

## Identifikasi frekuensi bunyi gambang laras slendro gamelan Jawa menggunakan jaringan syaraf tiruan pada Matlab

Salma Sukmawati Nur Aisah, Farzand Abdullatif\*, Hartono

Program Studi Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Jenderal Soedirman

Jln. Dr. Soeparno 61, Grendeng, Purwokerto, Indonesia, 53122

\*email: farzand@unsoed.ac.id

**Abstrak** – Penalaan gambang laras slendro selama ini dilakukan dengan mempertimbangkan perasaan yaitu perasaan enak atau tidak enak bunyi didengar. Dengan cara ini, keselarasan dapat berubah seiring dengan perasaan pengrajin, selain itu akan berbeda pula antara pengrajin satu dengan pengrajin lainnya. Penelitian bertujuan untuk membuat sistem yang mampu menggantikan orang dalam penalaan nada berdasarkan Artificial Intelligence. Sistem menganalisis karakteristik tiap nada bilah dengan meninjau frekuensi fundamental menggunakan algoritma Fast Fourier Transform (FFT) yang dimiliki oleh software Matlab, dan meninjau hubungan antara ukuran bilah dan frekuensi yang dihasilkan. Sebuah program Jaringan Syaraf Tiruan (JST) dibuat untuk membantu dalam identifikasi. Untuk mempermudah menjalankan program dibuat tampilan sederhana menggunakan GUI (Graphical User Interface). Hasil penelitian menunjukkan bahwa frekuensi fundamental dapat ditentukan dari puncak tertinggi dalam sebuah spektrum frekuensi dan ukuran bilah berpengaruh terhadap nada yang dihasilkan. Sistem penala gambang laras slendro menggunakan JST dapat mendeteksi secara benar 47,5% sampel dalam pengujian.

**Kata Kunci:** Gambang laras slendro, Frekuensi, Jaringan Syaraf Tiruan, *Fast Fourier Transform*, Matlab.

**Abstract** – *The tuning of the slendro gambang by considering the feelings, namely good or bad feelings about the sound product. In this way the harmony can change along with the feelings of the craftsman, but it also differ from one craftsman to another. The research aims to create a system capable of replacing people in tone tuning based on artificial intelligence. The system, analyzes the characteristics of each blade tone by reviewing the fundamental frequency using the Matlab's Fast Fourier Transform (FFT) algorithm, and examining the relationship between blade size and the resulting frequency. An Artificial Neural Network (ANN) program was created to assist in identification and to make it easier to run the program, a simple display is made using a GUI (Graphical User Interface). The results showed that the fundamental frequency can be determined from the highest peak in a frequency spectrum and the blade size has an effect on the production of the tone. The slendro gambang tuning system with ANN can correctly detected 47.5% of the samples in the test.*

**Key words:** *Slendro Gambang, Frequency, Artificial Neural Network, Fast Fourier Transform, Matlab*

### PENDAHULUAN

Gamelan Jawa merupakan salah satu alat musik dalam kesenian yang lahir dari masyarakat Jawa. Sejak dulu hingga sekarang, gamelan Jawa dibuat berdasarkan perasaan dalam penyeragaman nada yaitu perasaan enak atau tidak enak bunyi didengar. Dengan cara ini keselarasan dapat berubah seiring dengan perasaan pengrajin, selain itu akan berbeda pula antara pengrajin satu dengan pengrajin lainnya. Terkait hal tersebut, bidang fisika dapat masuk dalam persoalan ini untuk membantu penalaan nada.

Bunyi merupakan fenomena fisika yang kita jumpai setiap saat dan dimanapun. Bunyi merupakan sebuah gelombang longitudinal atau gelombang akustik yang terbentuk akibat adanya

sebuah benda yang bergetar dengan besaran-besaran fisika seperti periode, amplitudo, panjang gelombang, cepat rambat, dan frekuensi [1]. Besaran-besaran tersebut dapat diukur menggunakan instrumen ukur yang sesuai. Frekuensi menjadi besaran yang akan diukur dalam penelitian ini sebagai acuan menala nada untuk mengganti parameter perasaan pembuatan gamelan.

Beberapa penelitian telah dilakukan untuk menganalisis frekuensi dari tiap-tiap jenis gamelan seperti saron demung laras pelog oleh Mitrayana dan Cyitasari [2] dan gong laras slendro oleh Trisnowati [3]. Jenis gamelan Jawa lain yang belum diteliti yaitu gambang laras slendro model Banyumas. Hal ini perlu

dilakukan untuk mengungkap kekhasan jenis gamelan ini.

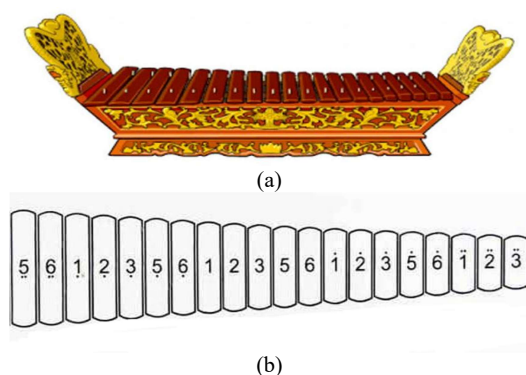
Identifikasi bunyi dapat memanfaatkan *Artificial Intelligence* (AI), metode ini sudah banyak digunakan dalam pengenalan suara menggunakan algoritma *backpropagation neural network* [4]. Sistem identifikasi bunyi gambang ini menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan (JST) *Backpropagation* dengan tampilan sistem menggunakan *Graphical User Interface*.

## LANDASAN TEORI

### Gambang Laras Slendro

Gambang merupakan gamelan Jawa yang terdiri atas tiga rancak (tempat) gambang yaitu gambang laras slendro, gambang laras pelog bem, dan gambang laras pelog barang. Gambang memiliki lebih banyak nada daripada gamelan lain dengan jumlah 18 hingga 22 bilah [5]. Gambang yang digunakan dalam penelitian ini merupakan gambang kayu terbuat dari kayu jati terdiri atas 20 bilah. Gambang dimainkan dengan cara dipukul menggunakan tabuh terbuat dari kayu, bambu, atau tanduk kerbau yang dikecilkan dan berbentuk bundar dilapisi oleh kain atau karet agar menghasilkan bunyi lebih lembut. Tabuh ini diberi tangkai sebagai pegangan.

Laras slendro dan laras pelog memiliki nada dengan suasana berbeda. Laras slendro menghasilkan suasana yang gembira, ringan, dan terasa lebih damai. Namun, laras slendro juga dapat memberikan suasana sedih, romantis, dan rindu. Slendro memiliki lima nada per oktaf, yaitu 1 2 3 5 6 dengan interval yang sama. Bentuk khas gambang laras slendro diperlihatkan pada **Gambar 1**.



**Gambar 1.** Gambang laras slendro; (a) Gambang, (b) Bilah gambang.

### Gelombang Bunyi

Bunyi gamelan merupakan gelombang akustik, atau gelombang bunyi. Gelombang bunyi mampu merambat melalui zat padat, cair, maupun gas yang diakibatkan adanya transmisi gelombang oleh partikel zat (bahan) berupa rambatan osilasi di dalam arah penjalaran gelombang [1]. Gelombang yang periodik akan menimbulkan suatu sensasi yang menyenangkan (jika intensitasnya tidak terlalu tinggi) seperti bunyi musik, sedangkan bunyi yang mempunyai gelombang tidak periodik akan terdengar sebagai derau (*noise*) [6]. Pada contoh bunyi alat musik, dihasilkan warna bunyi yang bagus dan teratur untuk didengarkan dan dinikmati. Hal ini disebabkan bunyi yang terbentuk berfrekuensi tetap sehingga keharmonisannya juga teratur [7].

Getaran ketika bilah dipukul akan menghasilkan suatu gelombang bunyi, dan akan membuat molekul penyusun kayu ikut bergetar. Pulsa gelombang akan menjalar di sepanjang batang zat padat (atau kayu). Persamaan gelombang tersebut :

$$\frac{\partial^2 \eta}{\partial x^2} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \eta}{\partial t^2}, \quad (1)$$

dengan  $c^2 = Y/\rho$ . Berdasarkan perumusan tersebut,  $c$  sebagai cepat rambat gelombang pada batang bergantung pada modulus Young  $Y$  dan massa jenis batang  $\rho$  [8]. Cepat rambat gelombang dipengaruhi oleh panjang gelombang dan frekuensi,  $c = \lambda f$ . Massa jenis dipengaruhi oleh volume dan massa batang,  $\rho = m/V$ . Sehingga dari persamaan tersebut, didapatkan :

$$(\lambda f)^2 = YV/m. \quad (2)$$

### Fast Fourier Transform (FFT)

*Fast Fourier Transform* (FFT) merupakan sebuah algoritma yang digunakan untuk menghitung *Discrete Fourier Transform* (DFT) dalam pemrosesan sinyal digital secara *real time*. DFT merupakan metode transformasi matematis untuk sinyal waktu diskret menjadi domain frekuensi. Adapun FFT merupakan algoritma untuk membantu transformasi tersebut. FFT digunakan untuk mengurangi kompleksitas transformasi pada DFT [9]. Persamaan FFT sebagai berikut :

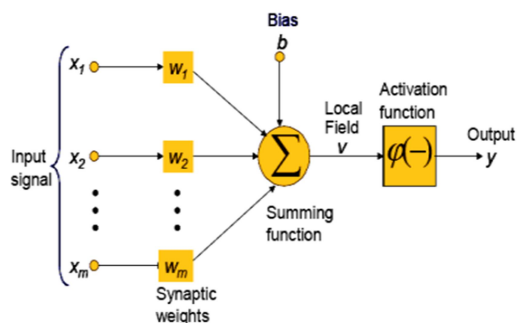
$$F(f_n) = \Delta t \sum_{k=0}^{N-1} g(t_k) e^{i2\pi n k / N}, \quad (3)$$

dengan  $F(f_n)$  sebagai amplitudo sumber frekuensi ( $n=1,2,3,\dots$ ),  $f_n$  sebagai frekuensi ke- $n$  ( $f_n = n/N$ ),  $F(t_k)$  merupakan amplitudo sebagai fungsi waktu,  $N$  merupakan jumlah data,  $k$  merupakan data ke- $k$ ,  $t_k$  keterangan waktu,  $W^n = e^{i2n\pi/N}$  sebagai konstanta DFT, dan nilai  $\Delta t$  sebagai selang waktu [10].

### Jaringan Syaraf Tiruan (JST)

Jaringan Syaraf Tiruan merupakan suatu sistem pemrosesan informasi yang mempunyai karakteristik menyerupai jaringan syaraf manusia [11]. Dalam pemrosesan informasi digunakan metode komputasi yang memiliki karakteristik pengolahan paralel (pengolahan data secara bersama agar meningkatkan kecepatan pengolahan data), pengolahan unsur dalam jumlah besar, dan toleransi kesalahan dengan batas nilai menggunakan fungsi *Mean Square Error* (MSE). Jaringan syaraf tiruan ini diasumsikan sebagai berikut.

1. Pemrosesan informasi terjadi pada elemen sederhana yang disebut neuron.
2. Isyarat mengalir di antara sel syaraf/neuron melalui suatu sambungan penghubung. Setiap sambungan penghubung memiliki bobot yang bersesuaian.
3. Setiap sel syaraf merupakan fungsi aktivasi terhadap isyarat hasil penjumlahan berbobot yang masuk kepadanya untuk menentukan isyarat keluarannya.



Gambar 2. Model Jaringan Syaraf Tiruan [12]

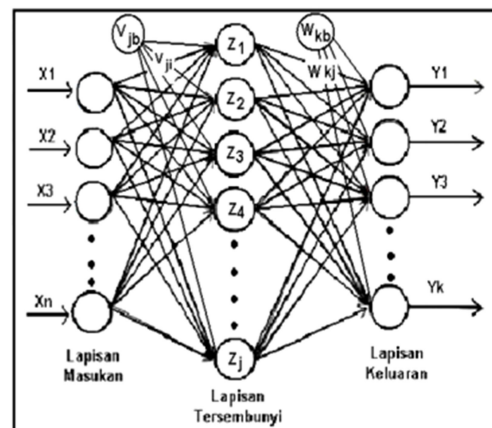
Jaringan syaraf tiruan memiliki sebuah aturan yang bersifat menyeluruh (*general rule*) sehingga model jaringan memiliki konsep dasar yang sama. Model sebuah Jaringan Syaraf Tiruan memiliki struktur umum yang diperlihatkan pada **Gambar 2**. Arsitektur

jaringan akan menentukan keberhasilan target karena tidak semua permasalahan dapat diselesaikan dengan arsitektur yang sama [13]. Pemilihan arsitektur jaringan disesuaikan dengan mempertimbangkan efektivitas kinerja jaringan yaitu ketepatan mengenali *input* dan kesesuaian dengan target serta kecepatan dalam memproses sinyal.

### Backpropagation

*Backpropagation* merupakan sebuah algoritma dan juga merupakan sebuah pola atau arsitektur jaringan yang digunakan untuk pelatihan jaringan. Model jaringan terdiri dari lapisan *input*, lapisan tersembunyi, dan lapisan *output* dengan setiap lapisan terdiri atas neuron-neuron. Penentuan jumlah neuron ditentukan secara eksperimental (*random*), karena belum ada pedoman pasti untuk menentukan jumlah neuron.

*Backpropagation* dengan lapisan tunggal memiliki keterbatasan dalam pengenalan pola. Keterbatasan ini dapat ditanggulangi dengan menambahkan satu atau beberapa lapisan tersembunyi. Algoritma ini memiliki kemampuan untuk mengenali arsitektur jaringan dengan cara melatih jaringan mendapat keseimbangan dan kemampuan untuk memberikan respon yang benar terhadap pola masukan serupa dengan pola yang dipakai selama pelatihan [12].



Gambar 3. Model jaringan backpropagation [12]

Pelatihan *backpropagation* meliputi 3 fase. Fase pertama adalah fase maju. Pola masukan dihitung maju mulai dari lapisan masukan hingga lapisan keluaran menggunakan fungsi aktivasi yang ditentukan. Fase kedua adalah fase mundur. Selisih antara keluaran jaringan dengan target yang diinginkan. Selisih ini disebut

dengan error atau kesalahan. Kesalahan tersebut dipropagasikan mundur, dimulai dari sambungan yang berhubungan langsung dengan unit-unit di lapisan keluaran. Fase ketiga adalah modifikasi bobot untuk menurunkan kesalahan. Ketiga fase tersebut diulang-ulang terus hingga kondisi penghentian dipenuhi. Umumnya kondisi penghentian yang sering dipakai adalah jumlah iterasi atau kesalahan. Iterasi akan dihentikan jika jumlah iterasi yang dilakukan sudah melebihi jumlah maksimum iterasi yang ditetapkan, atau jika kesalahan yang terjadi sudah lebih kecil dari toleransi yang diijinkan [14].

## METODE PENELITIAN

Prosedur penelitian identifikasi frekuensi bunyi gambang laras slendro dibagi menjadi empat tahap, yaitu pengambilan data, pengolahan data, pemodelan JST, dan pengujian sistem.

### Tahap Pengambilan Data

Pengambilan data diawali dengan melakukan pengukuran bilah untuk panjang, lebar, dan tebalnya (tinggi) pada dua gambang yang berbeda. Pengambilan data dengan cara memukul bilah gambang slendro menggunakan tabuh. Kemudian bunyi ditangkap oleh mikrofon dan direkam melalui perangkat lunak Nuendo. Pemukulan berada di tengah-tengah bilah dan dilakukan secara berulang untuk setiap bilah untuk mendapatkan nilai yang lebih dekat dengan nilai sebenarnya. Dalam penelitian ini perulangan dilakukan sebanyak 5 kali. Posisi peletakan mikrofon berada di depan bilah yang dipukul. Hal ini bertujuan untuk mengurangi *noise* terlalu banyak yang disebabkan oleh pantulan bunyi jika mikrofon berada di atas bilah. Susunan alat dalam pengambilan data diperlihatkan pada **Gambar 4**. Sampel dalam bentuk audio disimpan dalam format \*.wav. Rentang waktu sampel disamakan agar mudah untuk dianalisis menggunakan Audacity dan perlakuan ini tidak mempengaruhi analisis akhir.



**Gambar 4.** Rancangan pengambilan data

### Tahap Pengolahan Data

Pada tahap ini, pengolahan rekaman nada bilah untuk dijadikan data latih JST melalui tahap perhitungan frekuensi dengan FFT. Audio hasil rekaman masih dalam bentuk domain waktu, sehingga belum dapat diketahui nilai frekuensinya. Hal yang perlu dilakukan yaitu dengan cara mengubah audio domain waktu menjadi audio domain frekuensi menggunakan algoritma *Fast Fourier Transform* (FFT). Data diabsolutkan terlebih dahulu agar data tidak bernilai negatif. Plot data dalam grafik untuk mengetahui frekuensi fundamental/dominan atau *pitch* paling tinggi, dapat dilakukan perbesaran hingga terlihat jelas nilainya. Penentuan frekuensi fundamental dilakukan dengan bantuan software Audacity.

### Tahap Pemrosesan dengan JST

Tahap analisis berlanjut pada pemrosesan dengan JST menggunakan algoritma *backpropagation* dengan jumlah neuron yang bervariasi. Penentuan jumlah neuron belum dapat ditentukan karena belum terdapat pedoman yang pasti, sehingga dalam menentukan jumlah neuron dilakukan secara eksperimental (*random*). Variasi jumlah neuron bertujuan untuk mengetahui keakuratan jaringan oleh data yang diujikan. Penelitian ini memvariasikan jumlah neuron yaitu 80, 90, 100, 110, dan 120. Keakuratan tersebut dapat diketahui dari nilai MSE (*Mean Square Error*). Semakin rendah MSE, maka semakin pintar jaringan yang tersusun dari neuron-neuron tersebut. Nilai ini ditampilkan oleh JST ketika pelatihan jaringan selesai.

### Tahap Pengujian Sistem

Pengujian sistem sangat diperlukan untuk mengetahui apakah sistem dapat bekerja dengan baik atau tidak. Tujuan pengujian ini untuk mengetahui performa sistem dalam mengenali *input* yang diberikan.

Pengujian dapat dikatakan berhasil apabila sistem mampu mengenali nada sesuai dengan penala. Dengan kata lain, apabila penala menetapkan sampel sebagai gambang bagus (tidak sumbang) dan sistem mengidentifikasinya sebagai gambang bagus, maka sistem sesuai dengan penala. Apabila penala menetapkan sampel sebagai gambang tidak bagus (sumbang) dan sistem mengidentifikasinya sebagai gambang tidak bagus, maka sistem sesuai dengan penala. Pengujian dikatakan gagal

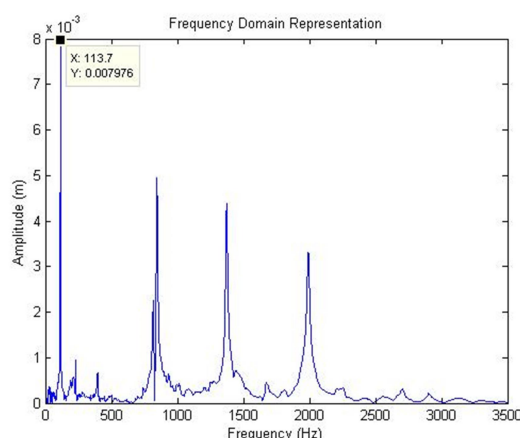
apabila sistem tidak mampu mengenali sampel yang diberikan dan tidak sesuai dengan penala. Sehingga dari pengujian tersebut dapat diperoleh tingkat kesesuaian antara sistem dan penala.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Spektrum Frekuensi Antar Sampel

Grafik amplitudo terhadap frekuensi yang menampilkan spektrum frekuensi sampel oleh Matlab diperlihatkan pada **Gambar 5**. Untuk mempermudah analisis dalam menentukan nada menggunakan software Audacity dengan meninjau frekuensi fundamental pada grafik ditandai dengan *pitch* tertinggi.

#### Sampel Bilah 1 Gambar 1



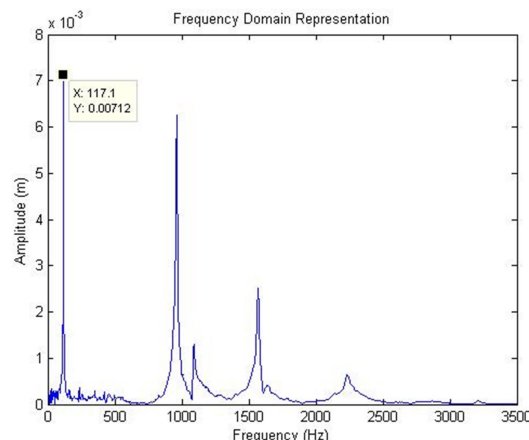
**Gambar 5.** Hasil analisis sampel bilah 1 gambar 1

Berdasarkan **gambar 5** hasil analisis *Fast Fourier Transform* yang dilakukan terhadap sampel di atas. Terdapat puncak frekuensi pertama (frekuensi fundamental), yang jelas muncul pada 113,7 Hz nada A#2 pada kelima sampel. Terdapat puncak kedua, ketiga, keempat, kelima, dan keenam dengan amplitudo yang lebih kecil pada kelima sampel terletak pada frekuensi 227,4 Hz nada A#3; 395,0 Hz nada G4; 843,8 Hz G#5; 1.371,0 Hz F6; dan 1991 Hz nada B6. Pola suara seperti ini dalam laras slendro disebut nada 5.

#### Sampel Bilah 1 Gambar 2

Berdasarkan **gambar 6** hasil analisis *Fast Fourier Transform* yang dilakukan terhadap sampel di atas. Terdapat puncak frekuensi pertama (frekuensi fundamental) yang jelas muncul pada 117,1 Hz nada A#2 pada kelima

sampel. Terdapat puncak kedua, ketiga, keempat, dan kelima dengan amplitudo yang lebih kecil pada kelima sampel terletak pada frekuensi 963,0 Hz nada B5; 1.090,0 Hz nada C#6; 1.569,0 Hz G#6; dan 2235 Hz C#7. Pola suara seperti ini dalam laras slendro disebut nada 5.



**Gambar 6.** Hasil analisis sampel bilah 1 gambar 2

### Perbandingan Spektrum Frekuensi Gambar 1 dan Gambar 2

Untuk membandingkan spektrum frekuensi kedua gambar, diambil contoh bilah 1 pada kedua sampel yang memiliki frekuensi fundamental pada 113,7 Hz nada A#2 dan 117,1 Hz nada A#2. Kedua sampel memiliki nada yang sama tetapi memiliki spektrum yang berbeda. Pengrajin yang membuat kedua gambar ketika melaras nada menganggap bahwa keduanya adalah sama, yaitu mempunyai bunyi yang sama. Dalam hal ini dapat diartikan bahwa ketika suatu bunyi memiliki frekuensi fundamental yang sama atau nada yang sama, maka hal tersebut juga berlaku terhadap pola spektrum bunyinya, dianggap sama. Dengan kemampuan mendengar dan mengingat *pitch* yang relatif, manusia dapat mendengar nada satu oktaf dan masih dapat mendengar nada pada oktaf yang berbeda. Perubahan frekuensi terkecil yang dapat dideteksi oleh orang dewasa dengan pendengaran normal termasuk dalam 0,2-0,3% untuk frekuensi di antara 250-4.000 Hz dan meningkat cepat dengan peningkatan frekuensi di atas 4 kHz [15].

Dalam hal ini dapat diketahui bahwa manusia lebih sensitif untuk mendengar nada murni atau *pitch* tertinggi (frekuensi fundamental) dibandingkan dengan *pitch*s lainnya yang



muncul. Oleh karena itu, pada nada yang sama tetapi spektrum frekuensi (warna bunyi) berbeda dianggap sama oleh manusia.

### Frekuensi Fundamental

Frekuensi tiap-tiap bilah gambang dapat dilihat dalam **Tabel 1**. Frekuensi fundamental ditandai

dengan pitch tertinggi yang dapat dilihat dalam grafik. Sepuluh sampel dari 2 gambang slendro yang sudah diketahui nilai frekuensi fundamentalnya, kemudian dihitung nilai rata-rata populasi dan standar deviasinya. Standar deviasi diperlukan sebagai nilai toleransi agar mengetahui angka penting dalam rentang frekuensi tersebut.

**Tabel 1.** Frekuensi fundamental

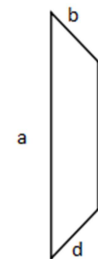
Bilah	Frekuensi Sampel (Hz)										Frekuensi Rata-rata (Hz)	Standar Deviasi (Hz)	Frekuensi Fundamental (Hz)
	Gambang 1					Gambang 2							
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5			
1	113,722	113,722	113,722	113,722	113,722	117,087	117,760	117,087	117,760	117,760	115,606	2,001	115,6 ± 2,0
2	119,106	119,106	119,106	119,106	119,106	127,180	127,180	127,180	127,180	127,180	123,143	4,255	123,1 ± 4,2
3	137,947	137,947	137,947	137,947	137,947	139,293	139,293	139,293	139,293	139,293	138,620	0,709	138,6 ± 0,7
4	154,770	154,770	154,770	154,770	154,770	158,807	158,134	158,134	158,807	158,807	156,654	2,001	156,6 ± 2,0
5	181,686	181,686	181,686	181,686	181,686	176,303	176,303	176,303	176,303	176,303	178,995	2,837	178,9 ± 2,8
6	198,509	198,509	198,509	198,509	198,509	203,220	203,220	203,220	203,893	203,220	200,932	2,562	200,9 ± 2,5
7	230,136	230,809	230,136	230,809	230,136	236,865	236,865	236,865	236,865	236,865	233,635	3,413	233,6 ± 3,4
8	269,838	269,838	269,838	269,165	269,838	273,203	273,203	273,203	273,203	273,875	271,520	1,936	271,5 ± 1,9
9	318,288	318,288	318,288	318,288	318,288	317,615	317,615	317,615	317,615	317,615	317,952	0,355	317,9 ± 0,3
10	359,335	359,335	359,335	359,335	360,008	365,392	365,392	365,392	365,392	365,392	362,431	3,128	362,4 ± 3,1
11	411,150	411,150	411,150	411,150	411,150	414,514	414,514	414,514	414,514	414,514	412,832	1,773	412,8 ± 1,7
12	482,478	482,478	482,478	482,478	482,478	483,151	483,151	483,151	483,151	483,151	482,815	0,355	482,8 ± 0,3
13	547,751	547,751	547,751	547,751	547,751	554,480	554,480	554,480	554,480	554,480	551,116	3,546	551,1 ± 3,5
14	625,136	625,136	625,136	625,136	625,136	629,846	630,519	629,846	629,846	629,846	627,558	2,561	627,5 ± 2,5
15	728,091	728,091	728,091	728,091	728,091	732,129	732,129	732,129	732,129	732,129	730,110	2,128	730,1 ± 2,1
16	848,543	848,543	847,870	848,543	847,870	849,216	849,216	849,216	849,216	849,216	848,745	0,554	848,7 ± 0,5
17	956,209	956,882	956,882	956,209	956,209	974,377	974,377	974,377	974,377	974,377	965,428	9,437	965,4 ± 9,4
18	1088,100	1088,100	1088,100	1088,770	1088,770	1090,120	1090,120	1090,120	1090,120	1090,120	1089,244	0,955	1089,2 ± 0,9
19	1255,650	1255,650	1255,650	1255,650	1255,650	1254,980	1254,980	1254,980	1254,980	1254,980	1255,315	0,353	1255,3 ± 0,3
20	1483,100	1483,770	1483,770	1483,770	1483,770	1479,060	1478,390	1478,390	1478,390	1479,060	1481,147	2,643	1481,1 ± 2,6

Berdasarkan **Tabel 1**, frekuensi fundamental yang didapat dari hasil analisis yaitu  $115,6 \pm 2,0$  Hz bilah 1;  $123,1 \pm 4,2$  Hz bilah 2;  $138,6 \pm 0,7$  Hz bilah 3;  $156,6 \pm 2,0$  Hz bilah 4;  $178,9 \pm 2,8$  Hz bilah 5;  $200,9 \pm 2,5$  Hz bilah 6;  $233,6 \pm 3,4$  Hz bilah 7;  $271,5 \pm 1,9$  Hz bilah 8;  $317,9 \pm 0,3$  Hz bilah 9;  $362,4 \pm 3,1$  Hz bilah 10;  $412,8 \pm 1,7$  Hz bilah 11;  $482,8 \pm 0,3$  Hz bilah 12;  $551,1 \pm 3,5$  Hz bilah 13;  $627,5 \pm 2,5$  Hz bilah 14;  $730,1 \pm 2,1$  Hz bilah 15;  $848,7 \pm 0,5$  Hz bilah 16;  $965,4 \pm 9,4$  Hz bilah 17;  $1.089,2 \pm 1,0$  Hz bilah 18;  $1.255,3 \pm 0,4$  Hz bilah 19; dan  $1481,1 \pm 2,6$  Hz bilah 20. Nilai tersebut digunakan sebagai batas nilai sistem dalam mengidentifikasi nada bilah gambang slendro. Sebagai contoh pada bilah 1 memiliki batas nilai 113,722-117,491 Hz ketika suatu nada memiliki frekuensi dalam rentang tersebut, sistem akan mengidentifikasinya sebagai bilah 1 gambang slendro.

### Pengaruh Ukuran Bilah Terhadap Frekuensi

Bilah gambang ada yang berbentuk balok tipis dan prisma trapesium, tetapi untuk penelitian ini yang digunakan yaitu bilah bentuk prisma trapesium. Visualisasi bilah secara horizontal

pada **Gambar 7**. dengan  $a$  merupakan sisi panjang,  $b$  merupakan sisi miring atas,  $c$  merupakan sisi pendek,  $d$  merupakan sisi miring sisi bawah, dan  $t$  merupakan tebal bilah.



**Gambar 7.** Bentuk bilah gambang

Berdasarkan persamaan 2.2, volume berbanding lurus dengan kuadrat frekuensi. Apabila variabel lain dianggap tidak berpengaruh (konstan). Semakin besar dan tipis bilah, maka frekuensi semakin rendah. Sedangkan semakin kecil dan tebal bilah, maka frekuensi semakin tinggi.

Ketika membuat bilah, penala tidak memperhitungkan volumenya. Namun, ukuran (panjang, lebar, dan tebal) bilah tetap menjadi acuan penala agar bilah berukuran seragam. Sehingga ukuran bilah pada **Tabel 2** dapat

dijadikan sebagai acuan ukuran bilah. Apabila meninjau luas permukaan bilah, semakin luas permukaan bilah frekuensi yang dihasilkan semakin rendah. Sedangkan sempit permukaan bilah frekuensinya semakin tinggi. Dalam menala nada, penala menipiskan bilah agar mendapatkan nada yang sesuai sehingga tebal bilah bervariasi. Ini yang mengakibatkan hubungan volume dan frekuensi tidak linear.

Proses pembuatan nada oleh penala juga tidak memperhitungkan jenis kayu, tetapi masih

berpegang pada kayu keras. Sampel gambang yang digunakan pada penelitian ini terbuat dari kayu jati untuk bilahnya. Dengan menggunakan kayu jati, nada menjadi lebih harmoni.

Bilah kayu jati memiliki Modulus Young tinggi [16] dan densitas besar, sehingga menjadi kaku. Syarat utama pembuatan instrumen perkusi dari kayu yaitu kekerasan permukaan dan redaman internal rendah, sehingga nada dapat dipertahankan dengan baik [17].

**Tabel 2.** Pengaruh ukuran bilah terhadap frekuensi

Bilah	Gambang 1								Gambang 2							
	Ukuran (cm)					Volume (cm <sup>3</sup> )	Luas Permukaan (cm <sup>2</sup> )	Frekuensi (Hz)	Ukuran (cm)					Volume (cm <sup>3</sup> )	Luas Permukaan (cm <sup>2</sup> )	Frekuensi (Hz)
	a	b	c	d	t				a	b	c	d	t			
1	56,3	6,9	54,4	6,6	1,4	378,30	55,33	113,722	55,4	6,6	54,5	7,0	1,5	361,8	55,0	117,491
2	54,4	6,2	53,2	6,2	1,1	331,99	53,80	119,106	54,1	7,3	52,6	7,5	1,6	387,4	53,4	127,180
3	53,0	6,4	51,8	5,9	1,4	333,88	52,40	137,947	52,1	6,6	50,5	6,7	1,7	336,1	51,3	139,293
4	51,1	6,1	50,2	6,0	1,5	308,12	50,65	154,770	50,2	6,6	48,8	6,3	1,9	324,9	49,5	158,538
5	49,5	6,2	47,9	6,0	1,5	299,42	48,70	181,686	48,5	6,4	47,2	6,7	1,5	304,7	47,9	176,303
6	48,0	6,0	46,3	6,1	1,6	280,05	47,15	198,509	47,3	6,2	45,4	6,2	1,9	284,0	46,4	203,355
7	46,1	5,7	44,9	5,7	1,5	257,91	45,50	230,405	44,5	5,8	44,2	5,8	1,9	257,1	44,4	236,865
8	44,4	6,3	43,5	5,1	1,6	276,18	43,95	269,703	43,7	6,0	42,6	5,5	2,0	257,8	43,2	273,337
9	42,8	5,6	41,4	5,7	1,6	233,91	42,10	318,288	41,7	5,1	41,2	5,6	1,9	211,1	41,5	317,615
10	41,3	6,0	39,8	6,1	1,5	241,39	40,55	359,469	40,8	5,2	39,6	5,4	2,0	207,6	40,2	365,392
11	40,0	5,8	38,2	5,9	1,8	224,03	39,10	411,150	39,5	5,0	38,2	5,1	1,9	192,3	38,8	414,514
12	37,3	5,5	36,5	5,1	1,2	202,41	36,90	482,478	38,2	5,6	36,5	5,4	2,1	206,7	37,4	483,151
13	36,8	5,2	35,5	5,3	1,2	186,49	36,13	547,751	36,6	5,5	35,2	5,5	2,0	195,8	35,9	554,480
14	34,9	5,8	33,8	5,9	1,3	198,33	34,35	625,136	34,9	5,4	34,0	5,2	1,8	185,4	34,5	629,981
15	33,5	5,2	31,8	5,6	2,0	167,50	32,65	728,091	33,7	5,7	32,3	5,4	2,0	186,6	33,0	732,129
16	32,1	5,8	30,4	5,6	1,9	179,29	31,25	848,274	32,2	5,3	30,7	4,7	2,0	165,0	31,5	849,216
17	30,3	5,2	29,0	5,0	2,1	151,48	29,65	956,478	30,9	5,1	29,5	5,2	2,0	152,6	30,2	974,377
18	29,0	5,0	27,8	4,8	1,2	140,97	28,40	1088,368	29,5	5,0	28,2	5,0	1,8	143,0	28,9	1090,120
19	26,9	5,3	25,8	5,4	1,9	138,90	26,35	1255,650	28,1	5,1	26,8	5,0	2,1	138,9	27,5	1254,980
20	26,2	4,5	25,4	4,2	2,2	115,64	25,80	1483,636	26,9	4,1	25,7	4,2	2,2	106,7	26,3	1478,658

**Tabel 3.** Hasil training JST dengan variasi neuron

Neuron	Training	Hasil Training			Rerata Hasil			Akurasi (%)
		MSE	Epochs	Waktu (s)	MSE	Epochs	Waktu (s)	
80	1	8,86E-05	133	3,752	9,094E-05	133	3,702	99,992
	2	9,44E-05	133	3,914				
	3	8,98E-05	133	3,439				
90	1	8,65E-05	118	2,882	8,752E-05	118	2,894	99,993
	2	8,85E-05	118	2,896				
	3	8,75E-05	118	2,903				
100	1	8,80E-05	106	2,862	8,725E-05	106	3,311	99,993
	2	8,68E-05	106	3,462				
	3	8,69E-05	106	3,611				
110	1	8,62E-05	96	2,668	8,529E-05	96	2,678	99,993
	2	8,11E-05	96	2,784				
	3	8,86E-05	96	2,582				
120	1	8,13E-05	88	2,558	7,992E-05	88	2,614	99,993
	2	7,96E-05	88	2,692				
	3	7,88E-05	88	2,592				

### Model Jaringan Syaraf Tiruan

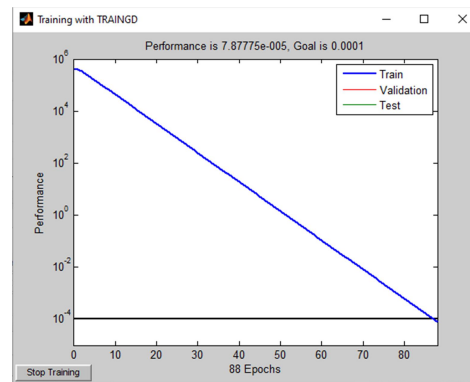
Penelitian ini menggunakan tiga lapisan yaitu satu lapisan *input*, satu lapisan tersembunyi, dan

satu lapisan *output*. Pada lapisan *input* dan lapisan *output* terdapat 20 neuron yang tidak berubah pada saat variasi neuron pada lapisan tersembunyi. Terdapat neuron pada layar

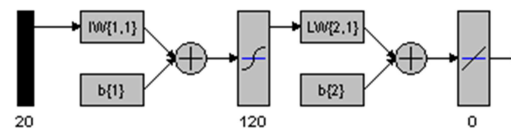
tersembunyi yang divariasikan, yaitu dari 80, 90, 100, 110, dan 120. Pelatihan menggunakan fungsi aktivasi “tansig” pada lapisan *input* menuju lapisan tersembunyi dan fungsi linear “purelin” pada lapisan tersembunyi menuju lapisan *output*, sedangkan fungsi transfer jaringan menggunakan “traingd”.

*Training* JST untuk satu variasi neuron dilakukan sebanyak tiga kali pengulangan dengan tujuan untuk mengetahui presisi. Berdasarkan **Tabel 3**, pada 80 neuron MSE bernilai  $9,094\text{E-}05$ , *epochs* atau iterasi sebanyak 133 kali, dan kecepatan kerja 3,7 detik; pada 90 neuron MSE bernilai  $8,752\text{E-}05$ , *epochs* sebanyak 118 kali, dan kecepatan kerja 2,9 detik; pada 100 neuron MSE bernilai  $8,725\text{E-}05$ , *epochs* sebanyak 106 kali, dan kecepatan kerja 3,3 detik; pada 110 neuron MSE bernilai  $8,529\text{E-}05$ , *epochs* sebanyak 96 kali, dan kecepatan kerja 2,7 detik; pada 120 neuron MSE bernilai  $7,992\text{E-}05$ , *epochs* sebanyak 88 kali, kecepatan kerja 2,6 detik dengan akurasi tertinggi.

Berdasarkan hasil tersebut, model JST yang digunakan dalam sistem penala nada gambang slendro terdiri atas satu lapisan *input* dengan 20 neuron, satu lapisan tersembunyi dengan 120 neuron, dan satu lapisan *output* dengan 20 neuron. Kinerja jaringan tersebut lebih cepat dari variasi neuron lain dengan *error* yang rendah, sehingga semakin tepat dalam mencapai target berdasarkan *input* yang diberikan. Hasil pelatihan pada model ini dapat dilihat dalam **Gambar 8** yang menunjukkan 88 *epochs* dan arsitektur jaringan pada **Gambar 9**.



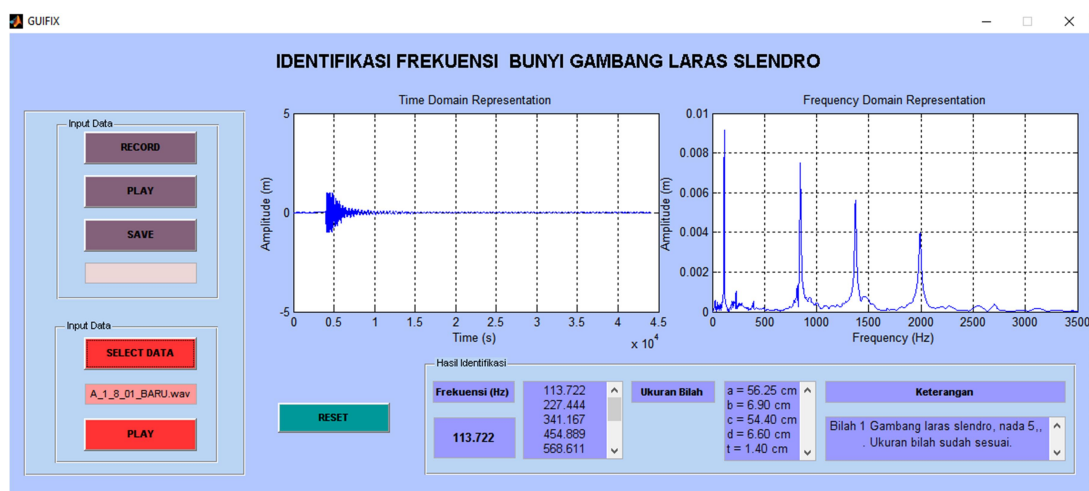
**Gambar 8.** Epochs pada 120 neuron



**Gambar 9.** Arsitektur jaringan

### Hasil Pengujian Sistem

Dalam mempermudah penggunaan, tampilan sistem menggunakan *Graphical User Interface* (GUI) yang dapat dilihat pada **Gambar 10**. Sistem penalaan gambang slendro mengacu pada frekuensi fundamental saja, sehingga frekuensi lain yang muncul setelah frekuensi fundamental belum dapat dideteksi. Keterbatasan ini mengakibatkan warna bunyi bilah tidak dapat teridentifikasi. Warna bunyi merupakan kajian penting dalam suatu bunyi untuk membedakan bunyi lainnya pada frekuensi yang sama. Akan tetapi penelitian ini tidak akan membuat warna bunyi seragam karena sensitivitas penala berbeda-beda.



**Gambar 10.** Hasil identifikasi oleh sistem



Pada penelitian ini, besar toleransi penala tidak diukur secara pasti. Oleh sebab itu, perlu meninjau secara kuantitatif besar toleransi penala. Apabila nilai toleransi dari beberapa

penala sudah diketahui, maka pentingnya standarisasi perlu dilakukan dan sistem ini berpotensi untuk dikembangkan menjadi perangkat standarisasi.

**Tabel 4.** Hasil pengujian sistem

Sampel	Penala	Sistem	Keterangan	Sampel	Penala	Sistem	Keterangan
1	1	1	Sesuai	21	1	0	Tidak sesuai
2	1	1	Sesuai	22	1	1	Sesuai
3	1	1	Sesuai	23	1	0	Tidak sesuai
4	1	1	Sesuai	24	1	0	Tidak sesuai
5	1	1	Sesuai	25	0	0	Sesuai
6	1	1	Sesuai	26	0	0	Sesuai
7	1	1	Sesuai	27	1	1	Sesuai
8	1	1	Sesuai	28	0	0	Sesuai
9	1	0	Tidak sesuai	29	1	0	Tidak sesuai
10	1	1	Sesuai	30	1	0	Tidak sesuai
11	1	1	Sesuai	31	1	0	Tidak sesuai
12	1	0	Tidak sesuai	32	1	0	Tidak sesuai
13	1	1	Sesuai	33	1	0	Tidak sesuai
14	1	1	Sesuai	34	1	0	Tidak sesuai
15	1	1	Sesuai	35	1	0	Tidak sesuai
16	1	0	Tidak sesuai	36	1	0	Tidak sesuai
17	1	1	Sesuai	37	1	0	Tidak sesuai
18	1	0	Tidak sesuai	38	1	0	Tidak sesuai
19	1	0	Tidak sesuai	39	1	0	Tidak sesuai
20	1	0	Tidak sesuai	40	1	0	Tidak sesuai

Keterangan :

1 = teridentifikasi sebagai gambang bagus

0 = teridentifikasi sebagai gambang tidak bagus (sumbang)

Berdasarkan **Tabel 4**, dapat diketahui bahwa 19 sampel atau 47,5% sampel dapat dideteksi benar dan 21 sampel atau 52,5% tidak dapat dideteksi benar oleh sistem. Sampel 1 hingga 20 menggunakan gambang yang sama ketika pelatihan, sehingga tingkat kesesuaian yang didapat lebih tinggi dibandingkan dengan sampel 21 hingga 40 yang menggunakan gambang lain oleh penala lain.

Sampel gagal dideteksi benar disebabkan memiliki frekuensi fundamental berbeda dari data latih, sehingga sistem menganggap bahwa sampel tersebut berasal dari gambang yang telah sumbang. Frekuensi fundamental yang dibaca oleh sistem memiliki toleransi yang kecil yakni 0,76% dan sesuai dengan pelatihan, sehingga sulit menggeneralisasi data uji. Sedangkan penala memiliki toleransi yang lebih lebar, sehingga hasil identifikasi sistem jauh lebih sempit.

Penyebab kinerja buruk pada *machine learning* adalah kelebihan atau kekurangan data. Sistem penala gambang slendro ini dibuat dengan data latih yang sedikit. Performa sistem bagus pada data pelatihan dan generalisasi buruk pada data baru, ini yang disebut *overfitting*. *Overfitting* terjadi ketika sistem mempelajari

detail dan *noise* dalam data latih sebagai konsep oleh sistem. Konsep ini tidak berlaku untuk data baru, sehingga kemampuan untuk menggeneralisasi sulit dilakukan [18]. Oleh sebab itu, sistem ini mengalami *overfitting*. Rendahnya kesesuaian juga disebabkan oleh faktor lainnya, yaitu kondisi lingkungan sekitar. Kondisi yang dimaksud adalah tingkat kebisingan di sekitar pengujian. Sehingga disarankan ketika sistem digunakan untuk menala, maka kondisi seperti ini perlu diperhatikan.

## KESIMPULAN

1. Spektrum frekuensi ditandai dengan adanya frekuensi fundamental dan diikuti oleh frekuensi lainnya. Frekuensi fundamental masing-masing bilah gambang laras slendro yaitu  $115,6 \pm 2,0$  Hz bilah 1;  $123,1 \pm 4,2$  Hz bilah 2;  $138,6 \pm 0,7$  Hz bilah 3;  $156,6 \pm 2,0$  Hz bilah 4;  $178,9 \pm 2,8$  Hz bilah 5;  $200,9 \pm 2,5$  Hz bilah 6;  $233,6 \pm 3,4$  Hz bilah 7;  $271,5 \pm 1,9$  Hz bilah 8;  $317,9 \pm 0,3$  Hz bilah 9;  $362,4 \pm 3,1$  Hz bilah 10;  $412,8 \pm 1,7$  Hz bilah 11;  $482,8 \pm 0,3$  Hz bilah 12;  $551,1 \pm 3,5$  Hz bilah 13;  $627,5 \pm 2,5$  Hz bilah 14;  $730,1 \pm$

- 2,1 Hz bilah 15;  $848,7 \pm 0,5$  Hz bilah 16;  $965,4 \pm 9,4$  Hz bilah 17;  $1.089,2 \pm 1,0$  Hz bilah 18;  $1.255,3 \pm 0,4$  Hz bilah 19; dan  $1.481,1 \pm 2$ , Hz 6 bilah 20.
2. Ukuran bilah berpengaruh terhadap frekuensi bunyi yang dihasilkan ditinjau dari luas permukaannya. Semakin lebar permukaan bilah, maka frekuensi semakin rendah. Sedangkan semakin sempit permukaan, maka frekuensi semakin tinggi.
  3. Sistem penala gambang slendro menggunakan JST dapat mendeteksi secara benar 47,5% sampel dalam pengujian.

Untuk mendapatkan frekuensi fundamental yang lebih eksak perlu dilakukan pelatihan dengan jumlah sampel gambang dan penala yang lebih banyak.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Resnick, dan D. Haliday, *Fisika*. (Diterjemahkan oleh Pantur Silaban dan Erwin Sucipto), Gelora Aksara, . Bandung, 1995
- [2] Mitrayana dan V.J.Cytasari, “Pengukuran Frekuensi Bunyi Saron Demung Laras Pelog Gamelan Jawa Menggunakan Perangkat Lunak Visual Analyser”, *Jurnal Fisika Indonesia* 28(54) (2014).
- [3] E. Trisnowati, “Analisis Frekuensi pada Gong Laras Slendro”, *Indonesian Journal of Sains and Education* 1(1) (2017).
- [4] Faradiba, “Pengenalan Pola Sinyal Suara Manusia Menggunakan Metode Backpropagation Neural Network”, *Jurnal Edu. Math. Sains* 2(1) (2017).
- [5] P.W. Arta, *Perakitan Gambang Kayu Versi Sudono Sebuah Kajian Organologis*, Institut Seni Indonesia Yogyakarta, Bantul, 2016.
- [6] R. Resnick, dan D. Haliday, *Fisika Jilid 2*, Erlangga, Jakarta, 1997.
- [7] D.C. Giancoli, *Fisika Edisi Kelima Jilid 1*, Erlangga, Jakarta, 1998.
- [8] H.J. Pain, *The Physics of Vibrations and Waves Six Edition*, John Wiley & Sons Ltd, Chichester, 2005.
- [9] H.Sujadi, I. Sopiandi, dan A. Mutaqin. *Sistem Pengenalan Suara Menggunakan Algoritma FFT (Fast Fourier Transform)*, Universitas Majalengka, Majalengka, 2017.
- [10] E. Winayanti, *Analisis Karakteristik Spektrum Intensitas Akord Mayor dan Minor pada Alat Musik Gitar*, Skripsi, Universitas Jenderal Soedirman, Purwokerto, 2019.
- [11] A. Hermawan, *Jaringan Saraf Tiruan, Teori dan Aplikasinya*, Andi Offset, Yogyakarta, 2006.
- [12] A. Jumarwanto, R. Hartanti., D.Prastiyanto. “Aplikasi Jaringan Saraf Tiruan Backpropagation untuk Memprediksi Penyakit THT di Rumah Sakit Mardi Rahayu Kudus”, *Jurnal Teknik Elektro* 1(1) (2007).
- [13] F. Zola, G. W. Nurcahyo., dan J. Santony. “Jaringan Syaraf Tiruan Menggunakan Algoritma Backpropagation untuk Memprediksi Prestasi Siswa”, *Jurnal Teknologi dan Open Source* 1(1) (2018).
- [14] J.J. Siang, *Jaringan Syaraf Tiruan dan Pemrogramannya Menggunakan Matlab*, Andi, Yogyakarta, 2009.
- [15] B. C. Moore, “Frequency Difference Limens for Short-duration Tones”, *J. Acoust. Soc. Am.* 54 (1973) 610-619.
- [16] P. Rusnaldy dan N.Iskandar, “Pengukuran Modulus Elastisitas Berbagai Jenis Kayu Untuk Furnitur”, *Jurnal Rotasi* 11(4) (2009).