

DETEKSI KESALAHAN NADA PADA *STRING* GITAR DENGAN MENGGUNAKAN *HARMONIC PRODUCT SPECTRUM*

GUITAR STRINGS ERROR DETECTION TONE BY USING HARMONIC PRODUCT SPECTRUM

Tedy Gumilar¹, Drs. Suwandi., MSi², Hertiana Bethaningtyas D.K., MT³
^{1,2,3} Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik, Universitas Telkom Bandung
¹ tedygumilar@gmail.com, ² swi@ittelkom.ac.id, ³ bethaningtyas23@gmail.com

Abstrak

Telah dibangun sebuah sistem yang dapat memberikan *output* berupa *string* yang mengalami kesalahan nada pada suatu *chord*. Tahapan metode yang dilakukan antara lain; *Windowing*, *Fast Fourier Transform*, *Harmonic Product Spectrum*, dan analisis frekuensi untuk deteksi kesalahan nada pada *chord* yang dimainkan. Dari hasil pengujian sistem didapatkan tingkat akurasi sistem dengan persentase sebesar 87,7% dari total 724 *chord* sampel yang diberikan dan tingkat akurasi sistem pada tiap jenis *chord* yang memiliki nilai persentase lebih dari 80%, dan pada *chord* Aminor mencapai nilai akurasi sebesar 92,08%. Selain itu, sistem memiliki tingkat sensitivitas untuk gangguan pada *string* dengan cara mengendurkan tuning knob sebesar 180° (-180°) yang mampu mendeteksi kesalahan pada *chord* sampel dengan persentase sebesar 97,65%. Sedangkan pada rentang gangguan -45° sistem hanya mampu mendeteksi kesalahan dengan nilai persentase sebesar 73,43% dari total sampel yang diberikan pada rentang gangguan tersebut.

Kata Kunci : *Chord*, *Windowing*, *Fast Fourier Transform*, *Harmonic Product Spectrum*.

Abstract

Has built a system that can provide output in the form of a string that has errors on a chord tone. The methods used are; Windowing, Fast Fourier Transform, Harmonic Product Spectrum and frequency analysis for fault detection tone in the chord being played. From the test results, obtained accuracy rate system with a percentage of 87.7% of the total 724 samples given chord and the level of system accuracy on each kind of chord has a percentage value of more than 80%, and the chord A minor achieve accuracy values of 92, 08%. In addition, the system has a level of sensitivity to disturbance on the string in a way to loosen the tuning knob of 180° (-180°) which is able to detect errors in the sample chord with a percentage of 97.65%. While the range of -45° is only able to detect faults with a percentage value of 73.43% of the total sample that is given in the range of the disturbance.

Keywords: *Chord*, *Windowing*, *Fast Fourier Transform*, *Harmonic Product Spectrum*

1. Pendahuluan

Salah satu bagian yang penting dalam dunia musik modern pada instrumen musik gitar adalah *chord*. *Chord* merupakan dua atau lebih nada yang dibunyikan secara bersamaan dengan mengikuti aturan tertentu. Masalah yang sering timbul pada saat memainkan sebuah *chord* atau *notes* pada gitar adalah *output* yang berupa suara yang dihasilkan pada saat gitar dimainkan akan terdengar tidak harmonis. Masalah tersebut sering terjadi pada pemain gitar pemula yang belum menguasai teknik dalam menggunakan *chord* pada gitar. Oleh karena itu, ketepatan dalam memainkan suatu *chord* pada gitar akan sangat mempengaruhi keharmonisan suara yang dihasilkan pada saat memainkan gitar. Selain penggunaan *chord* pada gitar, seorang pemain gitar harus memastikan bahwa *string* gitar yang dimainkan sudah dalam keadaan standar *tuning*. Proses *tuning* dimaksudkan untuk mengubah frekuensi sebuah nada sehingga sesuai dengan frekuensi standar nada pada *string* tertentu [1].

Berdasarkan latar belakang tersebut, dilakukan penelitian tugas akhir dengan judul “Deteksi Kesalahan Nada Pada *String* Gitar Dengan Menggunakan Metode *Harmonic Product Spectrum*”. Penelitian tersebut bertujuan untuk membangun sebuah sistem yang dapat mendeteksi kesalahan nada pada *string* tertentu dengan menentukan apakah *chord* yang dimainkan sudah tepat dan sesuai untuk nada pada masing-masing *string*. Apabila salah satu atau lebih *string* pada suatu *chord* yang dimainkan belum terstandarkan, maka sistem dapat mengidentifikasi kesalahan nada pada *string* tertentu untuk setiap *chord* yang dimainkan.

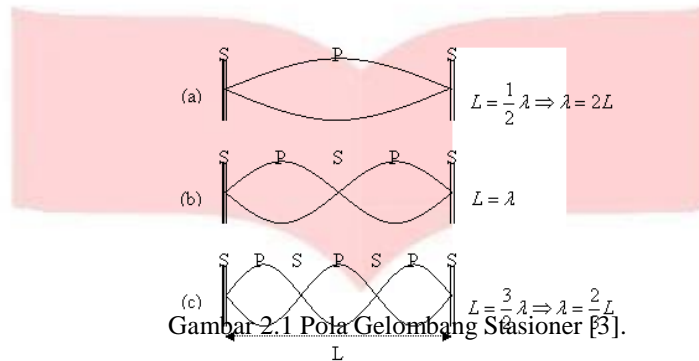
2. Dasar Teori

2.1 Frekuensi Harmonik Pada Gelombang Stasioner Ujung Terikat

Pada *string* atau senar gitar, yang kedua ujungnya terikat dan jika digetarkan akan membentuk suatu gelombang yang disebut dengan gelombang *stasioner*. Gelombang *stasioner* atau gelombang berdiri adalah dua gelombang antara gelombang datang dan gelombang pantul yang saling bersuperposisi [3]. Dengan menjumlahkan gelombang datang dan pantul maka akan diperoleh persamaan 2.1 sebagai berikut:

Dengan, $\psi = \psi_1 + \psi_2$ Gelombang hasil superposisi, ψ_1 = Gelombang pantul, dan ψ_2 = Gelombang datang. (2.1)

Getaran yang diberikan pada *string* akan menghasilkan bunyi dengan nada tertentu, tergantung pada jumlah gelombang yang terbentuk pada *string* tersebut. Pada saat *string* gitar dipetik, frekuensi tidak hanya muncul pada frekuensi dasar saja akan tetapi juga muncul pada frekuensi-frekuensi harmoniknya [3]. Pola gelombang stasioner ketika terjadi nada dasar (harmonik pertama), nada atas pertama (harmonik kedua) dan nada atas kedua (harmonik ketiga) ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Pola Gelombang Stasioner [3].

Secara umum, ketiga panjang gelombang pada Gambar 2.1 dapat dinyatakan dengan persamaan 2.2.

$$\lambda_n = \frac{2L}{n} \tag{2.2}$$

Maka, frekuensi nada yang dihasilkan *string* memenuhi persamaan 2.3.

$$f_n = \frac{v}{\lambda_n} = \left[n + \frac{1}{2} \right] \frac{v}{2L} \tag{2.3}$$

Dengan, f_n = frekuensi nada ke- n (Hz), v = cepat rambat gelombang pada *string* (m/s), L = panjang gelombang ke- n pertama (harmonik kedua) dst. (1,2,3,...).

2.2 Fast Fourier Transform (FFT)

Transformasi Fourier adalah suatu bentuk transformasi yang umum digunakan untuk mengubah sinyal dari domain waktu ke domain frekuensi. Transformasi fourier dapat dituliskan dengan persamaan 2.4 [5].

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-j2\pi ft} dt \tag{2.4}$$

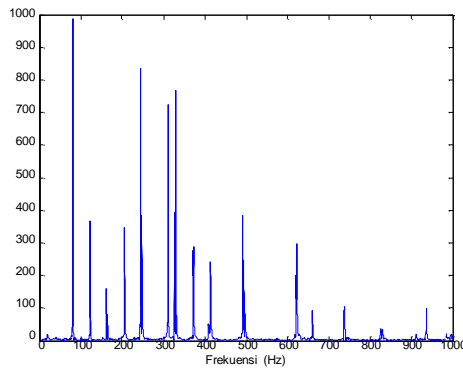
Dari persamaan 2.4 maka dapat dikatakan bahwa $X(f)$ merupakan transformasi fourier dari $x(t)$ yang mengubah $x(t)$ dari domain waktu menjadi domain frekuensi. Pada pengolahan sinyal diskrit FFT (*Fast fourier transform*) merupakan salah satu metoda untuk transformasi dari domain waktu menjadi domain frekuensi. FFT merupakan pengembangan dari komputasi menggunakan DFT (*Discrete Fourier Transform*) biasa [6].

Secara matematis algoritma *Fast Fourier Transform* dapat dituliskan dengan persamaan 2.5 [4]:

$$X[k] = \sum_{n=0}^{N-1} x[n] e^{-j2\pi kn/N} + \sum_{n=N}^{2N-1} x[n] e^{-j2\pi kn/N} \tag{2.5}$$

Dengan, $x[n]$ = menyatakan berapa titik sinyal yang dihitung, N = jumlah sinyal, $e^{-j2\pi kn/N}$ = merupakan faktor sinyal.

Kelebihan menggunakan FFT dalam metode ini yaitu jumlah komputasi lebih sedikit dibanding komputasi DFT biasa. DFT akan menghasilkan jumlah komputasi sebesar N^2 sedangkan FFT akan menghasilkan jumlah komputasi sebesar $N \log_2 N$, sehingga dengan FFT perhitungan transformasi diskrit akan lebih cepat dibandingkan dengan menggunakan metode DFT biasa [7]. Pada Gambar 2.2 merupakan contoh dari sinyal E mayor setelah dilakukan tranformasi kedalam domain frekuensi menggunakan *fast fourier transform*.



Gambar 2.2. Sinyal E mayor Setelah FFT

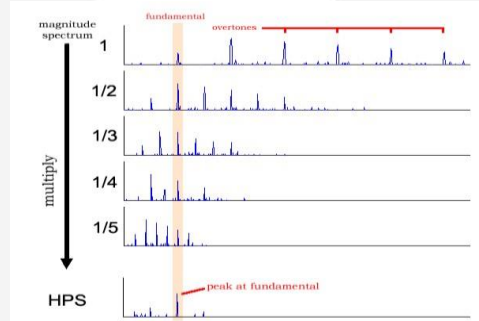
2.3 Harmonic Product Spectrum

HPS (*Harmonic Product Spectrum*) merupakan suatu metode yang berfungsi untuk melihat frekuensi dasar yang terdapat pada sinyal input. Secara matematis HPS dapat dirumuskan pada persamaan 2.7 [9].

$$HP(Y) = \left(\prod_{k=1}^N |Y(k)| \right)^{1/N} \tag{2.7}$$

Dengan, HPS adalah hasil spektrum harmonik, k adalah indeks frekuensi spektrum harmonik, Y adalah besar spektrum pada frekuensi positif, dan N merupakan jumlah harmonik yang digunakan. Metode tersebut dilakukan setelah sinyal input telah diubah dalam domain frekuensi menggunakan analisis spektrum dari nilai frekuensi.

Suatu nada memiliki tingkatan nada atau biasa disebut harmonik. Harmonik merupakan harmonisasi dari nada dasar atau harmonik pertama, sehingga setiap kelipatan dari nada dasar pertama merupakan harmonisasi nada dari nada dasar. Yang membedakan dari nada dasar dengan nada harmonik terdapat pada besar nilai frekuensi. Oleh karena itu, metode ini digunakan agar dapat diketahui frekuensi dasar dari nada tersebut. Aplikasi dari metode ini yaitu dengan melakukan *downsampling* pada nada-nada harmonik. proses *downsampling* dilakukan dengan membagi data dari sinyal asli hingga beberapa kali dari harmonisasinya, sehingga hanya nada dasar atau harmonik pertama saja yang akan muncul. Proses *downsampling* diperlihatkan pada Gambar 2.3



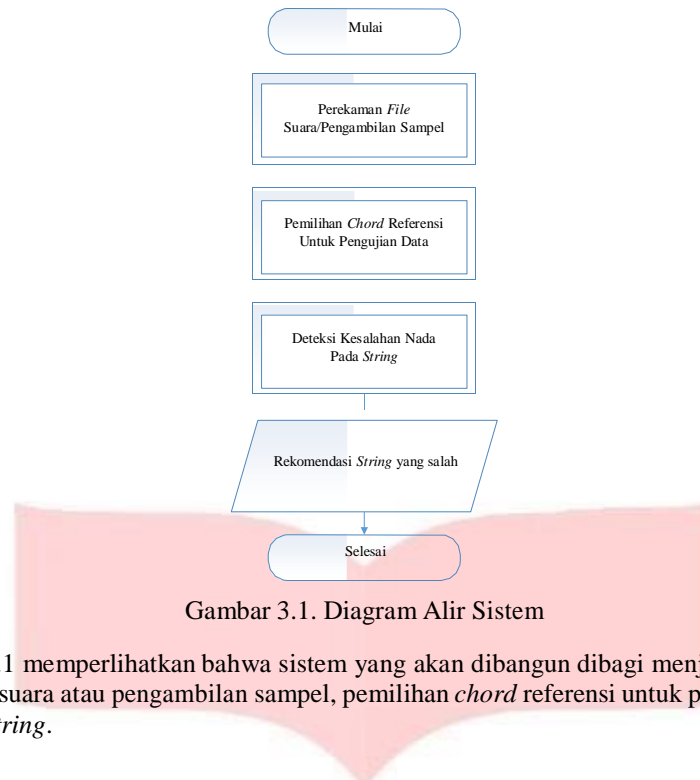
Gambar 2.3 Harmonic Product Spectrum [9].

Pada Gambar 2.3 menunjukkan bagaimana proses HPS dilakukan. Proses dimulai dengan melakukan perkalian sebesar 1/2 pada sinyal input untuk menyelaraskan harmonik pertama dengan nada dasar. Kemudian melakukan proses yang sama dengan sebelumnya, yaitu melakukan perkalian sebesar 1/3 pada sinyal input untuk menyelaraskan harmonik ketiga dengan hasil dari proses sebelumnya. Proses yang sama dilakukan setidaknya sebanyak 4 kali agar hasil dari HPS dapat terlihat. Hasil akhir dari metode HPS, adalah didapatnya nilai frekuensi dasar sebuah nada untuk masing-masing *string*.

3. Perancangan Sistem dan Implementasi

3.1 Perancangan Sistem

Perancangan sistem merupakan suatu proses yang akan dibangun pada penelitian yang akan dilakukan, dimana proses tersebut dimulai dari perekaman data input sinyal suara dari gitar, yang berupa *chord* yang dimainkan, sampai dengan proses rekomendasi *string* yang mengalami kesalahan pada *chord* yang dimainkan. Pada Gambar 3.1 memperlihatkan diagram alir dari sistem yang akan dibangun.



Gambar 3.1. Diagram Alir Sistem

Dari Gambar 3.1 memperlihatkan bahwa sistem yang akan dibangun dibagi menjadi 3 bagian utama yaitu, bagian perekaman *file* suara atau pengambilan sampel, pemilihan *chord* referensi untuk pengujian data, dan deteksi kesalahan nada pada *string*.

3.1.1 Perekaman *File* Suara atau Pengambilan Sampel

Bagian perekaman *file* suara atau pengambilan sampel merupakan masukan/input data yang berupa sinyal suara dari *chord* yang dimainkan. Proses perekaman dilakukan dengan menghubungkan gitar elektrik menggunakan kabel (*jack*) melalui input pada *sound card* (ADC/DAC) yang telah terhubung dengan komputer *desktop/laptop*. Perekaman suara dilakukan menggunakan *software* Matlab dengan durasi selama 10 detik. Data *input* hasil perekaman berupa sinyal musik dari instrumen gitar dalam *format* *.wav*. Sinyal *output* pada bagian ini merupakan sinyal dalam domain waktu.

3.1.2 Pemilihan *Chord* Referensi untuk Pengujian Data

chord referensi digunakan sebagai data acuan sistem saat akan menganalisis data *input*. Proses kerja dari bagian ini yaitu pengguna memilih data *chord* referensi untuk kemudian diuji dengan membandingkan data *chord* hasil keluaran dari sinyal *input*. Pada bagian ini *chord* referensi menyimpan data-data dari masing-masing *chord* mayor dan minor. setiap *chord* tersebut merupakan gabungan dari nada-nada yang dimainkan pada setiap *string* pada gitar. Jadi, setiap *string* pada gitar yang dimainkan merepresentasikan nada-nada pembentuk *chord* tersebut.

3.1.3 Deteksi Kesalahan Nada Pada *String*

Deteksi kesalahan nada pada *string* merupakan sistem utama dari penelitian. Dimana data input hasil perekaman akan diolah sehingga sistem dapat mendeteksi kesalahan nada pada *string* apabila data input mengalami kesalahan atau tidak cocok dengan *chord* referensinya.

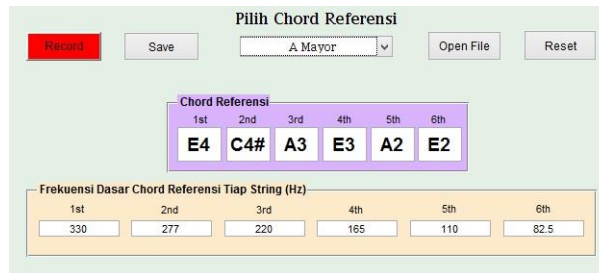
4. Hasil dan Analisis Sistem

4.1 Hasil Perancangan Sistem

Mengenai perancangan sistem yang telah dipaparkan pada bab sebelumnya, maka pada tugas akhir dengan judul Deteksi Kesalahan Nada Pada *String* Gitar Dengan Menggunakan *Harmonic Product spectrum*, telah dibuat sebuah sistem yang dapat mendeteksi kesalahan nada pada *string* gitar apabila diberikan suatu *chord* sampel. Hasil dari perancangan sistem tersebut akan dijelaskan pada subbab selanjutnya.

4.1.1 Perekaman *File* dan Pemilihan *Chord*

Proses perekaman dan pemilihan *chord* merupakan proses awal dari sistem untuk mendeteksi sebuah kesalahan nada pada *string* untuk suatu *chord* sampel. Bagian perekaman dan pemilihan *chord* pada sistem diperlihatkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Perekaman dan Pemilihan Chord Sampel Amayor

Pada Gambar 4.1 bagian perekaman/pengambilan sampel *chord* terdiri dari tombol *Record*, *Open File*, dan *Save File* yang berfungsi untuk mengambil *chord* sampel yang dilakukan dengan cara melakukan perekaman ataupun mengambil sampel uji yang telah tersimpan sebelumnya. Pada pemilihan chord referensi dilakukan dengan menggunakan *popupmenu* yang berfungsi untuk memilih *database/referensi chord* yang akan diuji/dideteksi sehingga sampel *chord* yang dideteksi akan mengacu pada *chord* referensi yang dipilih.

4.1.2 Deteksi Sampel Chord

Proses deteksi chord dilakukan untuk mengetahui apabila terdapat kesalahan pada string pada sampel chord yang telah diambil dari hasil perekaman ataupun pengambilan sampel yang diperlihatkan pada Gambar 4.2.

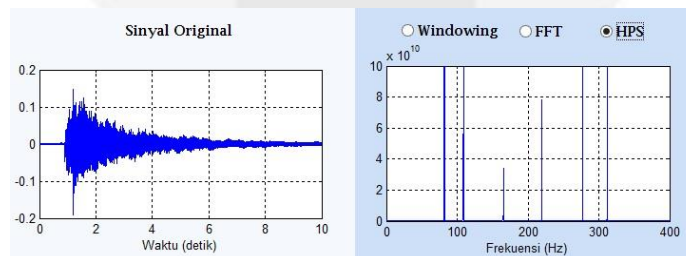


Gambar 4.2 Hasil Deteksi Sampel Chord Amayor

Dari Gambar 4.2 terlihat bahwa hasil deteksi dari sampel *chord* Amayor mengalami kesalahan nada yang ditandai dengan 'X' yang berarti bahwa *string* pertama pada sampel *chord* tersebut mengalami kesalahan nada sehingga perlu dilakukan *tuning* pada *string* tersebut.

4.1.3 Plotting Figure

Plotting dilakukan untuk melihat sinyal asli hasil dari perekaman ataupun hasil dari *harmonic product spectrum*, sehingga hasil dari deteksi *chord* juga dapat disesuaikan dengan hasil yang terlihat pada *plot* sinyal tersebut. Hasil dari *plotting* sinyal sampel *chord* A mayor diperlihatkan pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Plot Sinyal Asli dan Harmonic Product Spectrum Pada Sampel Chord Amayor

4.2 Pengujian Sistem

Pengujian sistem dilakukan untuk mengukur tingkat akurasi sistem dalam mendeteksi kesalahan nada suatu *chord* sampel, apabila diberikan *chord* sampel salah dari sejumlah sampel yang diberikan.

Chord sampel yang digunakan pada pengujian dibagi menjadi tiga kelompok sampel yaitu; *chord* sampel dengan satu kesalahan (hanya satu *string* yang salah), *chord* sampel dengan dua kesalahan (hanya dua *string* yang salah), dan *chord* sampel dengan tiga kesalahan (hanya tiga *string* yang salah).

Kesalahan pada *string* untuk suatu *chord* sampel dilakukan dengan mengencangkan dan mengendurkan *string*, dan dilakukan dalam tiga kondisi kesalahan yaitu dengan cara memutar *tuning knob* sebesar $\pm 180^\circ$, 90° , dan 45° . Hal tersebut dilakukan untuk mengetahui sensitivitas dari sistem dalam mendeteksi kesalahan pada nada atau *string* apabila diberikan rentang kesalahan yang bervariasi.

Adapun beberapa indikator bahwa sistem dikatakan dapat mendeteksi *chord* sampel dengan benar, antara lain:

1. Apabila data *input* berupa data *chord* benar dan sistem dapat memberikan *output* berupa susunan nada-nada yang sesuai dengan data *chord* referensi yang digunakan.
2. Apabila data *chord input* berupa data *chord* salah, maka sistem akan memberikan *output* berupa susunan nada-nada yang salah sesuai dengan banyak *string* salah pada data *input*.

4.3 Analisis Sistem

4.3.1 Analisis Tingkat Akurasi Sistem Deteksi Kesalahan Nada

Perhitungan dilakukan dengan menghitung jumlah selisih antara *chord* sampel yang terdeteksi oleh sistem sesuai dengan kesalahan yang diberikan dan yang tidak sesuai dengan kesalahan yang diberikan (deteksi *error*). Hasil deteksi atau tingkat akurasi dari pengujian sistem pada keseluruhan *chord* sampel diperlihatkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Tingkat Akurasi Sistem Deteksi Kesalahan Nada

Chord Sampel Terdeteksi Benar	635
Chord Sampel Terdeteksi Salah (error)	89
Total Sampel	724
Tingkat Akurasi (%)	87,70%

Dari Tabel 4.1 menunjukkan hasil pengujian dari sistem deteksi kesalahan nada dengan hasil tingkat akurasi sebesar 87,70% dari total 720 sampel yang dihitung. Dengan kata lain sistem dapat mendeteksi kesalahan sebanyak 635 sampel dari total sampel yang diambil.

4.3.2 Analisis Tingkat Akurasi Sistem Pada Tiap Jenis *Chord*

Analisis berikut dihitung untuk mengetahui seberapa besar tingkat akurasi sistem dalam mendeteksi kesalahan pada tiap jenis *chord* dasar mayor dan minor yang diberikan sebagai sampel. Hasil persentase tingkat akurasi pada tiap jenis *chord* diperlihatkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Tingkat Akurasi Pada Tiap Jenis *Chord* Dasar Mayor dan Minor

Jenis <i>Chord</i>	Amin	Dmin	Emin	Amay	Cmay	Dmay	Emay	Gmay
Terdeteksi Benar	93	52	90	89	87	50	88	86
Terdeteksi Salah	8	7	11	12	14	9	13	15
Total Sampel	101	59	101	101	101	59	101	101
Tingkat Akurasi (%)	92,08%	88,13%	89,10%	88,19%	86,13%	84,74%	87,12%	85,19%

Dari Tabel 4.2 dapat terlihat bahwa tingkat akurasi pada tiap *chord* sampel yang diuji memiliki rata-rata nilai persentase lebih dari 80%, dan pada *chord* Aminor mencapai nilai akurasi sebesar 92,08%.

4.3.3 Analisis Tingkat Sensitivitas Sistem Deteksi Kesalahan Nada

Analisis tingkat sensitivitas sistem dihitung untuk mengetahui seberapa besar respon sistem dalam mendeteksi kesalahan nada atau *string*. Sampel yang digunakan adalah *chord* sampel dari hasil pengujian. Tingkat sensitivitas dihitung dengan cara memisahkan seluruh sampel berdasarkan tiga kondisi pengujian dengan gangguan atau kesalahan dengan cara memutar *tuning knob* sebesar $\pm 180^\circ$, 90° , dan 45° . Tabel 4.3 merupakan hasil dari tingkat sensitivitas sistem pada *chord* sampel yang diberikan berdasarkan kondisi gangguan atau kesalahan pada *string*.

Tabel 4.3 Tingkat Sensitivitas Sistem Deteksi Kesalahan Nada

Kondisi Gangguan	+180°	-180	+90	-90	+45	-45
Chord Sampel Terdeteksi Benar	76	125	121	119	101	94
Chord Sampel Terdeteksi Salah (error)	8	3	7	9	27	34
Total Sampel	84	128	128	128	128	128
Tingkat Sensitivitas (%)	90,47%	97,65%	94,53%	92,96%	78,90%	73,43%

Pada Tabel 4.2 memperlihatkan tingkat sensitivitas sistem deteksi kesalahan nada yang menghasilkan persentase yang bervariasi untuk setiap besar gangguan yang diberikan pada *chord* sampel. Tingkat sensitivitas sistem untuk gangguan pada string dalam rentang $\pm 180^\circ$ sampai $\pm 90^\circ$ mampu mendeteksi kesalahan pada *chord* sampel dengan nilai lebih dari 90% dari total sampel pada masing-masing rentang gangguan. Sedangkan pada rentang gangguan $\pm 45^\circ$ sistem hanya mampu mendeteksi kesalahan sebesar kurang dari 80% dari total sampel yang diberikan pada rentang gangguan tersebut.

5. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang dilakukan pada tugas akhir yang berjudul Deteksi Kesalahan Nada Pada *String* Gitar Dengan Menggunakan Metode *Harmonic Product Spectrum* dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Sistem dapat mendeteksi dengan cukup baik pada delapan jenis chord dasar dari total 14 chord dasar mayor dan minor. Hal tersebut dikarenakan delapan jenis chord dasar tersebut merupakan chord yang relatif mudah untuk dimainkan, sedangkan enam chord yang lain sangat dipengaruhi oleh kepandaian pemain dalam memainkan gitar dan juga dipengaruhi oleh ketelitian gitar yang digunakan untuk menghasilkan nada dalam frekuensi standar.
2. Tingkat keakurasian sistem dalam mendeteksi kesalahan menghasilkan nilai persentase sebesar 87,70%. Nilai persentase tersebut dapat terbilang cukup baik mengingat *chord* sampel yang diberikan merupakan total dari variasi gangguan yang diberikan pada *string* dengan memutar *tuning knob* pada gitar dalam rentang gangguan sebesar $\pm 180^\circ$, $\pm 90^\circ$, dan $\pm 45^\circ$ untuk setiap *chord* sampel.
3. Tingkat akurasi sistem dalam mendeteksi kesalahan pada tiap jenis *chord* dasar mayor dan minor menghasilkan nilai persentase lebih dari 80%, dan untuk *chord* Aminor menghasilkan nilai yang lebih tinggi yakni sebesar 92,08%.
4. Tingkat sensitivitas sistem dalam mendeteksi kesalahan untuk setiap variasi gangguan pada *string* dalam rentang $\pm 180^\circ$ hingga $\pm 90^\circ$, sistem memiliki tingkat sensitivitas yang cukup baik yakni lebih dari 90%. Sedangkan untuk gangguan sebesar $\pm 45^\circ$ sistem hanya memiliki nilai sensitivitas kurang dari 80%. Hal tersebut terjadi dikarenakan pada gangguan sebesar $\pm 45^\circ$ nilai frekuensi pada *string* yang dihasilkan untuk suatu *chord* sampel masih berada pada nilai toleransi yang ada pada *database*, sehingga sistem masih menganggap bahwa *string* yang diberikan gangguan dengan rentang tersebut masih dalam keadaan frekuensi standar.

5.2 Saran

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, maka penulis memberikan beberapa saran agar tugas akhir dengan judul Deteksi Kesalahan Nada Pada *String* Gitar Dengan Menggunakan Metode *Harmonic Product Spectrum* dapat dikembangkan menjadi lebih baik lagi atau menjadi beberapa topik lain yang masih relevan. Berikut adalah beberapa saran yang dapat disampaikan penulis, antara lain:

1. Karena pada saat pencocokkan/matching pada frekuensi *input* dengan *database* masih tergantung besar magnitudo dari hasil *Harmonic Product Spectrum* pada data *input*, maka untuk penelitian selanjutnya dapat diterapkan metode yang lain agar proses *matching* pada data *input* dengan *database* tidak dipengaruhi oleh besar magnitudo pada data *input*. Contoh metode yang dilakukan semisal Jaringan Syaraf Tiruan.
2. Pada aplikasi deteksi kesalahan nada yang telah dibangun hanya mampu mendeteksi satu *chord* dalam satu kali pengujian/pengambilan data. Agar dapat mendeteksi kesalahan lebih dari satu *chord* dalam satu kali pengujian, maka harus dilakukan metode tambahan dengan memperhatikan frekuensi harmonik pada *chord* yang dimainkan, sehingga dapat dilakukan pemotongan sinyal apabila terdapat *chord* yang berbeda dalam satu kali pengambilan data.
3. Agar dapat direalisasikan menjadi sebuah alat yang dapat melakukan *tuning otomatis*. Alat tersebut bekerja dengan cara memutar *tuning knob* pada gitar sesaat setelah sistem mendeteksi adanya kesalahan nada pada *chord* yang dimainkan, dengan mengestimasi derajat putaran *tuning knob* dari selisih frekuensi yang ada pada data *input* dengan frekuensi standar.

Daftar Pustaka

- [1] Spaulding, Tom. Guitar String Tuning 101. D'Addario.
- [2] Suriadinata, Rolan. (2014). Deteksi Sinyal Kesalahan Akord Pada Gitar Dengan Menggunakan *Fast Fourier Transform*. Fakultas Teknik Elektro. Universitas Telkom. Bandung.
- [3] Tipler. (1999). Fisika Untuk Sains dan Teknik. Erlangga. Jakarta.
- [4] Soeharto, M. (1978). Belajar Notasi Balok. Gramedia. Jakarta.
- [5] Pradipta, Ibnu., Nanda, Firman. (2006). Transformasi Fourier. Jurusan Teknik Elektro & Teknologi Informasi FT UGM. Yogyakarta
- [6] Batenkov, Dima. (2005). *Fast Fourier Transform. Key Papers in Computer Science*. Weizmann Institute of Science.
- [7] Mary Lourde R., Anjali Kuppayil Saji. (2009). *A Digital Guitar Tuner*. Department of Electrical & Electronics Engineering BITS-Pilani, Dubai, UAE.
- [8] Budi, Tri Santoso., Octavianto, Hary., Dutono, Titon. (2008). Modul 2. *Windowing* dan Pengamatan Spektrum Frekuensi.
- [9] Akbar, Fandy. Permana, Febrianzah Junaidy. (2010). konversi nada-nada akustik menjadi *chord* menggunakan *pitch class profile*. Jurusan Teknik Informatika Institut. Teknologi Sepuluh Nopember.
- [10] Permana, Febrianzah Junaidy. Hakkun, Rizky Yuniar, S.Kom, M.Kom. Drs. Huda, Miftahul, MT. (2009). konversi nada nada akustik menjadi *chord* menggunakan *pitch class profile* dan *neural network backpropagation*.
- [11] Onufrey. Katelyn. (2011). Human Hearing Response To Changes In Frequency.