

PERBANDINGAN METODE ZCR DAN AUTOCORRELATION UNTUK MENGHITUNG FREKUENSI PADA GAMBELAN GENDER WAYANG

I Dewa Made Bayu Atmaja Darmawan
Program Studi Teknik Informatika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Udayana
Email: dewabayu@cs.unud.ac.id

ABSTRAK

Suatu sinyal suara khususnya instrumen gamelan gender memiliki frekuensi yang berbeda disetiap bilahnya. Frekuensi ini membedakan tinggi rendahnya nada yang dihasilkan. Frekuensi dihitung untuk mengetahui karakteristik dari suatu bilah gender wayang yang merupakan bagian dari tahap pelarasan. Pada tulisan ini dilakukan pengujian terhadap dua metode yang umum digunakan yaitu ZCR dan Autocorrelation untuk menghitung frekuensi bilah gender wayang. Suara yang dihasilkan oleh gender wayang memiliki sinyal yang kompleks dan inhamoni. Inharmoni berarti sinyal ini disusun berdasarkan beberapa frekuensi dimana frekuensi-frekuensi tersebut tidak kelipatan dari frekuensi dasarnya. Pada pengujian yang dilakukan diketahui ZCR dan Autocorrelation mampu untuk menghitung frekuensi dari sinyal murni yang dibangkitkan berdasarkan frekuensi setiap bilah gender wayang. Namun, hanya Autocorrelation saja yang mampu untuk menghitung frekuensi yang baik dari sinyal bilah gender wayang dengan memiliki rata-rata selisih yang kecil, yaitu sebesar 3,3953 Hz.

Kata kunci: Frekuensi, Zero Crossing Rate (ZCR), Auto Correlation, Gender Wayang

ABSTRACT

Every gamelan gender blades have different frequencies. This distinguishes the high and low frequency tones produced. Frequency is calculated to determine the characteristics of a gender wayang blade which is part of the tunings stage. In this paper carried out the testing of two methods commonly used are ZCR and Autocorrelation to calculate the frequency of gender wayang blades. The sound produced by gender wayang has a complex signal and inharmony. Inharmony means the signal is based on several frequencies where these frequencies are not multiples of the fundamental frequency. According to the tests result, ZCR and Autocorrelation able to calculate the frequency of a pure signal, which generated by the frequency of each blade gender wayang. However, only Autocorrelation are able to calculate the frequency of a Gender Wayang signal with average difference is small about 3.3953 Hz.

1 PENDAHULUAN

Instrumen gambelan gender wayang adalah salah satu gamelan tradisional Bali yang masih banyak digunakan pada saat ini. Gamelan ini memiliki laras selendro yang berbeda dengan gamelan gong kebya. Pada laras selendro frekuensi interval antar nada hampir sama, hal ini mendekati dengan konsep instrumen moderen yang kita kenal saat ini. Sinyal pada bilah gender wayang bersifat inharmoni. Hal ini terlihat dari sebaran frekuensi harmoni yang terkandung dalam sinyal suara gender wayang tidak tepat kelipatan dari frekuensi dasarnya.

Pelarasan adalah sebuah upaya untuk menentukan suara yang sesuai dengan nada yang diinginkan. Salah satu yang mempengaruhi tinggi rendahnya suatu nada adalah frekuensi. Semakin tinggi frekuensi yang dimiliki suatu gelombang maka nada yang dihasilkan akan semakin tinggi, begitu juga sebaliknya. Oleh karena itu alat ukur frekuensi dapat digunakan untuk mengetahui apakah suatu alat musik atau gender wayang sudah memiliki nada yang sesuai atau tidak dari suara seharusnya berdasarkan frekuensi yang telah diketahui.

Metode yang dapat digunakan dalam menghitung frekuensi dari suatu sinyal suara adalah Zero Crossing Rate (ZCR) dan Autocorrelation. Kedua metode tersebut adalah metode yang umum

digunakan pada alat hitung frekuensi untuk melaraskan alat musik moderen seperti gitar, biola, dll. Tulisan ini akan menguji kedua metode tersebut untuk menghitung frekuensi sinyal gambelan gender wayang yang bersifat inharmoni dan memiliki gelombang kompleks.

2 NADA HARMONI DAN INHARMONI

Nada sederhana terdiri hanya dari sebuah frekuensi, namun nada kompleks yang pada umumnya merupakan nada yang terdengar terdiri dari beberapa frekuensi bagian. Nada kompleks dapat bersifat harmonis atau inharmonis. Nada harmonis adalah ketika semua frekuensi harmonis merupakan kelipatan integer dari frekuensi dasarnya (f_0). Frekuensi dasar merupakan frekuensi terendah dari suatu sinyal yang dapat didengar oleh pendengaran manusia. Manusia dapat mendengar hanya pada spektrum frekuensi 20Hz hingga 20 kHz. Frekuensi harmonis pada bentuk sinyal ini dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$f_n = n f_0 \quad (1)$$

dimana n = bilangan bulat sebagai nomer harmonis (misalnya: 1,2,3...n)

Nada inhormanis adalah ketika frekuensi harmonis tidak tepat sama dengan kelipatan bilangan bulat dari frekuensi dasar. Frekuensi tersebut juga disebut sebagai frekuensi bagian. Alat musik yang menghasilkan nada ini contohnya adalah alat music petik atau pukul seperti piano, gitar dan gamelan. Frekuensi bagian pada nada inharmonis piano dapat dihitung sebagai akibat dari keberadaan koefisien inharmonis B , sebagai berikut[2]:

$$f_n = n f_0 (1 + B n^2)^{0,5} \quad (2)$$

$$B = \pi^3 Q d^4 / (64 l^2 T) \quad (3)$$

Timbre atau disebut juga sebagai warna suara adalah parameter yang digunakan untuk dapat membedakan suara dengan *pitch* dan *amplitudo* yang sama sebagai instrumen atau alat musik yang berbeda.

3 GENDER WAYANG

Gender adalah alat musik metalofon yang bilahnya dibuat dari bahan logam yaitu kerawang (perunggu), campuran antara tembaga dan timah. Bilah-bilah tersebut digantung di atas resonator bambu. Gender terdiri dari sepuluh buah bilah yang dipukul dengan alat pukul terbuat dari kayu yang disebut sebagai panggul. Gender terdiri dari beberapa macam sesuai dengan fungsinya. Gender pada gamelan Gong Kebyar meliputi giying (ugal), Pemade, Kantil, Jegogan, Jublag, dan Penyacah.

Selain pada gamelan gong kebyar, gender juga digunakan untuk mengiringi penampilan wayang kulit yang kemudian disebut sebagai gender wayang. Berbeda dengan gender pada gamelan gong kebyar yang dipukul dengan tangan kanan, gender wayang dipukul dengan menggunakan dua tangan.

Laras [3] gamelan bali adalah urutan nada-nada dalam satu oktaf yang sudah ditentukan tinggi rendah dan jarak nadanya. Gender wayang merupakan berjenis laras slendro lebih tepatnya laras slendro lima nada, berbeda dengan gamelan gong yang merupakan laras pelog. Seperti halnya pada laras pelog, laras slendro memiliki jarak interval yang berbeda-beda disetiap nadanya namun dengan interval yang hampir sama. Berikut ini adalah urutan nada-nada pada gender wayang dari nada terendah untuk lima nada pertama: ndong, ndeng, ndung, ndang, nding. Nada-nada tersebut diulang dengan frekuensi yang lebih tinggi untuk nada ke-6 hingga ke-10.

Gender wayang terdiri dari 4 jenis gender dengan jumlah bilah yang sama namun frekuensi yang berbeda. Jenis tersebut antara lain: Pemade pengumbang, Pemade pengisep, Kantil pengumbang, dan Kantil pengisep.



Gambar 1. Gender Wayang

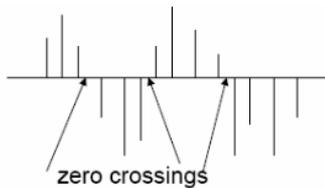
4 METODE

Pada bagian ini akan diuraikan beberapa metode yang dapat digunakan untuk menghitung frekuensi dasar dari suatu sinyal. *Pitch* pada musik didefinisikan sebagai fitur perseptual yang hanya berkaitan terhadap bagaimana manusia mempersepsikan sinyal suara tersebut dan ditemukan sebelum manusia mengenal frekuensi dan konten spectral . Namun, metode mendeteksi pitch memiliki permasalahan yang sama yaitu menentukan frekuensi dasar (f_0) yang merupakan frekuensi terendah dari sinyal suara. Oleh karena itu, metode mendeteksi pitch berkaitan dengan

menghitung frekuensi dasar (f_0) pada suatu sinyal suara.

4.1 Zero Crossing Rate (ZCR)

Zero Crossing Rate (ZCR) adalah salah satu jenis metode yang bekerja pada domain waktu. Pada konteks pewaktu sinyal diskrit, zero crossing terjadi ketika sample sebelumnya memiliki tanda aljabar yang berbeda dengan sample saat ini. Contohnya jika x adalah suatu sample sinyal, maka zero crossing terjadi ketika $x[i]$ adalah bilangan positif dan $x[i-1]$ adalah negative begitu juga kebalikannya. Metode Zero Crossing Rate (ZCR) dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Zero Crossings

ZCR kemudian dapat didefinisikan sebagai berikut [4]:

$$Z_n = \sum_{m=-\infty}^{\infty} |\text{sgn}[x(m)] - \text{sgn}[x(m-1)]| w(n-m) \quad (4)$$

dimana,

$$\text{sgn}[x(n)] = \begin{cases} 1, & x(n) \geq 0 \\ -1, & x(n) < 0 \end{cases} \quad (5)$$

dan

$$w(n) = \begin{cases} \frac{1}{2N} & \text{for } 0 \leq n \leq N-1 \\ 0 & \text{for, otherwise} \end{cases} \quad (6)$$

Implementasi dilakukan dengan menggunakan aplikasi Matlab. Sebelumnya sinyal yang diinputkan ke dalam matlab, diubah bentuknya menjadi *envelope* dengan menggunakan transformasi Hilbert. Hasil dari transformasi ini kemudian dihaluskan dengan menggunakan filter rerata bergerak. Ukuran window (n) yang digunakan adalah 50, dimana semakin besar nilai ini maka semakin halus envelope yang dihasilkan.

```
function envelope = GetEnvelope(wave)
    y = abs(hilbert(wave));
    n = 50;
    b=[];
    a=[1];
```

```
for k=1:n
    b= [b 1/n];
end;
for k=2:n
    a= [a 0];
end;
envelope = filter(b,a,y);
end
```

Gambar 3. Fungsi *Envelope*

Implementasi ZCR pada Matlab diperlihatkan pada Gambar. Sesuai dengan definisi dari ZCR implementasi dilakukan dengan menghitung terjadinya zero crossing ketika x_1 dan x_2 memiliki tanda aljabar yang berbeda. F_0 adalah frekuensi dasar yang dihitung berdasarkan terjadinya *zero crossing* (zc).

```
x1 = GetEnvelope(x);
x1 = x1-mean(x1);

x2=zeros(length(x1),1);
x2(1:length(x)-1)=x1(2:length(x));

zc=length(find((x1>0 & x2<0) | (x1<0 & x2>0)));
F0=0.5*Fs*zc/length(x);
```

Gambar 4. Implementasi Fungsi ZCR

4.2 Autocorrelation

Metode *Autocorrelation* adalah metode yang umum digunakan untuk memperkirakan pitch (frekuensi dasar) berdasarkan pada nilai terbesar dari fungsi autocorrelation pada suatu rentang nilai. Autocorrelation mengacu pada hubungan dari serangkaian nilai *time series* antara nilai sebelumnya dengan nilai yang akan datang. Persepsi seseorang terhadap pitch dari suatu sinyal suara sangat berkaitan dengan periodik gelombang pada bentuk gelombang dalam domain waktu.

Statistical autocorrelation dari sebuah proses random sinusoidal adalah sebagai berikut:

$$x[n] = \cos(w_0 n + \phi) \quad (7)$$

diberikan oleh:

$$R[m] = E\{x^*[n]x[n+m]\} = \frac{1}{2} \cos(w_0 m)$$

Dimana nilai maksimal untuk $m = 1T_0$ yang merupakan periode dan harmonisa dari suatu nada. Sehingga, periode nada dapat ditemukan dengan menghitung nilai terbesar dari hasil *autocorrelation*. Dalam prakteknya dilakukan perhitungan R^m dari N sample yang dimiliki. Fungsi Autocorrelation diberikan sebagai berikut:

$$\hat{R}[m] = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1-|m|} (w[n]x[n]w[n+|m|]x[n+|m|]) \quad (9)$$

Implementasi Fungsi Autocorrelation berdasarkan pada Naotoshi Seo [5] yang dilakukan pada Matlab.

```
r = xcorr(wave, maxlag, 'coeff');
```

Perintah di atas adalah pemanggilan fungsi autocorrelation pada matlab dimana wave adalah matriks sinyal suara berukuran Nx1 dan maxlag merupakan rentang lag yang diberikan yaitu meliputi -maxlag hingga maxlag, dengan nilai minimal adalah 1. Maxlag dihitung untuk mendapatkan F_0 yang lebih besar dari 20Hz, sebagai berikut:

```
maxlag = fs/20;
```

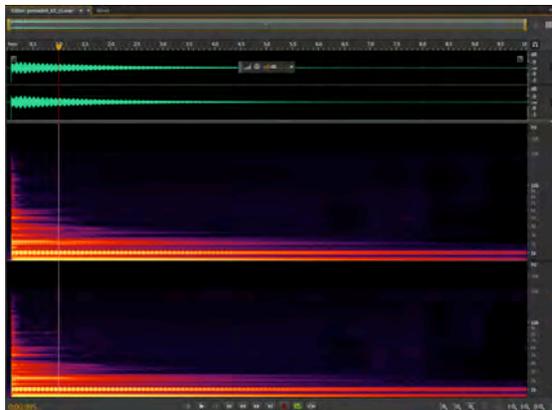
Nilai r yang telah dihitung menggunakan fungsi xcorr kemudian dihitung nilai maksimal pada area antara periode 1ms (1000Hz) hingga 50ms (20Hz). Hal ini didasarkan pada frekuensi nada gamelan gender yang berada pada area tersebut.

```
% search for maximum between 1ms (=1000Hz)
and 50ms (=20Hz)
ms2=floor(fs/1000); % 1ms
ms20=floor(fs/20); % 50ms
% half is just mirror for real signal
r = r(floor(length(r)/2):end);
[maxi,idx]=max(r(ms2:ms20));
f0 = fs/(ms2+idx-1);
```

Gambar 5. Kode Mencari nilai Autocorrelation

5 HASIL DAN PEMBAHASAN

Dataset yang digunakan dalam pembahasan adalah menggunakan salah satu dari jenis gender wayang yaitu Pemade Pengumbang yang memiliki frekuensi paling rendah dibandingkan dengan 3 jenis gamelan gender lainnya. Gambar 1 memperlihatkan pengujian terhadap dataset yang memperlihatkan spektrum dari sinyal suara gamelan gender pada bilah pertama menggunakan aplikasi adobe audition.



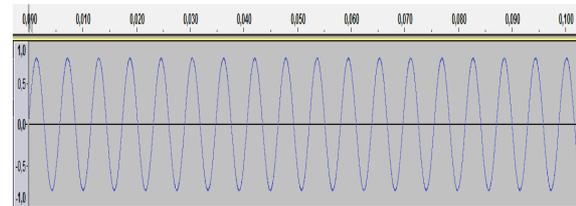
Gambar 8. Analisis Frekuensi dengan Adobe Audition

Analisis memperlihatkan beberapa frekuensi harmoni yang menyusun sinyal suara tersebut. Kemudian diamati 5 frekuensi harmoni yang terkandung di dalam sinyal suara tersebut seperti yang diperlihatkan pada Tabel 1. Tabel 1 memperlihatkan frekuensi terkecil adalah pada bilah 1 dan paling tinggi adalah pada bilah 10.

Tabel 1. Frekuensi Harmoni Gender Wayang Pemade Pengumbang

No Bilah	Nada	Frekuensi (Hz)
Bilah 1	ndong	172,12
Bilah 2	ndeng	195,73
Bilah 3	ndung	229,14
Bilah 4	ndang	267,13
Bilah 5	nding	310,83
Bilah 6	ndong	355,52
Bilah 7	ndeng	412,52
Bilah 8	ndung	472,81
Bilah 9	ndang	541,18
Bilah 10	nding	629,60

Pengujian pertama yang dilakukan adalah menguji metode ZCR dan Autocorrelation untuk dapat memperkirakan frekuensi dari suatu sinyal murni dengan 1 frekuensi. Sinyal tersebut dibangkitkan berdasarkan frekuensi dari setiap bilah gender yang telah diketahui pada Tabel 1. Gambar 9 memperlihatkan contoh sinyal murni yang memiliki frekuensi sebesar 172,12.



Gambar 9. Sinyal Murni Frekuensi 172,12 Hz

Tabel 2 dan Tabel 3 memperlihatkan hasil pengujian metode ZCR metode Autocorrelation dalam memperkirakan frekuensi yang dimiliki oleh sinyal murni. Berdasarkan kedua tabel tersebut diketahui bahwa ZCR mampu memprediksi frekuensi dari sinyal uji dengan selisih rata-rata sebesar 4,5476 Hz dan metode Autocorrelation menghasilkan selisih rata-rata sebesar 9,8811 Hz.

Tabel 2. Pengujian ZCR pada Sinyal Murni

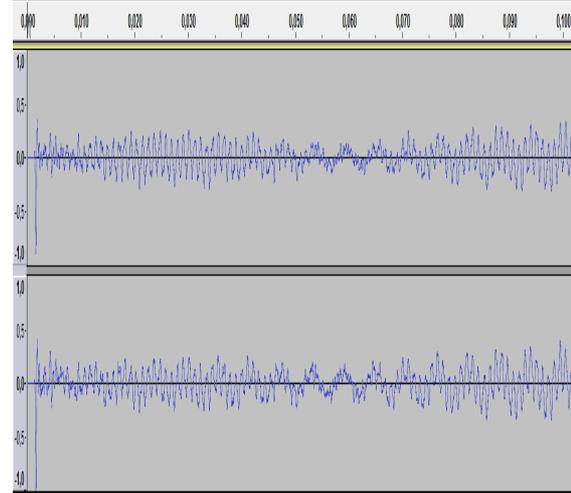
No Bilah	Nada	Frekuensi		Selisih
		Gender	ZCR	
Bilah1	ndong	172.12	172.25	0.128
Bilah2	ndeng	195.73	195.75	0.0178
Bilah3	ndung	229.14	229.25	0.1074
Bilah4	ndang	267.13	267.25	0.117
Bilah5	nding	310.83	310.87	0.0415
Bilah6	ndong	355.52	310.87	44.649
Bilah7	ndeng	412.52	412.50	0.0247
Bilah8	ndung	472.81	472.87	0.0596
Bilah9	ndang	541.18	541.37	0.1889
Bilah10	nding	629.60	629.74	0.1429
			Rata-rata	4.5476

Tabel 3. Pengujian Autocorrelation pada Sinyal Murni

No Bilah	Nada	Frekuensi		Selisih
		Gender	Auto Correlation	
Bilah1	ndong	172.12	171.85	0.2661
Bilah2	ndeng	195.73	195.08	0.6519
Bilah3	ndung	229.14	227.84	1.3003
Bilah4	ndang	267.13	264.87	2.2587
Bilah5	nding	310.83	307.46	3.3733
Bilah6	ndong	355.52	307.46	48.063
Bilah7	ndeng	412.52	405.18	7.3433
Bilah8	ndung	472.81	464.21	8.5995
Bilah9	ndang	541.18	531.33	9.8547
Bilah10	nding	629.60	612.50	17.1
			Rata-rata	9.8811

Pengujian berikutnya adalah menguji pada sinyal dataset gender wayang. Tabel 4 dan Tabel 5 memperlihatkan hasil pengujian pada sinyal gender wayang. Tidak seperti pada pengujian dengan sinyal murni, metode ZCR tidak mampu untuk menghitung frekuensi dasar dari sinyal inharmonis gender wayang yang membentuk sinyal kompleks.

Gambar 10 memperlihatkan sinyal suara pada gamelan gender wayang bilah 1. Nilai selisih rata-rata pengujian dengan menggunakan metode ZCR adalah sebesar 246,3 Hz. Sebaliknya, metode Autocorrelation memperlihatkan hasil yang baik dengan selisih rata-rata sebesar 3,3953 Hz.



Gambar 10. Sinyal Suara Gender Wayang Pemade Bilah 1

Tabel 4. Pengujian ZCR pada Sinyal Gender Wayang Pemade Pengumbang

No Bilah	Nada	Frekuensi (Hz)		Selisih
		Gender	ZCR	
Bilah1	ndong	172.12	156.36	15.761
Bilah2	ndeng	195.73	46.11	149.62
Bilah3	ndung	229.14	103.93	125.21
Bilah4	ndang	267.13	63.68	203.45
Bilah5	nding	310.83	125.18	185.65
Bilah6	ndong	355.52	182.54	172.98
Bilah7	ndeng	412.52	119.21	293.31
Bilah8	ndung	472.81	118.92	353.89
Bilah9	ndang	541.18	113.01	428.17
Bilah10	nding	629.60	94.69	534.91
			Rata-rata	246.3

Tabel 5. Pengujian Autocorrelation pada Sinyal Gender Wayang Pemade Pengumbang

No Bilah	Nada	Frekuensi (Hz)		Selisih
		Gender	Auto Correlation	
Bilah1	ndong	172.12	181.45	9.3316
Bilah2	ndeng	195.73	195.76	0.0321

Bilah3	ndung	229.14	229.50	0.3573
Bilah4	ndang	267.13	264.76	2.371
Bilah5	nding	310.83	312.32	1.4946
Bilah6	ndong	355.52	353.88	1.6417
Bilah7	ndeng	412.52	409.42	3.0966
Bilah8	ndung	472.81	468.29	4.5173
Bilah9	ndang	541.18	536.31	4.8672
Bilah10	nding	629.60	623.36	6.2438
			Rata-rata	3.3953

- Proceedings of the IEEE,74(11):1477–1493, November 1986.
- [5] Naotoshi Seo, ENEE632 Project4 Part I: Pitch Detection, <http://note.sonots.com/SciSoftware/Pitch.html>

6 KESIMPULAN

Metode ZCR dan autocorrelation merupakan metode yang dapat memperhitungkan frekuensi dari suatu sinyal suara. ZCR adalah metode yang sederhana dan mampu untuk memperhitungkan frekuensi sinyal murni dengan baik. Namun, tidak mampu untuk menghitung dengan benar frekuensi yang dimiliki oleh suatu sinyal kompleks pada kasus yang dicoba adalah pada sinyal suara gender wayang. Metode autocorrelation mampu untuk menghitung frekuensi dari suatu sinyal baik itu sinyal murni ataupun sinyal kompleks dari suara gender wayang dengan selisih rata-rata yang kecil sebesar 3,3953 Hz. Oleh karena itu metode ini dapat digunakan untuk menghitung nilai frekuensi dari suatu instrumen musik terutama gamelan.

Pada tulisan ini telah dijelaskan metode untuk menghitung frekuensi dominan dari suatu sinyal. Penelitian berikutnya yang dapat dilakukan adalah menguji frekuensi harmoni dari suatu sinyal. Frekuensi harmoni digunakan untuk membedakan suatu sumber suara dengan suara lainnya meskipun memiliki frekuensi dominan yang sama. Oleh karena itu baik digunakan untuk melaraskan suatu instrumen musik.

7 DAFTAR PUSTAKA

- [1] Rauhala, J. dan Välimäki, V., “F0 estimation of inharmonic piano tones using partial frequencies deviation method,” accepted for publishing in *International Computer Music Conference*, Copenhagen, 2007.
- [2] Bandem, I M, 2013, *Gamelan Bali di Atas Panggung Sejarah*, BP Stikom Bali: Bali.
- [3] Macleod, M.D., 1998, Fast Nearly ML Estimation of the Parameters of Real or Complex Single Tones or Resolved Multiple Tones, *IEEE Transactions on Signal Processing*, Vol. 46, No.1 January 1998.
- [4] Benjamin Kedem. Spectral analysis and discrimination by zero-crossings.