

PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI *TUNER GITAR BERBASIS FAST FOURIER TRANSFORM DAN HARMONIC PRODUCT SPECTRUM PADA PLATFORM ANDROID*

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF GUITAR TUNER BASED ON FAST FOURIER TRANSFORM AND HARMONIC PRODUCT SPECTRUM IN ANDROID PLATFORM

Indra Bari Yulio¹, Inung Wijayanto, S.T., M.T.², Eko Susatio, S.T., M.T.³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹indrabariy@students.telkomuniversity.ac.id ²iwijayanto@telkomuniversity.ac.id ³maharusdi@gmail.com

Abstrak

Musik tak lepas dalam kehidupan sehari-hari, dimana kini setiap orang bisa bebas bermain musik. Alat musik yang relatif paling mudah digunakan adalah gitar. Terlepas dari kemudahan memainkannya, gitar juga memiliki sebuah permasalahan yaitu senar gitar akan *fals* jika sudah lama dipakai atau hanya sekedar dibiarkan saja. Kalau ini terjadi, kita harus menyetem ulang tiap senar yang ada di gitar. Cara menyetem gitar cukup sulit bagi pemula, karena sangat mengandalkan kemampuan pendengaran.

Solusi termudahnya adalah dengan menggunakan tuner gitar elektronik, namun alat tersebut cukup mahal dan kurang fleksibel untuk dibawa kemana-mana. Dalam tugas akhir ini akan dibuat sebuah tuner gitar berupa aplikasi android dengan menggunakan metode *Fast Fourier Transform* dan *Harmonic Product Spectrum*.

Proses pengujian keberhasilan sistem tuner gitar adalah dengan cara menghitung akurasi. Akurasi terbesar ketika hasil frekuensi dan frekuensi standar dibandingkan adalah 99.95%. Ini berarti sistem sudah cukup baik dan mirip dengan frekuensi standar. Ketika sistem dibandingkan dengan *tuner* elektrik, diperoleh akurasi 90%. Sedangkan ketika sistem dibandingkan dengan aplikasi sejenis yang ada di *playstore*, diperoleh akurasi 91.667%. Hal ini menunjukkan algoritma yang dipakai sudah cukup optimal.

Kata kunci : *Guitar Tuner*, FFT, HPS, Pengenalan nada, Android

Abstract

Music cannot be separated in everyday life. in which everyone can now be free to play music. Musical instruments that relatively easiest to use is the guitar. Apart from the ease to play, guitar also has a problem that the strings would be off-key even if we left the guitar alone. If this happens, we have to re-tune each string on the guitar. Steps to tune the guitar is quite difficult for beginners, because it is relying on hearing ability.

The easiest solution is to use an electronic guitar tuner, but they are quite expensive and less flexible to carry anywhere. In this final task, a guitar tuner in the form of Android application will be made using Fast Fourier Transform and Harmonic Product Spectrum method.

The success rate of the guitar tuner is carried out by measuring accuracy. The highest accuracy when standard frequency and the result compared is 99.95%. It means that the system is good and produce similar frequency to the reference. When the system is compared with electric tuner, the accuracy result is 90%, and if the system compared to similar application from playstore, the accuracy result is 91.667% which means that the algorithm is quite optimal.

Keywords: *Guitar tuner*, FFT, HPS, Pitch detection, Android

1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Musik merupakan salah satu hal yang tidak bisa lepas dalam kehidupan kita sehari-hari. Untuk memainkan musik yang indah, seorang musisi haruslah menggunakan alat musik yang nada-nadanya sesuai [1]. Oleh karena itu diperlukan adanya *maintenance* yaitu dengan cara menyetem gitar atau *tuning*.

Menyetem gitar memang bukan pekerjaan yang mudah, dibutuhkan pendengaran yang baik dan juga *feel* supaya suara yang dihasilkan tiap senar menjadi akurat. Bagi mereka yang pemula atau belum familiar dengan musik, menyetem gitar bisa saja jadi pekerjaan yang sulit dan memakan waktu yang lama. Solusi dari permasalahan tersebut adalah *guitar tuner*. *Guitar tuner* merupakan sebuah *hardware* yang digunakan untuk mengetahui level keakuratan nada dari masing-masing senar pada gitar. Namun, alat ini tergolong cukup mahal dan memiliki tingkat mobilitas yang kurang.

Untuk itu diperlukan sebuah *tuner* gitar yang murah, mudah digunakan, dan tingkat mobilitasnya tinggi. Pada tugas akhir ini penulis akan mengimplementasikan *tuner* gitar berupa sebuah aplikasi pada platform android, karena popularitas smartphone ber-OS Android saat ini sangatlah tinggi sehingga perihal mobilitas diharapkan sudah tak jadi masalah.

Aplikasi *tuner* gitar pada tugas akhir ini dibuat berdasarkan *Fast Fourier Transform* dan *Harmonic Product Spectrum*, yang prinsip kerjanya adalah mengubah sinyal suara yang dihasilkan saat menyetem gitar dari domain waktu ke domain frekuensi dengan algoritma *Fast Fourier Transform*. Kemudian kita mencari frekuensi dasar dari sinyal audio masukkan dengan algoritma *Harmonic Product Spectrum*.

2. Dasar Teori

2.1 Nada dan Frekuensi

Frekuensi merupakan komponen penting pembentuk suara dan bunyi. Frekuensi adalah kecepatan perubahan amplitude terhadap waktu. Bunyi muncul karena adanya getaran pada udara, jumlah getaran ini lah yang dinyatakan dalam frekuensi. Secara teoritis bisa dibilang bahwa frekuensi adalah jumlah getaran dalam satu satuan waktu. Frekuensi dinyatakan dalam satuan Hertz (Hz) [2].

Nada adalah bunyi yang dihasilkan sebuah sumber bunyi dan memiliki frekuensi tertentu. Tinggi atau rendahnya bunyi ditentukan oleh besarnya frekuensi yang dipakai. Dalam teori musik, hal ini bisa kita ketahui lewat notasi musik [3]. Notasi musik yang umum dipakai adalah teori not balok. Dalam dunia musik digunakan tujuh buah not yang digunakan sebagai nada dasar, yaitu C, D, E, F, G, A, B [2].

Setiap nada memiliki frekuensi yang berbeda-beda. Untuk menyamakan nada pada setiap alat musik, maka ditentukanlah standar untuk nada dasar C pertama (C1) adalah 261 Hz (f). Nada C kedua (C2) adalah dua kali frekuensi C1 (2f). Begitu pun dengan nada C ketiga (C3), C3 sama dengan dua kali frekuensi C1 (4f). pengamatan dan pengukuran [4].

Tabel 1 Frekuensi pada Senar Gitar

Nada senar gitar	Notasi	Frekuensi (Hz)
E (senar 1)	E4	329.6
B (senar 2)	B3	246.9
G (senar 3)	G3	196
D (senar 4)	D3	146.8
A (senar 5)	A2	110
E (senar 6)	E2	82.4

2.2 Fast Fourier Transform

Fast Fourier Transform (FFT) merupakan sebuah algoritma untuk melakukan Transformasi Fourier yang cepat dan efisien [3]. Biasanya kita menggunakan *Discrete Fourier Transform (DFT)* yang merupakan proses transformasi sinyal dari domain waktu ke dalam domain frekuensi. FFT ini sangat berguna untuk memproses dan menganalisa sinyal, namun perhitungan dari persamaan FFT tergolong lambat untuk dipraktekkan [3].

Untuk melakukan penghitungan pada FFT, dapat digunakan persamaan seperti di bawah ini:

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) e^{-j2\pi kn/N}$$

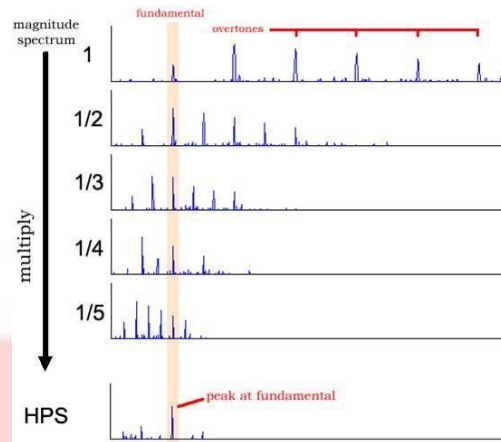
Dimana *k* merupakan keluaran, *j* merupakan variabel yang nilainya berubah dari 1 sampai *N*, dan *N* adalah jumlah titik pada masukan [3].

2.3 Harmonic Product Spectrum

Harmonic Product Spectrum (HPS) merupakan metode *pitch detection* yang paling simpel dan bekerja dengan baik dalam berbagai kondisi [5]. Secara matematis HPS dapat dirumuskan dalam persamaan:

$$HP(k) = \prod_{n=1}^N |X(k/n)|$$

Hasil dari HPS adalah spektrum frekuensi yang harmonik, dengan *k* adalah indeks frekuensi spektrum harmonik, *Y* adalah besar spektrum pada frekuensi positif, dan *N* merupakan jumlah harmonik yang digunakan. HPS dilakukan setelah sinyal ditransformasikan ke dalam domain frekuensi terlebih dahulu dengan menggunakan algoritma FFT [6]. Berikut adalah gambaran dari algoritma HPS.

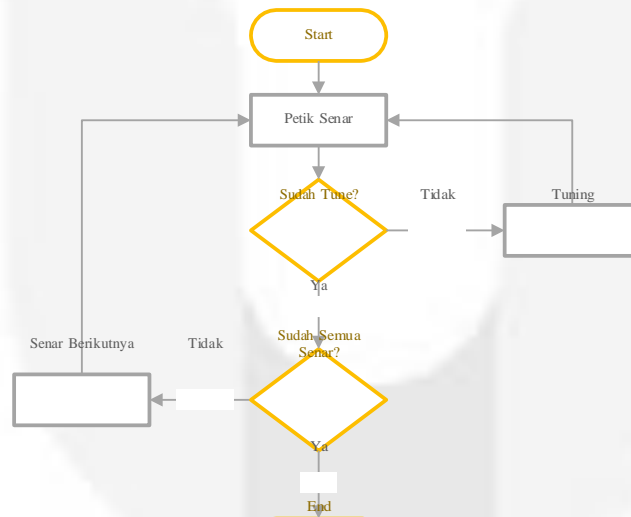


Gambar 1 Algoritma *Harmonic Product Spectrum*[9]

Grafik paling atas merupakan sinyal masukan asli hasil dari FFT [6]. Pada grafik kedua dilakukan downsampling dengan faktor 2 pada sinyal masukan, supaya posisi harmonik pertama sama dengan frekuensi dasar [6]. Pada grafik kedua dan seterusnya, dilakukan proses downsampling harmonik untuk tiap-tiap harmonik yang ada. Semua sinyal hasil downsampling tersebut berada pada posisi yang sama dengan frekuensi dasar. Hasil dari semua proses downsampling tadi kemudian dikalikan, sehingga mendapatkan frekuensi dasar baru [6].

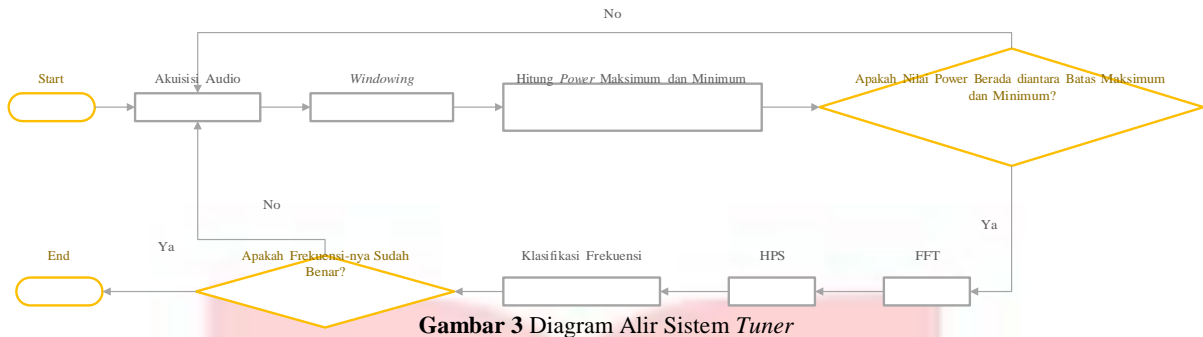
3. Perancangan dan Implementasi Sistem

Sistem *tuning* yang dilakukan mengikuti diagram alir berikut.



Gambar 2 Diagram *Tuning*

Sedangkan proses *tuning*-nya sendiri mengikuti diagram alir berikut.



Gambar 3 Diagram Alir Sistem Tuner

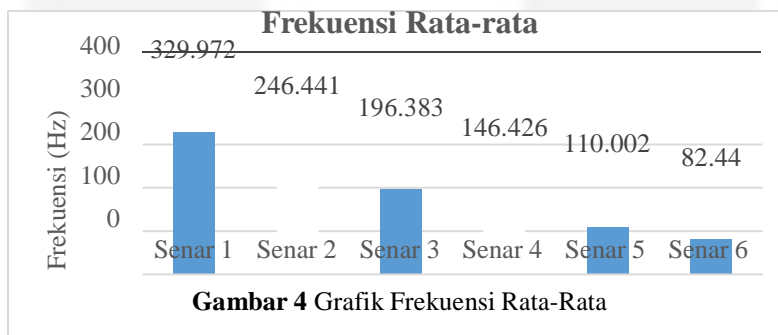
Pada penelitian ini, masukkan data berupa suara senar dari gitar. Dimana setiap senar gitar memiliki frekuensi standar yang telah ditetapkan yaitu (E-B-G-D-A-E). Program aplikasi ini harus mampu mendapatkan hasil sesuai frekuensi frekuensi gitar tersebut.

Setelah dimasukkan sinyal audio pada sistem, akan dilakukan akuisisi sinyal audio dengan menggunakan frekuensi sampling 44100 Hz. Kemudian sinyal tersebut dilakukan proses windowing dengan window hamming. Supaya sistem lebih efektif, dilakukan juga penentuan threshold power. Setelah itu dilakukan proses FFT dimana proses ini akan merubah sinyal dalam domain waktu ke dalam domain frekuensi. Spektrum frekuensi yang didapat kemudian dilakukan proses HPS sehingga dihasilkan frekuensi dasarnya. Setelah mendapatkan frekuensi dasar, jika hasilnya sama maka pada UI aplikasi akan tertulis tune. Jika kurang dari frekuensi referensi maka disebut *flat* dan jika lebih dari frekuensi maka disebut *sharp*.

4. Pengujian Sistem

4.1 Analisis Perbandingan Frekuensi yang dihasilkan dengan Frekuensi Referensi

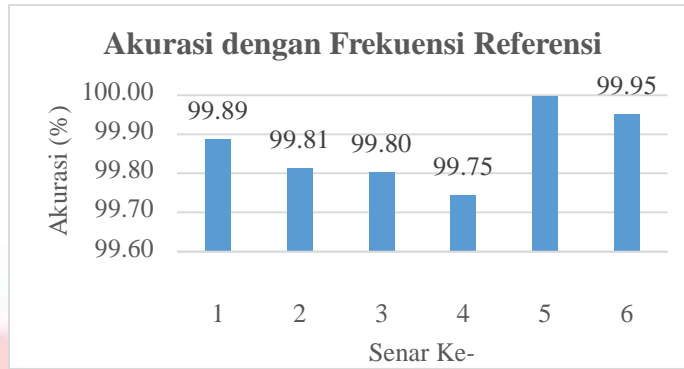
Untuk mengetahui tingkat akurasi nada yang dihasilkan senar gitar, kita perlu membandingkan frekuensi yang didapat dengan frekuensi standarnya, yang mana tertera pada Gambar 1. Sebelum melakukan pengujian, semua senar gitar berada pada kondisi *tune*. Pengujian dilakukan sebanyak sepuluh kali, lalu dihitung nilai rata-ratanya. Dari pengujian yang dilakukan didapat rata-rata frekuensi tiap senar sebagai berikut.



Gambar 4 Grafik Frekuensi Rata-Rata

Dari Gambar 4 terlihat bahwa hasil yang ditunjukkan oleh sistem terdapat perbedaan yang tidak cukup jauh. ini dapat disebabkan dari seberapa banyak akurasi yang direkayasa oleh sistem tersebut.

Setelah membandingkan frekuensi yang dihasilkan oleh aplikasi dengan frekuensi standar, maka didapat persentase akurasi sebagai berikut.

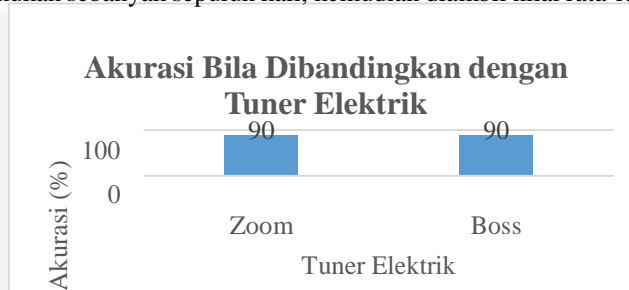


Gambar 5 Grafik Akurasi dengan Frekuensi Referensi

Dari Gambar 5 dapat kita lihat bahwa presentase akurasi dengan frekuensi standar lebih besara dari 9.95%. Kemudian terlihat Grafik Presentasi Error yang berbeda - beda. Persentase error terburuk ada pada senar empat, yaitu 0.25%. Dengan tingkat akurasi yang besar dan persentase *error* yang kecil seperti yang terlihat pada grafik, didapatkan hasil bahwa sistem ini menghasilkan frekuensi yang sesuai dengan frekuensi standar senar gitar.

4.2 Analisis Perbandingan Sistem dengan Tuner Gitar Elektrik

Sistem *tuner* gitar yang kemudian dibuat kemudian diuji dengan *tuner* gitar elektrik yang sesungguhnya. *Tuner* gitar elektrik yang digunakan untuk menguji sistem adalah ZOOM Multistomp MS-70CDR dan BOSS Chromatic Tuner TU-3. Pengujian dilakukan sebanyak sepuluh kali, kemudian diambil nilai rata-ratanya.



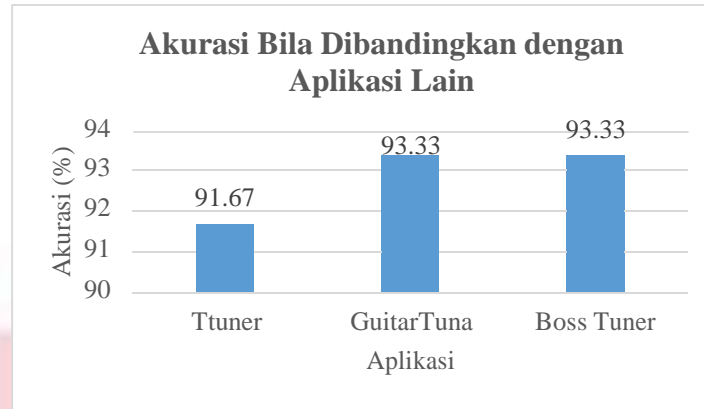
Gambar 6 Grafik Akurasi dengan *Tuner* Elektrik

Gambar 6 menampilkan akurasi rata-rata sistem ketika dilakukan pengujian terhadap tuner gitar elektrik. Akurasi dan persentase *error* yang didapatkan dari percobaan terhadap kedua *tuner* gitar elektrik identik. Akurasi untuk tuner ZOOM dan BOSS adalah 90%, sedangkan persentase *error*-nya adalah sebesar 10%.

Error terjadi dikarenakan frekuensi yang didapat oleh sistem tidak sesuai dengan yang didapat dari tuner elektrik. *Tuner* elektrik yang digunakan adalah tipe yang menggunakan konektor *jack* dengan sinyal input berupa getaran dari senar gitar, bukan tipe yang menggunakan *microphone* sebagai media akuisisi data seperti sistem yang telah dibuat, sehingga tuner elektrik ini lebih akurat.

4.3 Analisis Perbandingan Akurasi Sistem dengan Aplikasi Sejenis

Untuk mengetahui tingkat kelayakan sistem, perlu adanya perbandingan dengan aplikasi sejenis yang sudah beredar. Pada penelitian ini, sistem diuji terhadap aplikasi GuitarTuna dan Boss Tuner. Pengujian ini dilakukan sebanyak sepuluh kali dan dihitung nilai rata-ratanya. Perbandingan akurasi sistem terhadap kedua aplikasi tersebut adalah sebagai berikut.



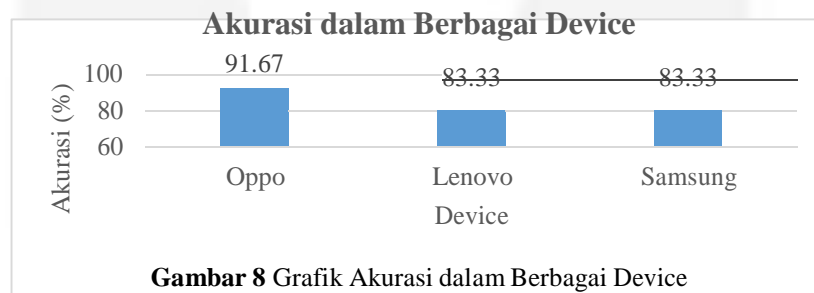
Gambar 7 Grafik Perbandingan Akurasi dengan Aplikasi Lain

Berdasarkan hasil yang diperlihatkan pada Gambar 7, maka sistem memiliki tingkat akurasi yang cukup baik bila dibandingkan dengan kedua aplikasi *tuner* sejenis. Hal ini menandakan bahwa sistem yang telah dibuat bisa menjadi alternatif bagi aplikasi sejenis yang sudah beredar.

Perbedaan akurasi terjadi karena perbedaan algoritma dan metode yang digunakan sistem dengan aplikasi-aplikasi tersebut. Namun sistem masih untuk memproses sinyal *input* sehingga didapat hasil yang diinginkan.

4.4 Analisis Pengaruh Spesifikasi *Device* Terhadap Akurasi Sistem

Dalam penelitian ini dilakukan pengujian terhadap tiga buah *smartphone* android yang berbeda merek dan spesifikasi. Pengujian ini dilakukan sebanyak sepuluh kali dan dihitung nilai rata-ratanya. Hasil akurasinya adalah sebagai berikut.



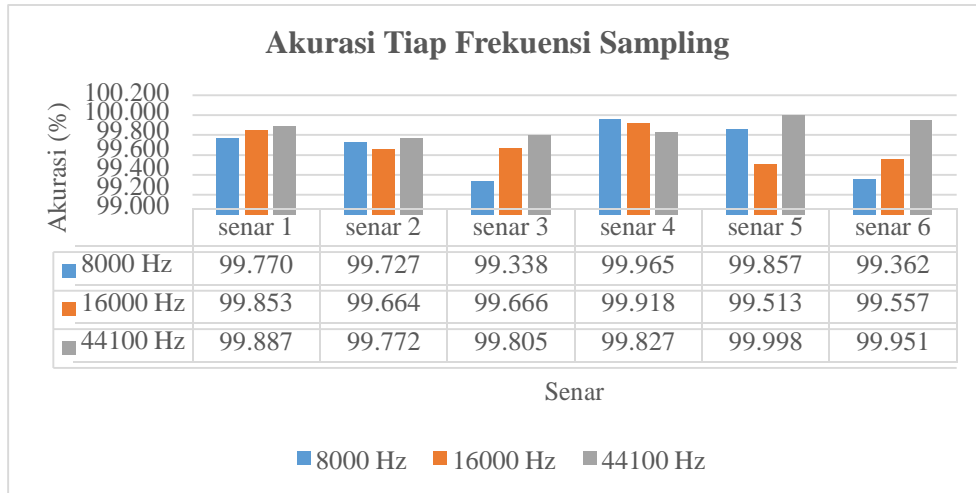
Gambar 8 Grafik Akurasi dalam Berbagai Device

Akurasi *device* Oppo adalah yang paling besar, yaitu mencapai 91.67%. Sedangkan dua *device* lainnya memiliki akurasi yang sama, yaitu 83.33%. Ketiga *device* ini memiliki OS dan besar RAM yang berbeda, namun kedua parameter itu bukanlah faktor penentu akurasi sistem.

Yang mempengaruhi akurasi sistem adalah spesifikasi dari *microphone* yang digunakan masing-masing *device*. Hal ini dikarenakan panjang data input yang akan diproses bergantung pada proses *record* yang dilakukan *microphone*.

4.5 Analisis Pengaruh Frekuensi *Sampling* Terhadap Akurasi Sistem

Untuk memproses sinyal suara, dibutuhkan frekuensi *sampling*. Frekuensi *sampling* umumnya berbeda-beda untuk jenis suara yang berbeda. Dalam penelitian ini dilakukan pengujian terhadap tiga macam frekuensi *sampling*, yaitu 8000 Hz, 16000 Hz, 44100 Hz. Pengujian ini dilakukan sebanyak sepuluh kali dan dihitung nilai rata-ratanya.



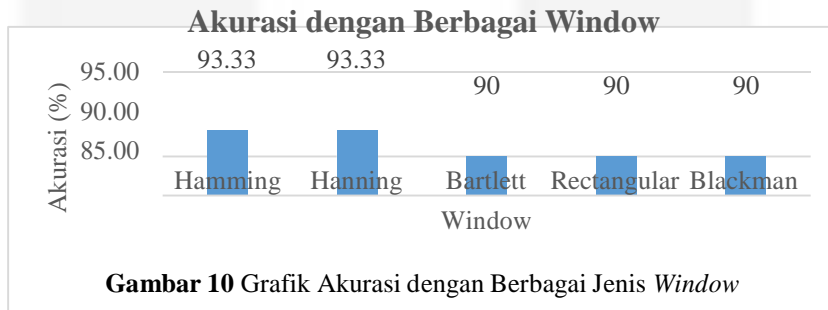
Gambar 9 Grafik Akurasi dengan Berbagai Frekuensi Sampling

Percobaan dengan frekuensi *sampling* sebesar 44100 Hz menghasilkan akurasi terbesar untuk hampir tiap senar, walaupun perbedaannya tidak banyak. Dengan panjang data yang sama, frekuensi *sampling* sebesar 44100 Hz, didapatkan hasil yang lebih baik karena banyak *sampling* yang dipakai semakin besar.

Frekuensi *sampling* ini berpengaruh pada ketelitian frekuensi dasar tiap senar yang dihasilkan, karena frekuensi *sampling* mempengaruhi kecepatan proses dari sistem. Dengan panjang data yang sama, frekuensi *sampling* 44100 Hz lebih cocok untuk sistem yang bersifat *real-time*.

4.6 Analisis Pengaruh Jenis Window Terhadap Akurasi Sistem

Pada sistem ini, dilakukan proses filtering menggunakan metode *windowing* untuk mengurangi adanya kebocoran frekuensi. Jenis *window* yang direkomendasikan adalah *window Hamming*, tapi dilakukan juga pengujian dengan jenis *window* lainnya agar pengaruh jenis *window* ini diketahui. *Window* yang digunakan antara lain *Hamming*, *Hanning*, *Bartlett*, *Rectangular*, dan *Blackman*. Untuk setiap jenis *window* dilakukan percobaan sebanyak lima kali dan dihitung nilai rata-ratanya.

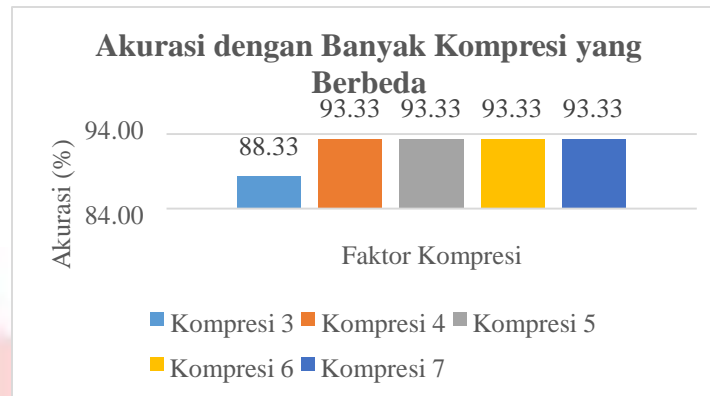


Gambar 10 Grafik Akurasi dengan Berbagai Jenis Window

Gambar 10 menunjukkan akurasi untuk semua jenis *window* yang dipakai. Hal ini menunjukkan bahwa jenis *window* yang dipakai tidak berpengaruh terhadap sistem yang dibuat. Akurasi yang didapat berada di angka 90% keatas untuk semua *window*, sehingga dapat disimpulkan jika sinyal masukkan hanya berupa suara senar gitar proses *windowing* tidak perlu dilakukan. Hal ini dikarenakan sinyal masukkan yang berupa suara petikan senar gitar tidak terlalu panjang sehingga kebocoran spektrum jarang terjadi.

4.7 Analisis Pengaruh Jumlah Kompresi Terhadap Akurasi Sistem

Kompresi yang dibutuhkan algoritma HPS dalam sistem ini dilakukan dengan faktor 2 sampai dengan 5, yang berarti ada 5 sinyal yang dikalikan dalam sistem ini termasuk sinyal masukkan. Untuk mengetahui pengaruh jumlah kompresi terhadap akurasi, dilakukan pengujian untuk faktor pengali dari kompresi tiga, empat, lima, enam, dan tujuh. Pengujian dilakukan sebanyak sepuluh kali dan dihitung nilai rata-ratanya.



Gambar 11 Grafik Akurasi dengan Perbedaan Jumlah Kompresi

Gambar 11 menunjukkan hasil akurasi sistem dengan faktor kompresi yang berbeda. Dengan faktor kompresi = 3, didapat akurasi sebesar 88.33 %, sedangkan untuk faktor kompresi = 4 sampai dengan 7, didapat akurasi yang sama yaitu sebesar 93.33 %. Hal ini menunjukkan bahwa faktor kompresi optimal untuk sistem adalah 4. Untuk faktor kompresi = 5 sampai dengan 7, tidak optimal karena menghasilkan akurasi yang sama dengan faktor 4, tapi sistem melakukan lebih banyak proses.

5. Kesimpulan

Dari hasil analisis pengujian sistem tuner gitar berbasis *Fast Fourier Transform* dan *Harmonic Product Spectrum*, didapatkan hasil bahwa akurasi tertinggi saat diuji dengan membandingkan dengan frekuensi standar gitar adalah 99.95% untuk senar ke-6. Sedangkan persentase *error* terburuknya adalah 0.05%. Sedangkan kurasi yang diperoleh ketika membandingkan dengan *tuner* gitar elektronik adalah 90% dengan persentase *error* 10%. Kebanyakan *error* terjadi pada senar ke-6, dimana frekuensinya paling rendah. Akurasi yang didapatkan sistem tidak jauh berbeda dengan akurasi aplikasi sejenis yang sudah ada di *playstore*. Dimana dari pengujian yang dilakukan, aplikasi *GuitarTuna* dan *Boss Tuner* menghasilkan akurasi sebesar 93.33% sedangkan sistem menghasilkan akurasi sebesar 91.67%.

OS dan RAM dari device tidak berpengaruh terhadap aplikasi, hal ini dibuktikan oleh dua *device* yang menggunakan OS dan RAM berbeda namun memiliki akurasi yang sama. Adapun komponen *device* yang berpengaruh terhadap aplikasi adalah spesifikasi *microphone*-nya. Frekuensi *sampling* berpengaruh terhadap kecepatan proses dari sistem sehingga akan berpengaruh juga pada ketelitian frekuensi yang dihasilkan. Semakin besar frekuensi *sampling*, waktu proses juga akan semakin cepat.

Proses *windowing* tidak berpengaruh terhadap akurasi karena sinyal masukan, yaitu suara petikan senar gitar tidak terlalu panjang. Hal ini dikarenakan saat kondisi tersebut, diskontinuitas jarang terjadi. Faktor kompresi yang optimal untuk algoritma *Harmonic Product Spectrum* pada sistem ini adalah dengan faktor 4.

Daftar Pustaka

- [1] M. L. R. and A. K. Saji, "A Digital Guitar Tuner," 2009.
- [2] S. Wiguna, "Frequency Detection of Piano Basic Tone Based on Correlation, Discrete Cosine Transform, and Fast Fourier Transform," *Telkom University*, 2009.
- [3] Y. Maulana, "Implementation of Guitar Tuner Based on Fast Fourier Transform," *Telkom University*, 2012.
- [4] M. Soeharto, *Belajar Notasi Balok*, Jakarta: Gramedia, 1978.
- [5] N. Siripya and T. Nagarijan, "Pitch Estimation Using Harmonic Product Spectrum derived from DCT," *IEEE*, 2013.
- [6] T. G. Permana, "Identifikasi Akor Gitar Menggunakan Algoritma Harmonic Product Spectrum," *Telkom University*, 2014.