ahmad Dahlan Yogyakarta 55161, Indonesia

<sup>1</sup>Madrasah Aliyah Negeri 1, Cilacap 53271, Indonesia

\*E-mail: yudhiakto.pramudya@pfis.uad.ac.id

### Abstrak

Gerak parabola merupakan fenomena khas dalam mekanika klasik. Siswa dapat memahami konsep dengan membaca data dalam bentuk fungsi parabola. Namun, sumber belajar untuk siswa tunanetra belum banyak tersedia. Salah satu solusinya dengan mengembangkan eksperimen dengan metode sonifikasi. Telah dilakukan penelitian untuk menganalisis nilai ketepatan frekuensi yang dihasilkan oleh speaker dalam pengkonversian data dan menganalisis pengaruh variasi sudut elevasi terhadap perubahan frekuensi yang dihasilkan. Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen. Proses pengambilan data dilakukan dengan menganalisis persentase ketepatan menggunakan teknik rata-rata dari data yang terekam oleh perangkat lunak Phyphox. Analisis data perangkat lunak Phyphox ini dibandingkan dengan data yang diperoleh dari perangkat lunak Tracker. Dari hasil analisis data diperoleh nilai persentase kecepatan untuk sudut  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ , dan  $70^\circ$  berturut-turut adalah 99,92%, 99,67%, dan 98,42%. Oleh karena itu, dapat dikatakan bahwa studi awal sonifikasi layak digunakan dalam percobaan fisika pada materi gerak parabola, khususnya untuk siswa tunanetra. Hasil plotting akhir dari penelitian ini menunjukkan bahwa frekuensi terhadap waktu pada masing-masing sudut menghasilkan grafik yang berbentuk parabola. Sedangkan pengaruh variasi sudut terhadap perubahan frekuensi yaitu apabila semakin besar sudutnya, maka akan semakin lambat untuk mencapai puncak frekuensinya.

**Kata kunci:** Sonifikasi, Tunanetra, Gerak Parabola.

### Abstract

*Parabolic motion is the typical phenomenon in classical mechanics. The students are able to understand the concept by reading the data in the parabolic function. However, there is limited material for visual impaired students to study the parabolic motion data. One of the solutions to overcome this problem is the parabolic motion experiment development using sonification method. Research has been carried out to analyze the accuracy of the frequency produced by the speakers in data conversion assisted by Arduino Uno. The research also analyzes the effect of elevation angle variations on the resulting frequency changes. The data collection process is carried out by analyzing the percentage of accuracy using the average technique of the data recorded by the Phyphox application. The data analysis of the Phyphox application is compared with the data obtained from the Tracker application. From the results of data analysis obtained the percentage value of the velocity for the angle  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ , and  $70^\circ$  were 99.92%, 99.67%, and 98.42%, respectively. Therefore, it can be said that the preliminary sonification study is feasible to be used in physics experiments on parabolic motion learning, especially for visual impaired students. The final plotting result of this research shows that the frequency versus time at each angle produces a graph in the parabolic form. While the effect of angle variations on frequency changes is that the larger the angle, the slower it will reach the peak frequency.*

**Keywords:** Sonification, Visual Impaired, Parabolic Motion.

## PENDAHULUAN

Fisika merupakan salah satu cabang ilmu yang berkontribusi dalam perkembangan

teknologi pada saat ini. Fisika memiliki peranan penting dalam perkembangan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (IPTEK) yang sejalan dengan perkembangan kebutuhan manusia (Irbah & Asrizal, 2019). Salah satunya

yakni dalam bidang eksperimen. Eksperimen merupakan hal penting di dalam fisika, karena fisika merupakan ilmu terapan yang selalu berkaitan dengan gejala-gejala alam yang terjadi di kehidupan sehari-hari atau bahkan terjadi di lingkungan sekitar kita (Komariyah et al., 2018; Putra et al., 2018). Ditinjau dari pengertian fisika, fisika merupakan suatu ilmu pengetahuan eksperimental (Young, 2012).

Salah satu fenomena gerak dalam fisika yang menarik dan banyak ditemui dalam kehidupan sehari-hari adalah gerak parabola. Gerak parabola adalah gerak yang banyak dijadikan sebagai model untuk pembelajaran fisika khususnya kinematika dalam hal penjumlahan kecepatan; dalam hal ini gerak lurus beraturan (GLB) dalam arah horisontal dan gerak lurus berubah beraturan (GLBB) dalam arah vertikal (Purwadi, 2014). Gerak parabola merupakan gerak dalam dua dimensi dari peluru yang dilempar miring ke atas. Kita anggap bahwa gerak ini terjadi dalam ruang hampa, sehingga pengaruh udara pada gerakan peluru dapat diabaikan. Proyektil adalah sebuah objek yang meluncur di udara dan bergerak tidak dengan daya dorongnya sendiri. Gerak sebuah proyektil dipengaruhi oleh suatu percepatan gravitasi  $g$  dengan arah vertikal ke bawah. Pada arah horisontal percepatannya sama dengan nol (Sarjani et al., 2017).

Pentingnya eksperimen gerak parabola adalah untuk memahami berbagai macam konsep-konsep gerak parabola. Data posisi benda terhadap waktu dapat memberikan informasi ketinggian maksimum dan jarak maksimum yang ditempuh. Dalam pemahaman konsep, diperlukan eksplorasi pada pengaruh sudut elevasi terhadap titik tertinggi. Topik kinematika dan fenomena gerak secara umum paling sesuai untuk perangkat lunak *tracker* (Habibulloh & Madlazim, 2014). Salah satu metode yang dapat digunakan yaitu dengan menganalisis video gerak parabola dengan perangkat lunak *tracker*. Perangkat lunak *tracker* akan menganalisis gerak sebuah benda didalam video dengan cara membuat jejak yang mengikuti gerak benda yang ada dalam video tersebut (Fitriyanto, 2016). Perangkat lunak tersebut dapat menghasilkan grafik posisi

terhadap waktu.

Namun, ada beberapa kasus yang mengharuskan pembacaan data dalam bentuk angka atau grafik disajikan dalam bentuk lain. Hal ini akibat adanya keterbatasan dalam proses pembacaan data tersebut. Contoh kasusnya yaitu pada siswa tunanetra yang kurang bisa menggunakan indera visualnya. Sehingga, metode lain digunakan untuk mengubah data angka menjadi bunyi. Metode ini akrab dikenal sebagai sonifikasi. Metode ini sangat bermanfaat karena kemampuannya untuk menggambarkan data ilmiah kepada mereka yang memiliki gangguan penglihatan, terjemahan dari data menjadi audio mengungkapkan perubahan variabel kepada pendengar melalui perubahan dimensi sonik, seperti frekuensi, nada, amplitudo, dan lokasi di bidang stereo (Sawe et al., 2020). Frekuensi dan intensitas bunyi pada metode sonifikasi didesain sedemikian rupa sehingga tidak terjadi miskonsepsi pada pemahaman gerak parabola. Proses pengubahan menggunakan mikrokontroler yang memudahkan konversi data. Pada penelitian ini, dilakukan sonifikasi pada data gerak parabola dengan menggunakan Arduino dan *speaker*. Pada penelitian ini bertujuan untuk menganalisis ketepatan frekuensi yang dihasilkan oleh *speaker* dalam pengkonversian data gerak parabola, serta menganalisis pengaruh variasi sudut elevasi terhadap perubahan frekuensi yang dihasilkan pada data gerak parabola.

## METODE/EKSPERIMEN

Metode penelitian dengan menggunakan metode eksperimen komputasi dengan rentang waktu dari bulan Desember 2020 hingga Januari 2021. Penelitian ini menggunakan peralatan sebagai berikut:

- USB sebagai penghubung antara arduino dengan Laptop.
- Kabel *Jumper* sebagai penghubung antara arduino dengan komponen-komponennya.
- Perangkat lunak *Arduino IDE*, merupakan bagian yang berperan penting untuk mengkonversi data.
- Arduino Uno R3 Atmega328-PU 16U2 DIP Compatible Board*, merupakan *interface microcontroller*. Arduino Uno memiliki 6

kaki analog *input*, kristal osilator dengan kecepatan jam 16 MHz, sebuah koneksi USB, sebuah konektor listrik, sebuah kaki header dari ICSP, dan sebuah tombol reset yang berfungsi untuk mengulang program (Khaleel, 2020).

- e. *Speaker*  $8\Omega$   $0,5W$  sebagai keluaran frekuensi.
- f. Perangkat lunak *Tracker*, merupakan sebagai alat untuk menganalisis data posisi gerak parabola.
- g. Perangkat lunak *Phyphox*, merupakan sebagai alat untuk menangkap data frekuensi yang keluar dari speaker.
- h. Video percobaan Gerak Parabola.
- i. Module *SD Card* sebagai penyimpan file percobaan.

Pengambilan data pada penelitian ini menggunakan konsep pengkonversian sebagai berikut:

Data gerak parabola yang terdapat dalam perangkat lunak tracker khususnya pada sumbu *y*, dikonversi menjadi sebuah frekuensi. Pengkonversian menggunakan interpolasi linear. Interpolasi linear adalah metode pemasangan kurva menggunakan polinomial linear untuk membangun titik data baru dalam rentang kumpulan titik data yang diketahui.

Jika dua titik yang diketahui diberikan oleh koordinat  $(y_0, f_0)$  dan  $(y_1, f_1)$ , interpolasi linear merupakan garis lurus diantara titik-titik ini. Untuk nilai *x* dalam interval  $(y_0, y_1)$ , nilai *y* sepanjang garis lurus diperoleh dari persamaan. Dimana frekuensi tersebut sebanding dengan posisi

$$\frac{f - f_0}{y - y_0} = \frac{f_1 - f_0}{y_1 - y_0} \quad (1)$$

Ini adalah kasus khusus dari interpolasi polinomial dengan  $n = 1$ .

Memecahkan persamaan ini untuk *y*, yang merupakan nilai yang tidak diketahui pada *x*, memberikan

$$f = f_0 + (y - y_0) \frac{f_1 - f_0}{y_1 - y_0} \quad (2)$$

$$f = f_0 + (y - y_0) \frac{\Delta f}{\Delta y}$$

yang merupakan rumus untuk interpolasi linier dalam interval  $(y_0, y_1)$ .

Setelah itu, data frekuensi yang diperoleh dari perangkat lunak *Phyphox* dibandingkan dengan frekuensi sonifikasi. Ketepatan merupakan tingkat kesesuaian atau dekatnya suatu hasil pengukuran terhadap harga sebenarnya. Persentase ketepatan dapat ditentukan dari persamaan :

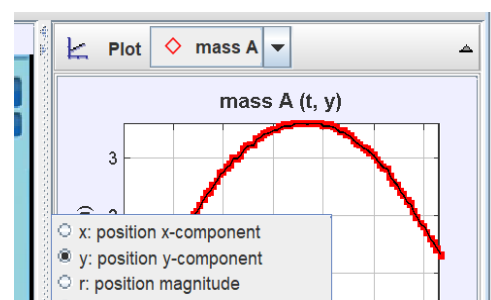
$$\% \text{ketepatan} = 100\% - \left| \frac{f_{\text{pengukuran}} - f_{\text{konversi}}}{f_{\text{pengukuran}}} \times 100\% \right| \quad (3)$$

Dengan  $f_{\text{pengukuran}}$  merupakan data frekuensi yang diperoleh dari *Phyphox*. Sedangkan  $f_{\text{konversi}}$  merupakan data frekuensi yang diperoleh dari *Tracker*.

Penelitian ini mengikuti prosedur penelitian sebagai berikut:

A. Prosedur Penelitian

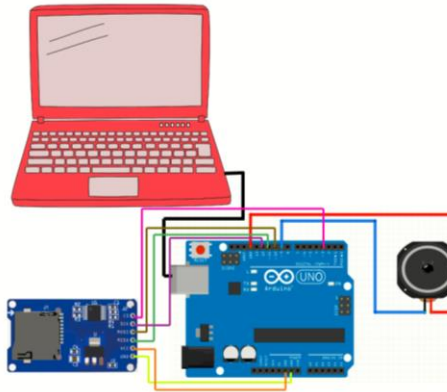
1. Perangkat lunak *Tracker*, *Phyphox* dan *arduino IDE* diinstal terlebih dahulu pada *smartphone* atau laptop.
2. Input video percobaan gerak parabola kemudian track video percobaan gerak parabola dengan menggunakan perangkat lunak tracker yang sudah disediakan hingga menghasilkan data posisi terhadap waktu seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Plot *Tracker* Sumbu *y*

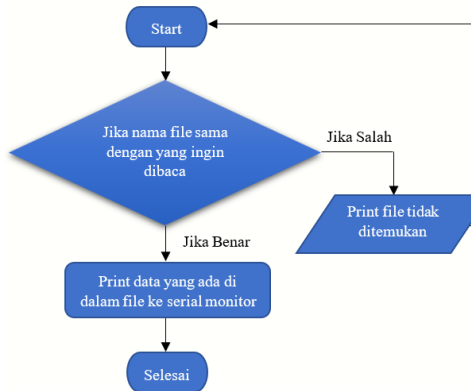
3. Cara Membuat Rangkaian Sonifikasi

- a. Alat dirangkai seperti pada Gambar 2

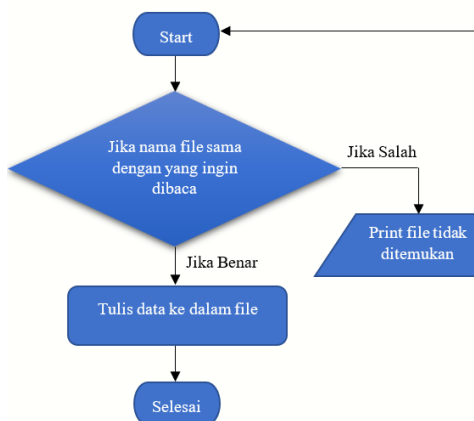


Gambar 2. Rangkaian Sonifikasi

- b. Kemudian dibuat pengkodean *read* dan *write* yang fungsinya agar file yang terdapat pada MicroSD Card Module Pin dapat terbaca dan tertulis. Alur pengkodean *read* dan *write* terdapat pada Gambar 3.

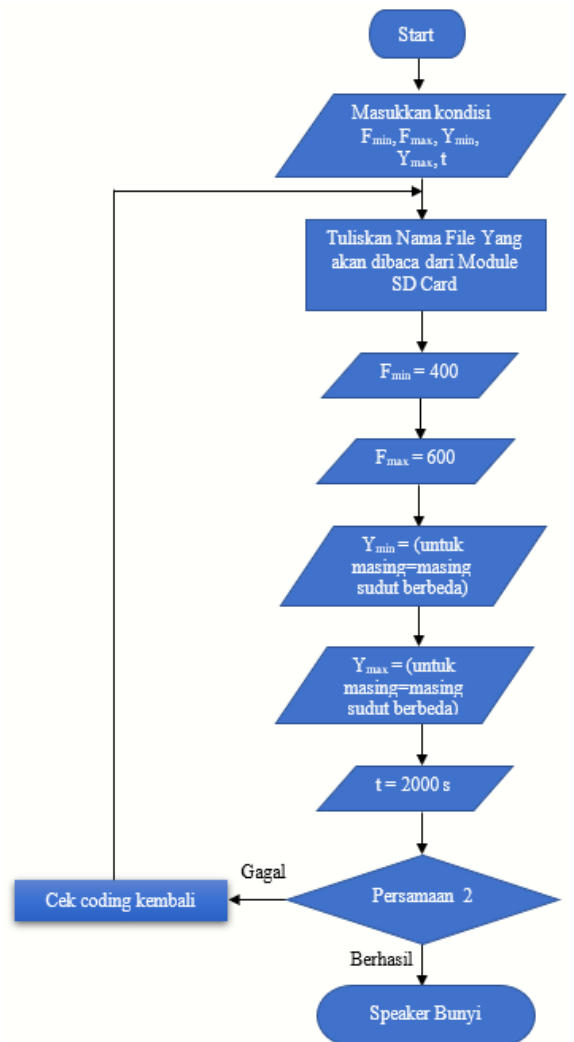


Gambar 3. (a) Alur Pengkodean *Read*



Gambar 3. (b) Alur Pengkodean *Write*

- c. Setelah itu, klik *upload* pada perangkat lunak arduino IDE. Jika sudah berhasil file dapat terbaca, maka langkah berikutnya membuat pengkodean untuk mengkonversi data posisi menjadi sebuah frekuensi. Alur pengkodean konversi data terdapat pada Gambar 4.



Gambar 4. Alur Pengkodean Konversi Data

- d. Terakhir, jika pengkodean pengkonversian data berhasil dijalankan, dan *speaker* berfungsi dengan baik, keluaran frekuensi dari *speaker* ditangkap dengan menggunakan

perangkat lunak *Phyphox* untuk mendapatkan data frekuensi.

4. Dilakukan analisis data sebagai berikut:

a. Analisis variasi data  
 Data variasi sudut dilakukan masing-masing untuk satu kali percobaan.

b. Analisis Data  
 - Data frekuensi yang dihasilkan dari perangkat lunak *Phyphox* terhadap waktu di-plotting.  
 - Data dianalisis untuk memperoleh persentase ketepatan dari masing-masing sudut.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

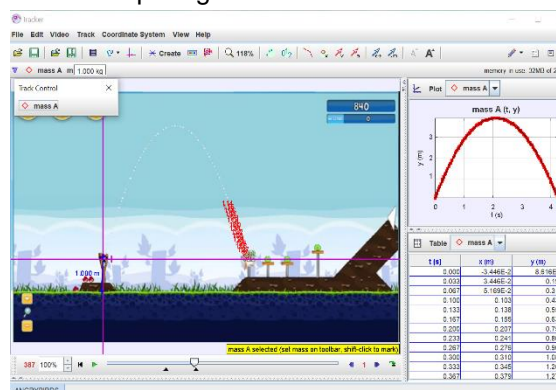
Pada saat ini, penggunaan model pembelajaran konvensional dapat menjadikan siswa kurang berperan aktif dalam proses pembelajaran (Nurseha, 2015). Kegiatan pembelajaran yang cenderung pasif tidak dapat mencapai tujuan pembelajaran yang seharusnya konsisten dengan hakikat sains (Retnaningati & Sugiharto, 2013; E Sulistri, 2016; Emi Sulistri & Nugroho, 2018). Pada proses pembelajaran berlangsung, siswa hanya terfokus pada guru walaupun proses pembelajarannya dilengkapi dengan alat peraga (Rosdianto, 2019).

#### HASIL

Penelitian ini dilakukan dengan pengambilan data pada perangkat lunak *Tracker*, pengkonversian data dari arduino, dan dari perangkat lunak *Phyphox*. Pemanfaatan perangkat *smartphone* dalam kegiatan pembelajaran karena perangkat ini memiliki beberapa fitur unggulan, termasuk mampu mendeteksi dan menghasilkan data dari sensor di dalam *smartphone*, mudah digunakan, menyediakan banyak aplikasi gratis, dan memungkinkan sistem akuisisi data real-time yang dalam penerapannya telah terbukti sangat membantu dalam prosesnya. pembelajaran fisika (Nuryantini, Sawitri, & Nuryadin, 2018). Dalam praktiknya, penggunaan perangkat

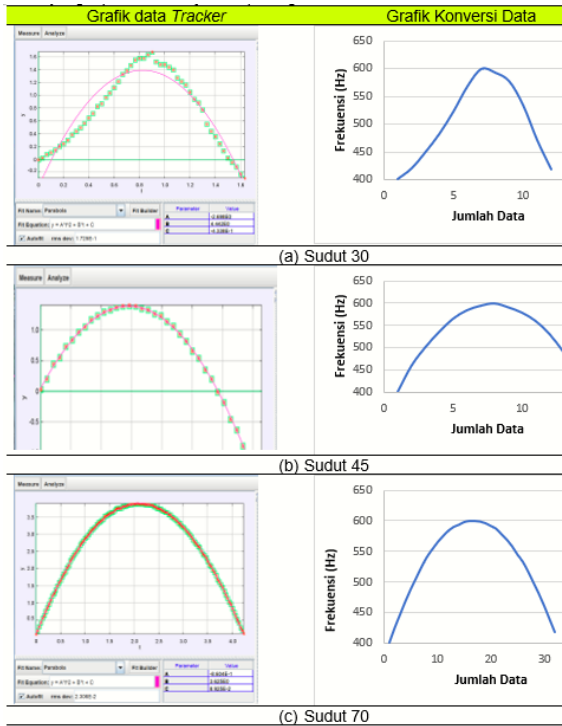
*smartphone* saat belajar tidak bisa berdiri sendiri tetapi membutuhkan perangkat pendukung lainnya. Salah satu aplikasi pendukung yaitu sering digunakan dan telah terbukti dapat diandalkan adalah aplikasi *phyphox* (Staaacks, Hütz, Heinke, & Stampfer, 2018).

Pengambilan data pada perangkat lunak *Tracker* seperti gambar berikut.

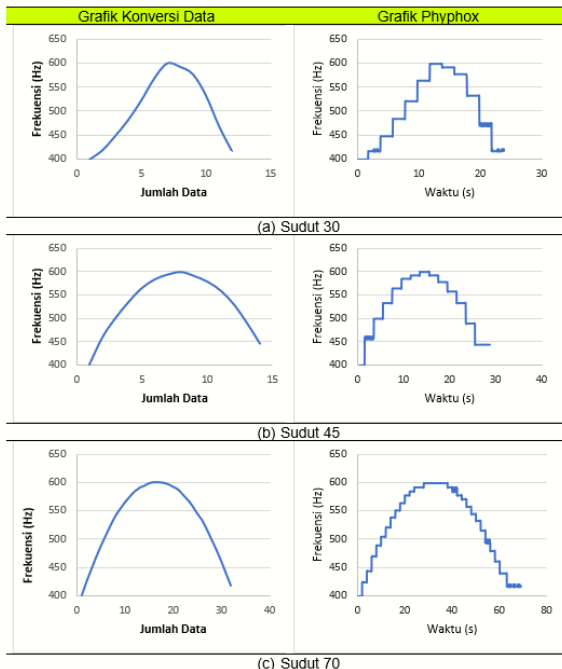


Gambar 5. Percobaan Pengambilan Data Pada *Tracker*

Gambar 5 menunjukkan hasil *tracking* video gerak parabola. Setelah ditracking, maka akan menghasilkan grafik posisi (y) terhadap waktu (t) seperti pada grafik yang berwarna merah. Grafik tersebut akan menghasilkan tren grafik yang sama dengan video percobaan gerak parabola. Kemudian, terdapat tabel data yang dihasilkan pada proses *tracking*, data yang ingin ditampilkan dapat dipilih sesuai dengan yang kita butuhkan dengan cara klik dua kali pada tulisan "*table*". Dalam hal ini peneliti hanya memunculkan data posisi x dan y, terhadap waktu (t). Hasil yang diperoleh ditunjukkan pada gambar berikut:



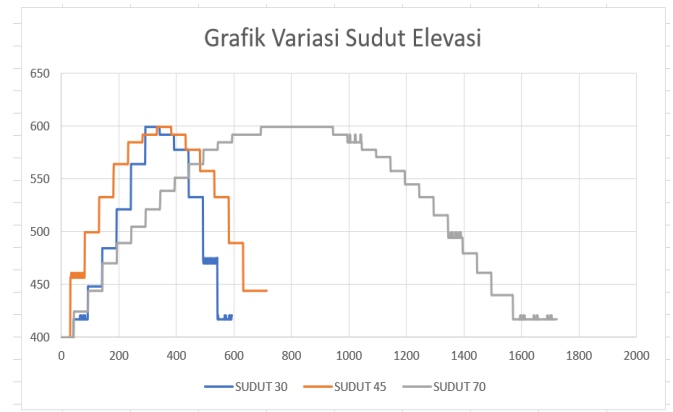
Gambar 6. Grafik Tracker vs Grafik Konversi Data



Gambar 7. Grafik Konversi Data vs Grafik Phyphox

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6 pada grafik Tracker dapat dilihat bahwa hasil konversi arduino menghasilkan grafik parabola yang mirip dengan plotting pada Tracker. Dengan sumbu x merupakan nilai waktu dan pada sumbu y merupakan nilai posisi. Sedangkan pada Gambar 7 dapat dilihat bahwa

hasil rekaman frekuensi pada perangkat lunak Phyphox menghasilkan grafik parabola yang mirip dengan grafik konversi data. Dengan pada sumbu x merupakan nilai waktu dan pada sumbu y merupakan nilai Frekuensi yang ditangkap oleh perangkat lunak Phyphox. Hasil variasi sudut elevasi diperoleh:



Gambar 8. Grafik Variasi Sudut Elevasi

**PEMBAHASAN**

Penelitian mengenai sonifikasi sebelumnya sudah dilakukan oleh para peneliti pada berbagai bidang, yakni astronomi, geofrensi, olahraga, fisika, kedokteran dan lain sebagainya. Seperti penelitian pada bidang kedokteran yang dilakukan oleh Andrea Lorena Aldana Blanco dkk (2019) meneliti tentang CardioScope. CardioScope adalah alat augmentasi sonifikasi/pendengaran yang dimaksudkan untuk mendukung diagnosis dan pemantauan jantung. Hal ini memungkinkan pengguna untuk merekam dan memvisualisasikan sinyal Electrocardiogram (ECG) dan Phonocardiogram (PCG) yang disinkronkan, untuk mensonifikasi aktivitas listrik jantung atau untuk meningkatkan suara yang dihasilkan oleh perilaku mekanisnya. Sebagai langkah pertama menuju augmentasi pendengaran interaktif waktu nyata, penelitian ini mengusulkan metode augmentasi pendengaran menggunakan modulasi amplitudo yang memungkinkan pengguna untuk menonjolkan segmen tertentu dari suara jantung untuk membuat sinyal patologis dari suara jantung lebih menonjol.

Sedangkan pada penelitian ini dilakukan studi awal sonifikasi pada bidang fisika untuk siswa tunanetra. Berdasarkan analisis yang telah dilakukan secara grafik maupun dari

frekuensi yang terdengar pada *speaker*, telah memberikan hasil penelitian yang sesuai dengan tujuan penelitian. Adapun hasil penelitian yang diperoleh yaitu pengaruh variasi sudut elevasi terhadap perubahan frekuensi dan persentase nilai ketepatan frekuensi yang dihasilkan oleh *speaker* dalam pengkonversian data gerak parabola.

Berdasarkan Gambar 8, peneliti menggunakan 3 variasi sudut elevasi, yakni pada sudut 30°, 45°, dan 70°. Sudut tersebut dipilih bukan berdasarkan pemilihan sudut istimewa. Akan tetapi berdasarkan variasi jarak jatuhnya benda yang berbeda-beda. Sebelumnya peneliti sudah menguji coba terlebih dahulu pada percobaan phet colorado, setelah diamati ternyata pada sudut 30° dan 60° mempunyai jarak jatuh di titik yang sama. Sedangkan pada sudut 30°, 45°, dan 70°. mempunyai titik jatuh benda yang berbeda-beda. Hasil *plotting* menunjukkan bahwa frekuensi terhadap waktu pada masing-masing sudut menghasilkan grafik yang berbentuk parabola. Hal ini dikarenakan saat pengkonversian data dilakukan dalam waktu yang cepat di sepanjang jalur frekuensi, maka efek dari sonifikasi yang dihasilkan oleh grafik juga akan mirip dengan grafik awal sebelum dikonversi.

Selanjutnya pengujian pada variasi sudut yang digunakan juga memiliki pengaruh terhadap perubahan frekuensi yang dihasilkan. Apabila dilihat dari grafik dan frekuensi yang terdengar dari *speaker*, diperoleh hasil apabila semakin besar sudutnya, maka akan semakin lambat untuk mencapai puncak frekuensinya. Selain itu, jumlah data yang diperoleh dari masing-masing sudut pun berbeda-beda. Dikarenakan posisi benda ketika diplot pada perangkat lunak *tracker* juga berbeda-beda untuk setiap sudutnya. Hal tersebut juga dapat berpengaruh kepada data keluarannya. Apabila jumlah data sedikit, pengguna dapat mendengarkan lebih detail. Begitu pula sebaliknya, apabila jumlah data bertambah banyak, data seringkali terlalu panjang untuk menyajikan data keluaran frekuensi, akan tetapi hal tersebut dapat lebih efektif pada tingkat *detail on demand*. Karena terlalu banyak detail dapat memperlambat menurunkan

persentase ketepatan yang dihasilkan. Penelitian yang dilakukan oleh Zhao (2008) menyatakan hasil yang sama yakni ketika jumlah butir dari suatu data sedikit, pengguna dapat mendengarkan lebih detail. Sedangkan ketika jumlah item data bertambah, bunyi yang dihasilkan sering kali terlalu panjang untuk menyajikan suatu inti, tetapi hal ini bisa efektif pada tingkat detail-on-demand. Karena jika terlalu banyak detail maka akan memperlambat menurunkan presentasi berurutan dan bisa sangat banyak, banyak informasi lebih detail yang dibutuhkan.

Hasil kedua penelitian yang telah dicapai adalah persentase nilai ketepatan. Pada sudut 30° menghasilkan nilai persentase ketepatan sebesar 99,92%. Kemudian pada sudut 45° menghasilkan nilai persentase ketepatan sebesar 99,67%. Terakhir, pada sudut 70° menghasilkan nilai persentase ketepatan sebesar 98,42%. Persentase nilai ketepatan tercantum pada Tabel 2.

Tabel 2. Persentase Ketepatan Frekuensi

Sudut	Persentase Ketepatan (%)
30	99,92%
45	99,67%
70	98,42%

Nilai yang didapat dengan menggunakan Persamaan (3). Dari hasil persentase ketepatan yang didapat membuktikan bahwa studi awal sonifikasi layak digunakan dalam percobaan fisika lainnya yang berhubungan dengan gerak parabola, khususnya untuk tunanetra. Alat ini melengkapi hasil penelitian yang dilakukan oleh Sawe et.al (2020) dalam upaya mengubah data menjadi frekuensi suara. Alat sonifikasi ini didesain dengan cukup praktis sehingga dapat memudahkan siswa tunanetra dalam penggunaannya. Selain itu, alat ini dapat membantu siswa tunanetra merepresentasikan gerak parabola.

## PENUTUP

Berdasarkan hasil percobaan dan analisis data serta pembahasan terhadap Studi Awal Sonifikasi dari eksperimen gerak parabola dengan variasi sudut elevasi menggunakan arduino uno R3 Atmega328 dapat

dikemukakan beberapa kesimpulan yaitu:

1. Ketepatan frekuensi yang dihasilkan oleh *speaker* dalam pengkonversian data gerak parabola yakni sebagai berikut; nilai persentase ketepatan yang didapatkan pada sudut  $30^\circ$  adalah 99,92%. Kemudian nilai persentase ketepatan yang didapatkan pada sudut  $45^\circ$  adalah 99,67%. Terakhir, pada sudut  $70^\circ$  diperoleh nilai ketepatan sebesar 98,42%.
2. Pengaruh perubahan sudut elevasi terhadap perubahan frekuensi yang dihasilkan pada data gerak parabola yaitu apabila semakin besar sudut elevasi, maka akan semakin lambat untuk mencapai puncak frekuensinya.

Penelitian ini memerlukan pengembangan dalam hal penambahan fungsi untuk materi gerak yang lain. Oleh karena itu, penelitian lanjutan diperlukan sonifikasi pada materi gerak yang lainnya untuk dapat digunakan oleh siswa tunanetra.

### UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih kepada M. Khairul Ardi dan Ricky Armando Putra yang telah membantu diskusi dalam proses pembuatan program sonifikasi.

### REFERENSI

- Blanco, Andrea Lorena Aldana., dkk. (2019). Cardioscope: Ecg Sonification And Auditory Augmentation Of Heart Sounds To Support Cardiac Diagnostic And Monitoring. *Proceedings of ISON 2019, 6th Interactive Sonification Workshop, KTH Royal Institute of Technology, Sweden*.
- Fitriyanto, I., Sucahyo, I. (2016). Penerapan Software Tracker Video Analyzer Pada Praktikum Kinematika Gerak. (*JIPF*) *Jurnal Inovasi Pendidikan Fisika*, Vol. 05 No. 03.
- Habibulloh, M., & Madlazim. (2014). Penerapan Metode Analisis Video Perangkat Lunak Tracker dalam Pembelajaran Fisika Konsep Gerak Jatuh Bebas Untuk Meningkatkan Keterampilan Proses Siswa Kelas X SMAN 1 Sooko Mojokerto. *Jurnal Pendidikan Fisika Dan Aplikasinya*, 4(1), 15–22.
- Irbah, A., & Asrizal. (2019). Pembuatan tool pemodelan eksperimen gerak parabola dengan pengaturan sudut elevasi untuk analisis video tracker. *Pilar of Physics*, 12, 9–16.
- Khaleel, S.S. (2020). Arduino-Based Controller for Sequence Development of Automated Manufacturing System. *Al-Khwarizmi Engineering Journal*, 16(3), <https://doi.org/10.22153/kej.2020.07.001>
- Komariyah, S., dkk (2018). Analisis Pemahaman Konsep Dalam Memecahkan Masalah Matematika Ditinjau Dari Minat Belajar Siswa. *Jurnal Ilmiah Ilmu Sosial dan Humaniora*, Vol.4, No.1, <https://doi.org/10.30738/sosio.v4i1.1477>
- Nurseha, N. (2015). Pengaruh Model Pembelajaran *Children Learning In Science* Terhadap Keterampilan Proses Sains Dan Pemahaman Konsep Tentang Getaran Dan Gelombang Pada Kelas VIII Smp Negeri 5 Marawola. *Mitra Sains*, 3 (1). <http://jurnal.untad.ac.id/jurnal/index.php/MitraSains/article/view/3865>
- Nuryantini, A. Y., dkk (2018). Constant speed motion analysis using a smartphone magnetometer. *Physics Education*, 53(6), 065021.
- Purwadi, I. (2014). Pemodelan Gerak Parabola yang Dipengaruhi Seretan serta Spin Efek. *JRKPF UAD*, 1(1), 11–18.
- Retnaningati, D., & Sugiharto, B. (2013). Penerapan Model Pembelajaran Siklus Belajar (*Learning Cycle*) untuk Meningkatkan Keterampilan Proses Sains Siswa Kelas X-2 SMA Negeri 3 Surakarta Tahun Pelajaran 2010/2011. *Bio-Pedagogi*, 2(1), 53-60.
- Rosdianto, Haris, et.al. (2019). Penerapan Model Pembelajaran ADDIE Untuk Meningkatkan Keterampilan Proses Sains



Siswa Pada Materi Kinematika Gerak Lurus. *JPFK (Jurnal Pendidikan Fisika dan Keilmuan)*, 5(1), 2549-4996, 2548-5806,  
<http://doi.org/10.25273/jpfk.v5i1.2947>

Sarjani, F., Yohandri, Y., & Kamus, Z. (2017). Pembuatan Set Eksperimen Gerak Parabola Digital Berbasis Mikrokontroler ATmega328 untuk Mengukur Parameter Gerak. *Pillar of Physics*, 10(1), 23–30.

Sawe, N., Chafe, C., & Treviño, J. (2020). Using Data Sonification to Overcome Science Literacy, Numeracy, and Visualization Barriers in Science Communication. *Frontiers in Communication*, 5 (July), 1–7.  
<https://doi.org/10.3389/fcomm.2020.00046>

Sulistri, E. (2016). The Investigation of Junior High School Students Science Process Skill in Terms of Some Variables. Paper presented at the International Seminar on Mathematics, Science, and Computer Education, Bandung.

Sulistri, E., & Nugroho, S. E. (2018). The Development of Set Activity Based Assessment (ABA) to Measure Student Science Process Skill at Physics II.

Stacks, S., Hütz, S., Heinke, H., & Stampfer, C. (2018). Advanced tools for smartphone-based experiments: phyphox. *Physics education*, 53(4), 045009.

Young, Hugh D., Freedman, Roger A. (2012). Fisika Universitas Edisi Kesepuluh Jilid I. Jakarta: Erlangga. (Original Work Published

Zhao, H., Plaisant, C., Shneiderman, B., & Lazar, J. (2008). Data sonification for users with visual impairment: A case study with georeferenced data. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, 15(1).  
<https://doi.org/10.1145/1352782.1352786>