



## APLIKASI PERSAMAAN GELOMBANG UNTUK MENENTUKAN KARAKTERISTIK GELOMBANG SENAR GITAR YANG DIPETIK

Yuni Yulida<sup>1a</sup>, Haidir Ahsana<sup>1</sup>, M. Mahfuzh Shiddiq<sup>1</sup>,  
Muhammad Ahsar K.<sup>1a</sup>

<sup>a</sup>*Bidang Minat Matematika Lingkungan dan Industri*

<sup>1</sup>*Program Studi Matematika Fakultas MIPA Universitas Lambung Mangkurat*

*Jl. Jend. A. Yani km. 36 Banjarbaru 70714, Kalsel*

*Email: [y.yulida@ulm.ac.id](mailto:y.yulida@ulm.ac.id)*

### ABSTRACT

*Partial differential equations are often used to explain physical phenomena, one of which is the wave equation. One application of the wave equation is in plucked strings. This study describes the formation of a wave equation from guitar strings, determines the solution to the wave equation by using the variable separation method and certain boundary conditions and initial conditions, determines the amplitude of the wave, and simulates the movement of the wave based on the initial position of the plucked string. The result obtained is the wave equation of the guitar strings. When the string is plucked, the string will vibrate and produce a wave that can be formulated as a wave equation in the form of a homogeneous second order partial differential equation. The solution to this equation is in the form of a series. If given the initial conditions of plucking in the form of a function, then the amplitude of the wave is obtained. Simulations are given to see the movement of the amplitude and wave on the strings through three cases of the initial position of plucking the strings, namely: less than half, half, and more than half the length of the strings. The behavior of these amplitudes and waves is a characteristic or characteristic of the waves produced from a plucked guitar string.*

**Keywords:** *Partial differential equations, wave equation, method of separation of variables, amplitudo, and guitar string.*

### ABSTRAK

Persamaan diferensial parsial sering digunakan untuk menjelaskan fenomena fisika, salah satunya adalah persamaan gelombang. Salah satu aplikasi dari persamaan gelombang adalah pada senar yang dipetik. Penelitian ini menjelaskan terbentuknya persamaan gelombang dari petikan senar gitar, menentukan solusi persamaan gelombang tersebut dengan menggunakan metode pemisahan variabel serta syarat batas dan syarat awal tertentu, menentukan amplitudo gelombang, dan melakukan simulasi pergerakan gelombang berdasarkan posisi awal pemetikan senar. Hasil yang diperoleh adalah persamaan gelombang dari petikan senar gitar. Ketika senar dipetik, maka senar akan bergetar dan menghasilkan suatu gelombang yang dapat diformulakan sebagai persamaan gelombang berbentuk persamaan diferensial parsial orde 2 homogen. Solusi persamaan tersebut berbentuk deret. Jika diberikan kondisi awal pemetikan berupa suatu fungsi, maka diperoleh amplitudo gelombang. Simulasi diberikan untuk melihat pergerakan amplitudo dan gelombang pada senar melalui tiga kasus posisi awal pemetikan senar, yaitu: kurang dari setengah, setengah, dan lebih dari setengah panjang senar. Perilaku amplitudo dan gelombang tersebut merupakan ciri khas atau karakteristik gelombang yang dihasilkan dari sebuah senar gitar yang dipetik.

**Kata kunci:** Persamaan diferensial parsial, persamaan gelombang, metode pemisahan variabel, amplitudo, dan senar gitar.

## 1. PENDAHULUAN

Persamaan diferensial adalah persamaan yang memuat turunan dari satu atau lebih variabel tak bebas terhadap satu atau lebih variabel bebas. Dalam bidang kajian persamaan diferensial terdapat persamaan diferensial yang memuat turunan atas lebih dari satu variabel bebas, yaitu persamaan diferensial parsial (Ross, 2004). Persamaan diferensial parsial dapat digunakan untuk menggambarkan fenomena fisika, salah satunya adalah gelombang, dengan persamaan diferensial parsial yang digunakan adalah persamaan gelombang (Nagle, 2012).

Ada banyak jenis gelombang, yang diklasifikasikan berdasarkan media perambatannya. Gelombang bunyi merupakan contoh gelombang mekanik, karena tidak dapat menyebar melalui ruang hampa tetapi memerlukan media rambatan (Blanca, 2019). Demonstrasi gelombang dapat dilakukan banyak eksperimen. Mekanisme yang berbeda dapat digunakan untuk membangkitkan gelombang seperti itu. Beberapa dari mereka menggunakan pegas ekstensi koil yang digantung di antara dua kabel pendukung ringan untuk menunjukkan rambatan dengan ujung bebas (Kashy et al., 1997) atau hanya seutas tali yang diregangkan (Gluck, 2009). Pilihan lain adalah menghubungkan seutas tali tidak elastis ke salah satu cabang garpu tala, yang digerakkan oleh kumparan tereksitasi yang ditempatkan di antara cabang (Chen, 2009).

Persamaan gelombang dapat diperoleh dari suatu senar gitar yang bergetar akibat dipetik, dimana persamaan tersebut diperoleh berdasarkan penerapan dari Hukum Newton II tentang gerak partikel. D'Alembert, menyatakan suatu persamaan diferensial dari permasalahan Taylor untuk getaran senar yaitu

$$\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = c^2 \frac{\partial^2 y}{\partial x^2}$$

dimana  $c^2 = \frac{T}{\rho}$ , dengan  $T$  adalah gaya tegangan (senar) dan  $\rho$  adalah massa per satuan panjang. Dari solusi persamaan tersebut, dapat ditinjau bagaimana amplitudo yang dihasilkan oleh senar gitar yang bergetar dengan menentukan koefisien Fourier yang termuat di dalamnya. Dengan demikian, dapat dianalisis lebih lanjut perilaku atau karakter gelombang yang dihasilkan oleh senar gitar yang dipetik dengan melibatkan suatu kondisi tertentu baik nilai awal atau syarat batas (Hammond, 2011).

Pada tulisan ini, dijelaskan bahwa persamaan gelombang pada senar yang dipetik memenuhi merupakan persamaan gelombang dimensi satu, ditentukan solusi persamaan tersebut dengan menggunakan metode pemisahan variabel, dan dilakukan analisis lebih lanjut tentang pengaruh posisi pemetikan pada pergerakan amplitudo gelombang pada senar gitar yang dipetik melalui simulasi.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Persamaan Diferensial Parsial

Menurut (O'Neil, 2008), Persamaan Diferensial Parsial (PDP) adalah persamaan yang paling sedikit memuat satu turunan parsial. Selanjutnya, (Ross, 2004) secara umum menjelaskan bahwa, persamaan diferensial parsial linier orde dua dengan dua variabel bebasnya  $x$  dan  $t$  memiliki bentuk persamaan sebagai berikut:

$$A \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} + B \frac{\partial^2 y}{\partial x \partial t} + C \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} + D \frac{\partial y}{\partial x} + E \frac{\partial y}{\partial t} + Fy = G(x, t) \quad (1)$$

dengan  $A, B, C, D, E, F$  dan  $G$  adalah fungsi dari  $x$  dan  $t$ . Jika  $G(x, t) = 0$  untuk setiap  $(x, t)$ , maka Persaman (1) menjadi

$$A \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} + B \frac{\partial^2 y}{\partial x \partial t} + C \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} + D \frac{\partial y}{\partial x} + E \frac{\partial y}{\partial t} + Fy = 0 \quad (2)$$

Persamaan (1) merupakan persamaan diferensial parsial nonhomogen, sedangkan Persamaan (2) adalah persamaan diferensial parsial homogen.

Salah satu persamaan diferensial parsial orde dua yang sering dikaji oleh para ilmuwan adalah persamaan gelombang, Berdasarkan (O'Neil, 2008), diberikan secara umum untuk persamaan gelombang

$$\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = c^2 \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} + F(x, t)$$

dan persamaan gelombang homogen dapat dinyatakan sebagai

$$\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = c^2 \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \quad (3)$$

Berdasarkan (Giancoli, 2009), berikut diberikan pernyataan Hukum Newton II, pengertian amplitudo dan frekuensi gelombang:

*“Percepatan suatu benda berbanding lurus dengan jumlah gaya yang bekerja pada suatu benda dan berbanding terbalik dengan massa benda. Arah percepatan sama dengan arah jumlah gaya benda. Amplitudo adalah pengukuran skalar yang nonnegatif dari besar osilasi suatu gelombang atau simpangan terjauh dari titik kesetimbangan suatu gelombang. Frekuensi gelombang adalah banyaknya gelombang yang terjadi dalam satu satuan waktu”.*

## 2.2 Deret Fourier

Berikut diberikan Definisi deret Fourier (Ross, 2004), (Hedi, 2010), (Humi & Miller, 1992).

### Definisi 1

*Diberikan  $f$  merupakan fungsi dengan periode  $2L$ . Deret Fourier dari  $f$  adalah deret*

$$\frac{1}{2}a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \left( a_n \cos \frac{n\pi x}{L} + b_n \sin \frac{n\pi x}{L} \right) \quad (4)$$

dengan koefisien

$$a_0 = \frac{1}{L} \int_{-L}^L f(x) dx$$

$$a_n = \frac{1}{L} \int_{-L}^L f(x) \cos \frac{n\pi x}{L} dx, \quad n = 0, 1, 2, \dots$$

$$b_n = \frac{1}{L} \int_{-L}^L f(x) \sin \frac{n\pi x}{L} dx, \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

*ada. Lebih lanjut koefisien-koefisien tersebut disebut koefisien Fourier.*

**Definisi 2**

Diberikan  $f$  adalah suatu fungsi yang terdefinisi pada interval  $0 \leq x \leq L$  dan sedemikian sehingga integral dari  $\int_0^L f(x) \sin \frac{n\pi x}{L} dx$  ( $n = 1, 2, 3, \dots$ ) ada.

Maka Deret  $\sum_{n=1}^{\infty} b_n \sin \frac{n\pi x}{L}$ , dengan  $b_n = \frac{2}{L} \int_0^L f(x) \sin \frac{n\pi x}{L} dx$  ( $n = 1, 2, 3, \dots$ ), disebut Deret Fourier Sinus dari  $f$  pada interval  $0 \leq x \leq L$ . Atau dituliskan dengan

$$f(x) \sim \sum_{n=1}^{\infty} b_n \sin \frac{n\pi x}{L}, \quad 0 \leq x \leq L.$$

**2.3 Solusi Persamaan Diferensial Parsial**

Persamaan diferensial parsial dapat ditentukan solusinya menggunakan Metode Pemisahan Variabel (Humi & Miller, 1992), (Ross, 2004), (Powers, 2006), (Pinsky, 2010). Metode Pemisahan Variabel ini adalah salah satu cara menentukan solusi Persamaan Diferensial Parsial dengan asumsi bahwa solusi yang diperoleh merupakan perkalian fungsi-fungsi terhadap variabel bebasnya masing-masing (terpisah).

Akan dicari solusi terpisah Masalah Syarat Batas (MSB)/Masalah Syarat Awal Batas (MSAB) berbentuk superposisi berikut

$$y(x, t) = X(x) \cdot T(t) \tag{5}$$

**Langkah-langkah menentukan solusi dengan metode ini adalah**

- (1) Persamaan (5) disubstitusi ke PDP yang diberikan.
- (2) Membagi hasil langkah (1) dibagi dengan  $X(x) \cdot T(t)$
- (3) Jika hasil langkah (2) dapat dinyatakan sebagai jumlahan suku-suku yang hanya bergantung dari  $x$  dan suku-suku yang hanya bergantung dari  $t$ . Maka dengan konstanta pemisah ( $-\lambda$  dan  $\lambda$ ) akan diperoleh sistem 2 Persamaan Diferensial Biasa (PDB).
- (4) Menggunakan SB dan (atau) SA yang sesuai untuk menentukan SB atau SA pada PDB hasil dari langkah (3).
- (5) Menyelesaikan PD (MSB / MSAB) hasil pada langkah (3) dan (4).
- (6) Menentukan  $y(x, t) = X(x) \cdot T(t)$ , kemudian tentukan solusi umum (dengan mengguankan sifat superposisi).
- (7) Menggunakan SA/SB yang tersisa untuk menentukan solusi khusus MSB / MSAB yang diberikan.

Selanjutnya diberikan Teorema solusi PDP menurut (Zill & Cullen, 2009)

**Teorema 3 (superposisi)**

Jika  $y_1, y_2, y_3, \dots, y_n$  adalah solusi untuk persamaan diferensial parsial homogen (3), maka kombinasi linier

$$y = y(x, t) = c_1 y_1 + c_2 y_2 + c_3 y_3 + \dots + c_n y_n,$$

dengan  $c_i, (i = 1, 2, 3, \dots, n)$  konstanta, adalah juga solusi dari persamaan diferensial parsial homogen.

**3. METODOLOGI**

Langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini adalah menjelaskan terbentuknya model persamaan gelombang pada senar yang dipetik, menentukan solusi menggunakan metode pemisahan variabel dan amplitudo gelombang ditentukan dengan melibatkan syarat awal dan deret Fourier, melakukan simulasi

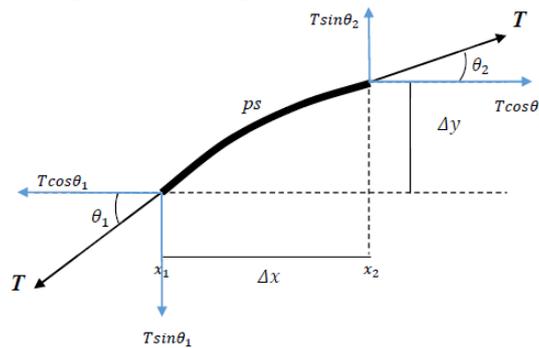
untuk pergerakan amplitudo gelombang dengan beberapa posisi yang merepresentasikan sebarang posisi pemetikan senar (disajikan 3 kasus), dan menginterpretasikan solusi dan amplitudo persamaan gelombang yang dihasilkan dari senar gitar yang dipetik.

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

##### 4.1 Pemodelan Persamaan Gelombang Pada Senar Gitar

Persamaan Gelombang dapat dihasilkan dari senar gitar yang dipetik. Ketika sebuah senar dipetik maka senar akan bergetar dan menghasilkan suatu gelombang, karena pada senar gitar kedua ujungnya tetap maka gelombang yang dihasilkan akan dipantulkan dari kedua ujung senar sehingga membentuk gelombang berdiri, dimana gelombang tersebut terlihat seperti tidak merambat melainkan bergetar harmonis ke atas dan ke bawah.

Gelombang yang dihasilkan dari getaran senar gitar dapat direpresentasikan dengan suatu fungsi  $y$  yang dinotasikan sebagai simpangan vertikal suatu senar dari sumbu  $x$ . Simpangan tersebut bergantung pada posisi pemetikan dan waktu pemetikan sehingga fungsi  $y$  bergantung pada dua variabel bebas yaitu  $x$  untuk posisi sepanjang senar dan  $t$  untuk waktu pemetikan atau dinotasikan dengan  $y = y(x, t)$ . Berikut diberikan partisi senar gitar



Gambar 1. Partisi Senar

Keterangan:

- $T$  : gaya tegangan
- $ps$  : partisi senar
- $\Delta y$  : jarak senar dari posisi kesetimbangannya
- $\Delta x$  : panjang partisi senar pada posisi setimbang
- $x_1, x_2$  : titik ujung partisi
- $\theta_1$  : sudut pada titik  $x_1$
- $\theta_2$  : sudut pada titik  $x_2$

Jika gravitasi diabaikan dan gaya yang bekerja pada senar hanya gaya tegangan  $T$  maka diperoleh dua sudut yang dihasilkan pada kedua titik partisi senar yaitu  $\theta_1$  dan  $\theta_2$ .  $\Delta y$  menunjukkan besar pergeseran partisi senar dari posisi kesetimbangannya dan  $\Delta x$  menunjukkan panjang partisi senar pada saat keadaan setimbang.

Berdasarkan Hukum Newton II diperoleh jumlah gaya yang bekerja pada arah sumbu  $y$  yaitu:

$$\sum F_y = T \sin \theta_2 - T \sin \theta_1 = m a_y$$

Karena sudut  $\theta_1$  dan  $\theta_2$  kecil, maka  $\sin \theta \sim \tan \theta = \frac{\Delta y}{\Delta x} = s$ , dengan  $0 \leq \theta < \frac{\pi}{4}$ .  $a_y$  dapat diganti dengan  $\frac{\partial^2 y}{\partial t^2}$  dan massa senar digambarkan sebagai massa per satuan panjang  $\rho$  dikalikan panjang  $ps$ , karena  $ps$  kecil, maka  $ps \sim \Delta x$ , sehingga:

$$T(\tan \theta_2 - \tan \theta_1) = \rho \Delta x \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} \Leftrightarrow T(s_2 - s_1) = \rho \Delta x \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} \Leftrightarrow T \frac{\Delta s}{\Delta x} = \rho \frac{\partial^2 y}{\partial t^2}$$

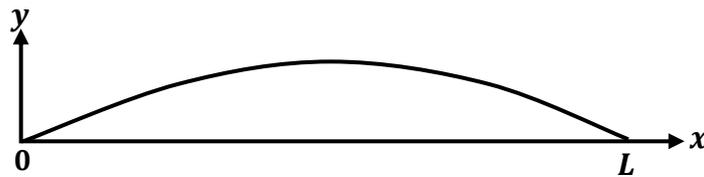
$$\Leftrightarrow T \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta x} = \rho \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} \Leftrightarrow T \frac{\partial s}{\partial x} = \rho \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} \Leftrightarrow T \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\Delta y}{\Delta x} \right) = \rho \frac{\partial^2 y}{\partial t^2}$$

$$\Leftrightarrow T \frac{\partial}{\partial x} \left( \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta y}{\Delta x} \right) = \rho \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} \Leftrightarrow T \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\partial y}{\partial x} \right) = \rho \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} \Leftrightarrow \frac{T}{\rho} \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 y}{\partial t^2}$$

Cepat rambat gelombang didefinisikan dengan  $c = \sqrt{\frac{T}{\rho}}$ , sehingga diperoleh persamaan gelombang dimensi satu (3), yaitu  $c^2 \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 y}{\partial t^2}$ .

#### 4.2 Solusi Persamaan Gelombang Pada Senar Gitar

Diasumsikan bahwa senar memiliki panjang  $L$  dan kedua ujungnya tetap (diilustrasikan dengan Gambar 2), sehingga menghasilkan dua syarat batas yaitu:



Gambar 2. Ilustrasi Senar

dikedua ujung senar pada setiap waktu,  $0 \leq x \leq L$  :

$$y(0, t) = 0; \quad y(L, t) = 0, \quad t > 0 \quad (6)$$

Selanjutnya senar dipetik tanpa kecepatan awal, diperoleh syarat awal

$$y(x, 0) = f(x); \quad \frac{\partial}{\partial t} y(x, 0) = 0; \quad 0 < x < L \quad (7)$$

dengan  $f(x)$  mendefinisikan posisi awal pemetikan.

Solusi persamaan gelombang dapat diperoleh dengan menggunakan metode pemisahan variabel dimana solusi persamaan gelombang  $y(x, t)$  diasumsikan berbentuk Persamaan (5). Berdasarkan aturan pada metode pemisahan variabel maka diperoleh dua persamaan diferensial biasa sebagai berikut:

$$i. \frac{d^2 X(x)}{dx^2} - \sigma X(x) = 0; \quad ii. \frac{d^2 T(t)}{dt^2} - c^2 \sigma T(t) = 0 \quad (8)$$

Dari dua Persamaan (8i) dan (8ii) dan menggunakan Persamaan (6) diperoleh solusi Persamaan (8) berturut-turut yaitu,

$$X_n(x) = a_{2,n} \sin \frac{n\pi}{L} x, \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (9)$$

$$T_n(x) = c_{1,n} \cos \frac{n\pi c}{L} t + c_{2,n} \sin \frac{n\pi c}{L} t, \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (10)$$

Berdasarkan Persamaan (9) dan (10), diperoleh Solusi umum persamaan gelombang (3) menggunakan sifat superposisi (Teorema 3) adalah

$$y(x, t) = \sum_{n=1}^{\infty} y_n(x, t) \\ = \sum_{n=1}^{\infty} X_n(x)T_n(x) = \sum_{n=1}^{\infty} \left( a_{2,n} \sin \frac{n\pi}{L} x \right) \left( c_{1,n} \cos \frac{n\pi c}{L} t + c_{2,n} \sin \frac{n\pi c}{L} t \right),$$

Solusi persamaan gelombang yang memenuhi Syarat batas (7), diperoleh sebagai berikut

$$y(x, t) = \sum_{n=1}^{\infty} y_n(x, t) = \sum_{n=1}^{\infty} \alpha_n \sin \left( \frac{n\pi}{L} x \right) \cos \left( \frac{n\pi c}{L} t \right), \quad (11)$$

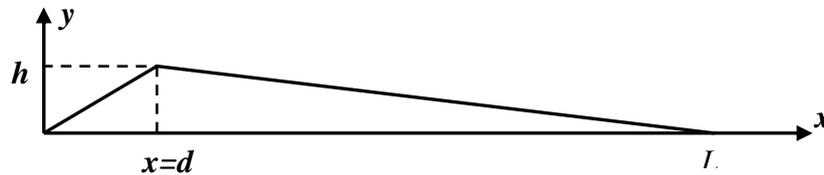
dengan  $\alpha_n = a_{2,n}c_{1,n}$  ( $n = 1, 2, 3, \dots$ ).

### 4.3 Amplitudo Gelombang pada Senar Gitar

Amplitudo gelombang dapat diperoleh dengan menentukan koefisien  $\alpha_n$  pada solusi persamaan gelombang dengan melibatkan suatu fungsi yang didefinisikan sebagai kondisi awal pemetikan. Diberikan fungsi awal senar (Hammond, 2011).

$$f(x) = \begin{cases} \frac{hx}{d}, & (0 \leq x \leq d) \\ \frac{h(L-x)}{L-d}, & (d < x \leq L) \end{cases} \quad (12)$$

dan fungsi tersebut diilustrasi pada Gambar 3 berikut ini



Gambar 3. Kondisi awal pemetikan senar

dengan menggunakan Persamaan (11), Syarat awal (7) dan Persamaan (12), diperoleh

$$y(x, 0) = f(x) = \sum_{n=1}^{\infty} \alpha_n \sin \left( \frac{n\pi}{L} x \right),$$

Berdasarkan Definisi 2 dan Metode integral parsial, diperoleh nilai koefisien  $\alpha_n$  (atau amplitudo) berikut

$$\alpha_n = \frac{2}{L} \int_0^L f(x) \sin \left( \frac{n\pi x}{L} \right) dx = \frac{2}{L} \left[ \int_0^d \frac{hx}{d} \sin \left( \frac{n\pi x}{L} \right) dx + \int_d^L \frac{h(L-x)}{L-d} \sin \left( \frac{n\pi x}{L} \right) dx \right] \\ = \frac{2}{L} \left( \frac{hL^3}{(L-d)n^2\pi^2 d} \right) \sin \left( \frac{n\pi d}{L} \right)$$

Jadi, solusi persamaan gelombang (11) dapat dinyatakan dinyatakan sebagai berikut:

$$y(x, t) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2hL^2}{n^2\pi^2d(L-d)} \sin\left(\frac{n\pi d}{L}\right) \sin\left(\frac{n\pi}{L}x\right) \cos\left(\frac{n\pi c}{L}t\right), \quad (13)$$

( $n = 1, 2, 3, \dots$ ),

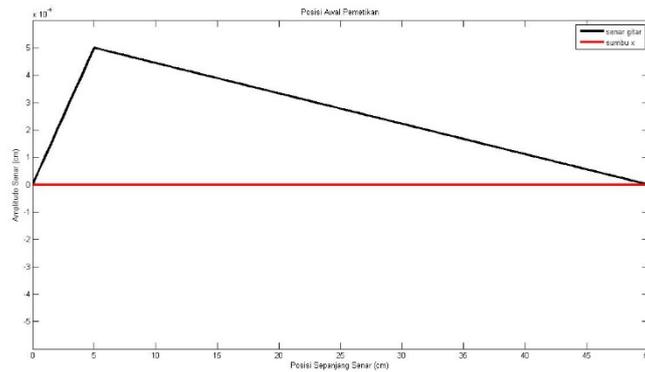
dengan  $h$  simpangan senar,  $d$  posisi pemetikan, dan  $L$  adalah panjang senar.

#### 4.4 Simulasi pergerakan amplitudo gelombang pada Solusi Persamaan Gelombang

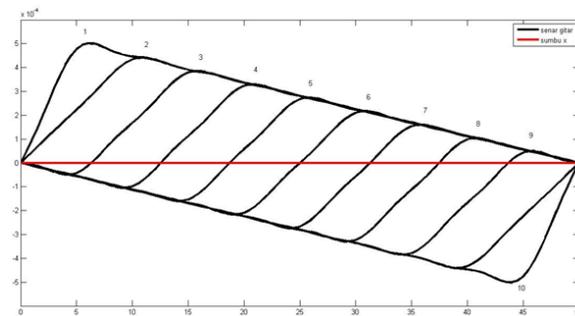
Persamaan (13) menyatakan bahwa solusi persamaan gelombang adalah jumlahan dari suku-suku yang disebut harmonik. Masing-masing harmonik menggambarkan sebuah gerak harmonik dengan panjang gelombang yang berbeda. Masing-masing harmonik diperoleh dengan mensubstitusikan nilai  $n$  pada solusi persamaan gelombang ( $n = 1, 2, 3, \dots$ ).

Berikut diberikan simulasi untuk pergerakan amplitudo gelombang dengan beberapa posisi yang merepresentasikan sebarang posisi pemetikan senar:

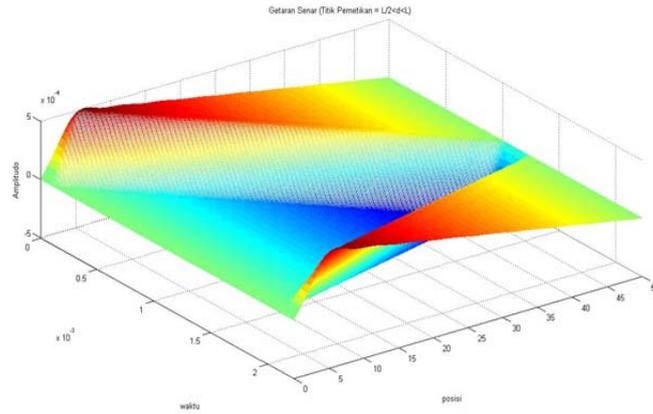
Kasus 1 : Senar dipetik pada posisi  $0 < d < \frac{L}{2}$



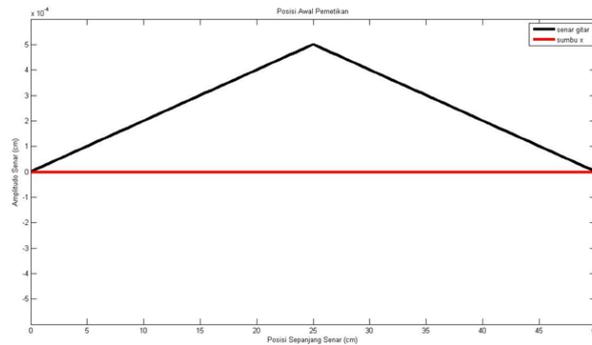
Gambar 4. Posisi awal senar Kasus 1



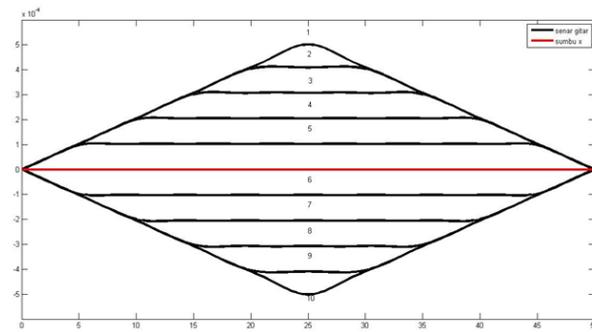
Gambar 5. Pergerakan amplitudo gelombang Kasus 1



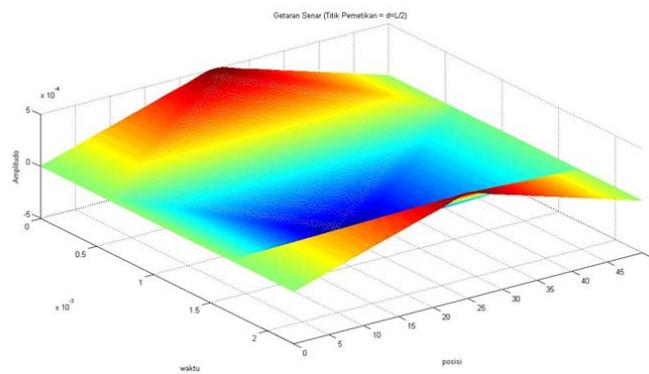
Gambar 6. Getaran senar pada plot 3D Kasus 1  
 Kasus 2 : Senar dipetik pada posisi tepat di tengah senar ( $d = \frac{L}{2}$ )



Gambar 7. Posisi awal senar Kasus 2

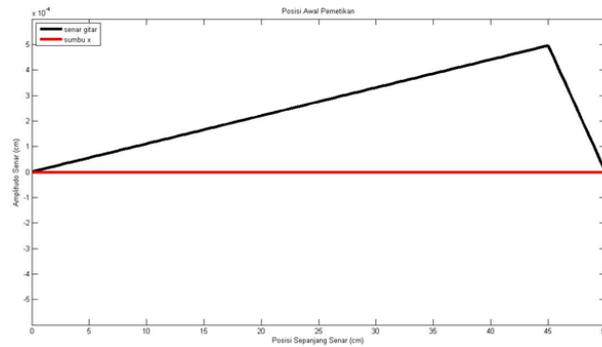


Gambar 8. Pergerakan amplitudo gelombang Kasus 2

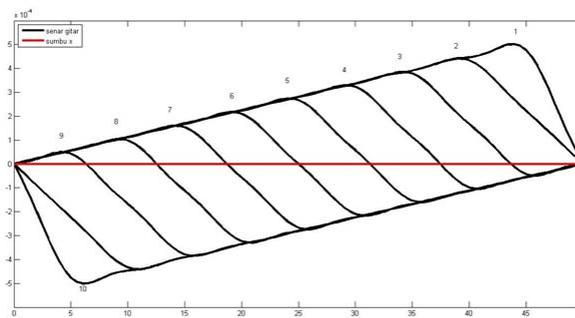


Gambar 9. Getaran senar pada plot 3D Kasus 2

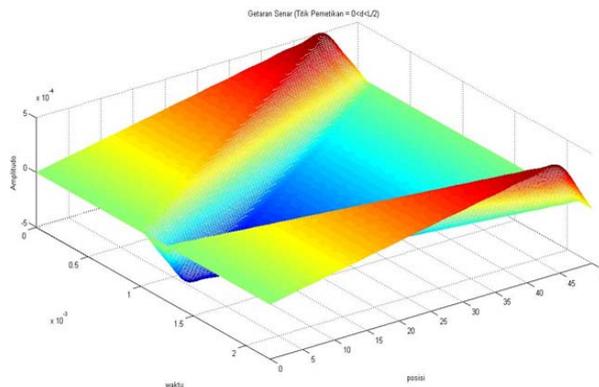
Kasus 3 : Senar dipetik pada posisi  $\frac{L}{2} < d < L$



Gambar 10. Posisi awal senar Kasus 3



Gambar 11. Pergerakan Amplitudo Gelombang Kasus 3



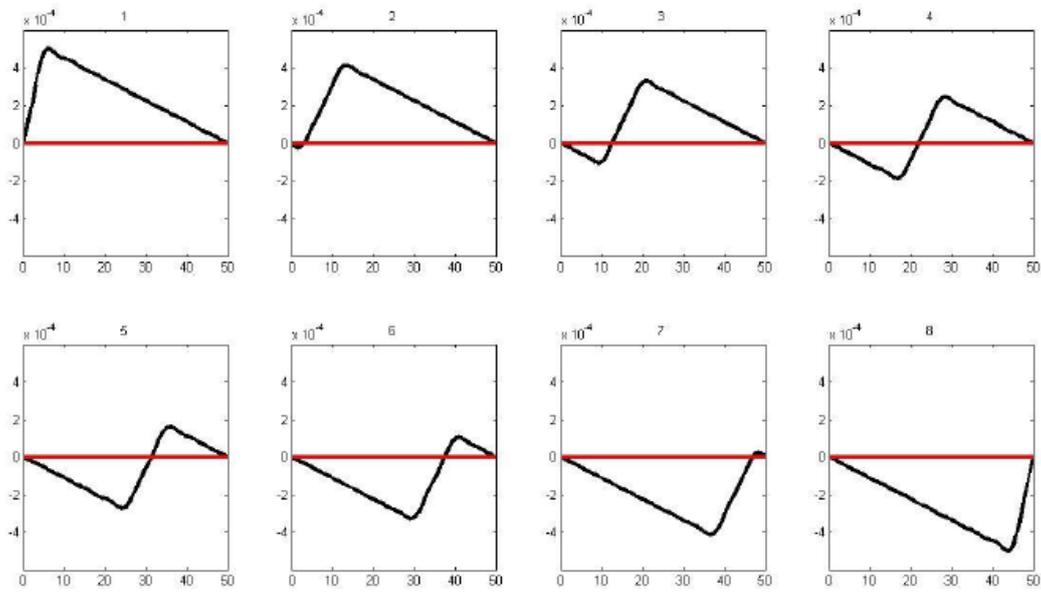
Gambar 12. Getaran Senar pada Plot 3D Kasus 3

Ketiga kasus tersebut merupakan representasi dari sebarang posisi pemetikan senar, yaitu sebagai berikut:

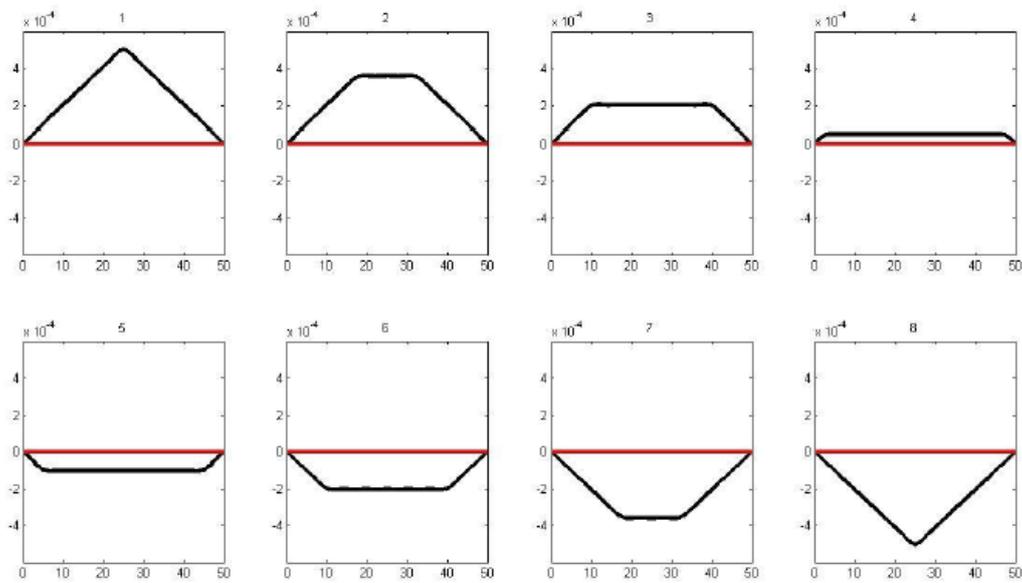
- Kasus 1 (lihat Gambar 4, 5, 6) merupakan representasi posisi pemetikan pada  $0 < d < \frac{L}{2}$
- Kasus 2 (lihat Gambar 7, 8, 9) merupakan representasi posisi pemetikan pada  $d = \frac{L}{2}$
- Kasus 3 (lihat Gambar 10, 11, 12) merupakan representasi posisi pemetikan pada  $\frac{L}{2} < d < L$ .

dengan  $d$  adalah posisi pemetikan senar.

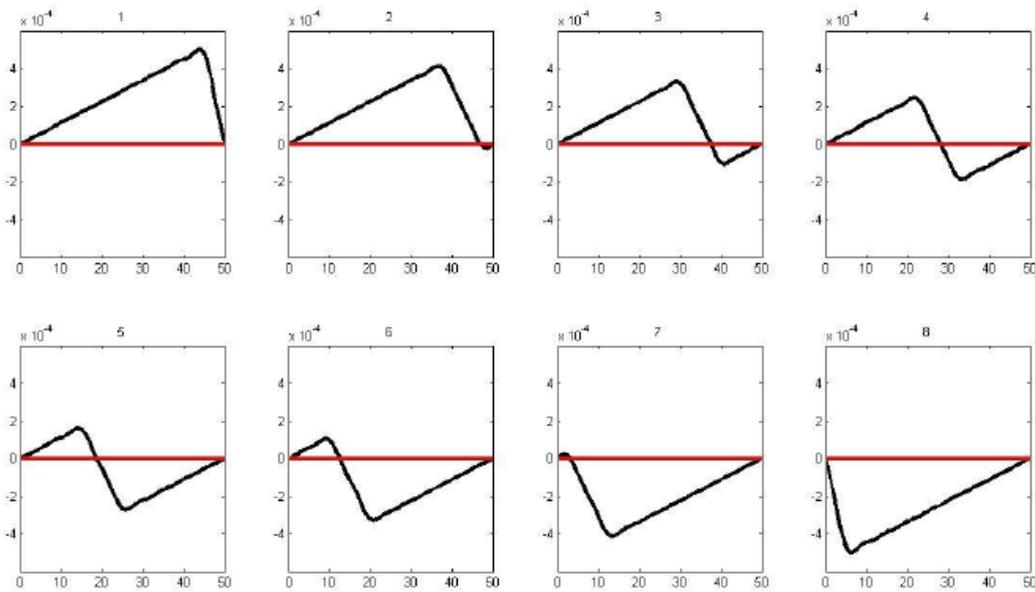
Berikut diberikan subplot pergerakan gelombang (Gambar 13, 14 dan 15) pada senar untuk setiap kasus.



Gambar 13. Pergerakan Gelombang pada kasus 1



Gambar 14. Pergerakan Gelombang pada kasus 2



Gambar 15. Pergerakan Gelombang pada kasus 3

## 5. KESIMPULAN

Dari beberapa kasus posisi pemetikan senar di atas dapat dilihat bahwa ketika sebuah senar dipetik tepat ditengah ( $d = \frac{L}{2}$ ) maka amplitudo gelombang yang dihasilkan akan bergerak ke bawah dengan arah yang tegak lurus dengan sumbu  $x$  dan sejajar dengan sumbu  $y$ , sedangkan ketika senar dipetik pada posisi  $d \neq \frac{L}{2}$  atau dengan kata lain senar dipetik tidak tepat ditengah maka amplitudo gelombang yang dihasilkan pada senar akan bergerak ke bawah dengan arah yang tidak tegak lurus terhadap sumbu  $x$  dan tidak sejajar dengan sumbu  $y$ .

Amplitudo gelombang dinyatakan dengan  $\frac{2hL^2}{(L-d)n^2\pi^2d} \sin\left(\frac{n\pi d}{L}\right)$ , semakin besar nilai  $h$  maka simpangan awal pemetikan senar akan semakin besar, akibatnya amplitudo gelombang yang dihasilkan semakin besar, sehingga frekuensi yang dihasilkan juga akan semakin banyak dan senar akan bergetar lebih lama sampai berada pada posisi kesetimbangannya. Perilaku amplitudo gelombang pada senar gitar yang dipengaruhi oleh kondisi pemetikan merupakan ciri khas atau karakteristik gelombang yang dihasilkan dari sebuah senar gitar yang dipetik.

## REFERENSI

- Blanca, S. (2019). *Standing Waves in a String*. May, 3–5. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.33763.30245>
- Chen, D. (2009). Vibration frequency can be used to determine an unknown mass. *Physics Education*, 44(3), 232–234.
- Giancoli, D. C. (2009). *Physics* (4th ed.). Prentice Hall, Inc.
- Gluck, P. (2009). Plucked string on a shoestring budget. *The Physics Teacher*, 47(1), 13–17.
- Hammond, J. K. (2011). Mathematics of Music. *UW-L Journal of Undergraduate*

- Research, XIV*(2011), 1–11.
- Hedi. (2010). Penerapan Deret Taylor Dalam Menentukan Deret Fourier Tanpa Integral. *Sigma-Mu*, 2(2), 20–32.
- Humi, M., & Miller, W. B. (1992). *Boundary Value Problems and Partial Differential Equations*. Publishing Company.
- Kashy, E., Johnson, D. A., McIntyre, J., & Wolfe, S. L. (1997). Transverse standing waves in a string with free ends. *American Journal of Physics*, 65(4), 310–313.
- Nagle, R. K. (2012). *Fundamentals of differential equation Boundary Value Problem*. University of South Florida, Florida.
- O’Neil, P. V. (2008). Beginning partial differential equations. In *A John Wiley & Sons, Canada*. A John Wiley & Sons, Canada. [https://doi.org/10.1016/s0898-1221\(99\)90345-0](https://doi.org/10.1016/s0898-1221(99)90345-0)
- Pinsky, M. A. (2010). Partial Differential Equations and Boundary Value Problems with Application. In *Differential Equations (Third)*. American Mathematical Society. <https://doi.org/10.1201/b19325-7>
- Powers, D. L. (2006). *Boundary Value Problems and Partial Differential Equations*. Elsevier Academic Press.
- Ross, S. L. (2004). *Differential Equation (Third)*. John Wiley & Sons, New Delhi.
- Zill, D. G., & Cullen, M. R. (2009). *Differential Equations with Boundary-Value Problems (Seventh, Issue C)*. Brooks/Cole Publishing Company, USA.