

**SINTESIS SUARA GAMELAN GENDER MENGGUNAKAN METODE DOUBLE
FREQUENCY MODULATION (DFM)**

SKRIPSI



**I GUSTI NGURAH BAGUS PUTRA ASMARA
NIM. 1408605041**

**JURUSAN ILMU KOMPUTER
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS UDAYANA
BUKIT JIMBARAN
2018**

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Judul : Sintesis Suara Gamelan Gender Menggunakan Metode
Double Frequency Modulation (DFM)
Nama : I Gusti Ngurah Bagus Putra Asmara
NIM : 1408605041
Tanggal Seminar :

Disetujui oleh:

Reviewer I

Penguji I

I Made Widiartha, S.Si, M.Kom

NIP. 19821220 200801 1 008

Drs. I Wayan Santiyasa, M.Si

NIP. 196704141992031002

Reviewer II

Penguji II

Agus Muliantara, S.Kom, M.Kom

NIP. 19800616 200501 1 001

Ida Bagus Gede Dwidasmaras, S.Kom., M.Cs.

NIP. 198503152020212007

Penguji III

Made Agung Raharja., S.Si., M.Cs

NIP.1975010220130122003

Mengetahui,

Komisi Seminar dan Tugas Akhir
Jurusan Ilmu Komputer FMIPA UNUD

I Gede Santi Astawa, S.T., M.Cs.

NIP. 198012062006041003

KATA PENGANTAR

Puji syukur dipanjatkan dihadapan Ida Shang Hyang Widi Wasa, karena berkat rahmat dan karunia beliau, Tugas Akhir dengan judul “Sintesis Suara Gamelan Gender Menggunakan Metode Double Frequency Modulation (DFM)” dapat diselesaikan dengan tepat waktu. Tugas Akhir ini diharapkan dapat dijadikan pedoman saat melaksanakan penelitian tugas akhir. Penyusunan laporan tugas akhir ini terlaksana dengan baik berkat dukungan dari banyak pihak. Untuk itu, peneliti mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah membantu dalam pembuatan tugas akhir ini, antara lain:

1. Bapak I Made Widiartha, S.Si, M.Kom sebagai Reviewer I yang telah banyak meluangkan waktu untuk membantu pelaksanaan tugas akhir ini;
2. Bapak Agus Muliantara, S.Kom, M.Kom sebagai Reviewer II yang telah banyak membantu menyempurnakan laporan tugas akhir ini;
3. Bapak-bapak dan ibu-ibu dosen di Jurusan Ilmu Komputer yang telah meluangkan waktu turut memberikan saran dan masukan dalam penyempurnaan laporan tugas akhir ini;
4. Kawan-kawan di Jurusan Ilmu Komputer yang telah memberikan dukungan moral dalam penyelesaian laporan tugas akhir ini.

Disadari pula bahwa sudah tentu laporan tugas akhir ini masih mengandung kelemahan dan kekurangan. Memperhatikan hal ini, maka masukan dan saran-saran penyempurnaan sangat diharapkan.

Bukit Jimbaran, Juli 2018

Penulis,

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR KODE PROGRAM	ix
BAB I PENDAHULUAN	1
2.1. Latar Belakang	1
2.2. Rumusan Masalah	3
2.3. Tujuan Penelitian	3
2.4. Batasan Masalah	4
2.5. Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Tinjauan Studi	5
2.2. Gamelan Gender	6
2.3. Domain Waktu dan Domain Frekuensi	7
2.4. Frekuensi Dasar, Frekuensi Harmoni dan <i>Overtone</i>	8
2.5. Cent	9
2.6. Fast Fourier Transform	10
2.7. FFT Window	10
2.8. Moving Average Filter	11
2.9. Transformasi Hilbert	15
2.10. Sinyal Analitik	15

2.11.	Sound Forge	16
2.12.	Frequency Modulation (FM)	16
2.13.	Double Frequency Modulation (DFM)	19
2.14.	DFM Harmonik.....	20
2.15.	Diagram UML.....	20
2.15.1.	Use Case Diagram.....	21
2.15.2.	Activity Diagram.....	22
2.16.	Metode Pengujian <i>Blackbox</i>	22
BAB III ANALISIS DAN PERANCANGAN SISTEM		24
3.1.	Analisis Kebutuhan	24
3.1.1.	Kebutuhan Fungsional	24
3.1.2.	Kebutuhan Non Fungsional.....	24
3.2.	Perancangan Aplikasi	24
3.2.1.	Data Penelitian	25
3.2.2.	Diagram UML.....	25
3.2.3.	Tahap Analisis Suara.....	27
3.2.4.	Rancangan Antar Muka Aplikasi	34
3.3.	Tahap Pembuatan Aplikasi.....	35
3.4.	Tahap Evaluasi Aplikasi.....	36
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		38
4.1.	Proses Analisis Suara	38
4.1.1.	Tahap <i>Preprocessing</i>	38
4.1.2.	Tahap Sintesis Suara dengan DFM	42
4.1.3.	Tahap Optimasi Suara.....	47
4.2.	Proses Pembuatan Aplikasi Penilaian Keselarasan Nada Bilah Gender	52

4.2.1.	Tampilan Awal Aplikasi	53
4.2.2.	Proses Input Data dan Kriteria Pengujian	54
4.2.3.	Proses Pengujian Keselarasan Nada Bilah Gender	56
4.2.4.	Output Aplikasi Penilaian Keselarasan Nada Bilah Gender	58
4.3.	Evaluasi Aplikasi Penilaian Keselarasan Nada Bilah Gender	59
BAB V SIMPULAN DAN SARAN		62
5.1.	Simpulan.....	62
5.2.	Saran	62
DAFTAR PUSTAKA		63

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 : Perbandingan Jenis Fungsi Window	11
Tabel 3. 1 : Kriteria Pengujian Aplikasi dengan Blackbox.....	36
Tabel 4. 1 : Hasil Analisis Frekuensi Tertinggi Seluruh Bilah Gender Kantilan Pengumbang dengan Sound Forge Pro	39
Tabel 4. 2 : Hasil Analisis Frekuensi Tertinggi Seluruh Bilah Gender Kantilan Pengisep dengan Sound Forge Pro.....	39
Tabel 4. 3 : Frekuensi Dasar Seluruh Bilah Gender Kantilan Pengumbang	40
Tabel 4. 4 : Frekuensi Dasar Seluruh Bilah Gender Kantilan Pengisep	40
Tabel 4. 5 : Array Frekuensi Dasar Dataset	40
Tabel 4. 6 : Array envelope yang menyimpan bungkus sinyal dataset.....	42
Tabel 4. 7 : Tipikal Sepuluh Baris Array delta_pengumbang.....	46
Tabel 4. 8 : Tipikal Sepuluh Baris Array delta_pengisep	46
Tabel 4. 9 : Nilai delta masing-masing bilah gender pengumbang suara hasil sintesis dengan ratio terbaik	49
Tabel 4. 10 : Nilai delta masing-masing bilah gender pengisep suara hasil sintesis dengan ratio terbaik.....	49
Tabel 4. 11 : Frekuensi Harmoni Suara Hasil Sintesis Gender Pengumbang dengan ratio terbaik.....	49
Tabel 4. 12 : Frekuensi Harmoni Suara Hasil Sintesis Gender Pengisep dengan ratio terbaik	50
Tabel 4. 13 : Selisih frekuensi dasar pengumbang dengan frekuensi rata-rata pengumbang	51
Tabel 4. 14 : Selisih frekuensi dasar pengumbang dengan frekuensi rata-rata pengumbang	51
Tabel 4. 15 : Hasil Sintesis Bilah Gender Pengumbang dengan Ratio Terbaik....	51
Tabel 4. 16 : Hasil Sintesis Bilah Gender Pengisep dengan Ratio Terbaik	52
Tabel 4. 17 : Hasil pengujian aplikasi penilaian keselarasan nada bilah gender dengan metode pengujian blackbox	60

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 : Gamelan Gender.....	6
Gambar 2. 2 : Kiri : domain waktu suatu sinyal, kanan : domain frekuensi suatu sinyal	8
Gambar 2. 3 : Kiri : sinyal suara piano note E4, kanan : domain frekuensi dari sinyal suara piano note E4.....	9
Gambar 2. 4 : Sintaks penerapan Moving Average Filter dengan Matlab.....	13
Gambar 2. 5 : Plot Sinyal dengan Derau Acak	14
Gambar 2. 6 : Plot Sinyal Hasil Moving Average Filter dengan Nilai M yang Berbeda-beda.....	15
Gambar 2. 7 : a) Sebuah sinyal analog b) Sinyal pembungkus dari sinyal analog a, c) Sinyal pembungkus yang telah mendapatkan filter	16
Gambar 2. 8 : a) sinyal carrier b) sinyal pemodulasi c) sinyal termodulasi dengan FM	17
Gambar 2. 9 : Grafik hasil fungsi Bessel untuk nilai $n=0$ sampai $n=5$	18
Gambar 2. 10 : Contoh Use Case Diagram Sistem ATM	21
Gambar 2. 11 : Contoh activity diagram sistem perpustakaan.....	22
Gambar 3. 1 : Use Case Diagram Aplikasi Sintesis Suara Gender	26
Gambar 3. 2 : Activity Diagram Sintesis Suara Gender	26
Gambar 3. 3 : Flowchart Tahapan Penelitian.....	27
Gambar 3. 4 : Contoh tampilan aplikasi sound forge pro setelah menginput file suara	29
Gambar 3. 5 : Pemilihan menu spectrum analysis untuk melakukan transformasi fourier.....	29
Gambar 3. 6 : Hasil dari transformasi fourier beserta frekuensi tertinggi (peak) dari file suara.....	30
Gambar 3. 7 : Sinyal envelope bilah kesembilan gangsa pengumbang sebelum dikenakan filter.....	30
Gambar 3. 8 : Sinyal envelope bilah kesembilan gangsa pengumbang setelah dikenakan filter.....	31

Gambar 3. 9 : Flowchart Proses Sintesis dengan DFM	32
Gambar 3. 10 : Flowchart Proses Pengujian Suara Hasil Sintesis dengan DFM..	34
Gambar 3. 11 : Rancangan Antar Muka Aplikasi	35
Gambar 4. 1 : Tampilan Awal Aplikasi Penilaian Keselarasan Nada Bilah Gender	53
Gambar 4. 2 : Tampilan Input File Audio Bilah Gender	54
Gambar 4. 3 : Contoh Input Data dan Kriteria Pengujian Keselarasan Bilah Gender	55
Gambar 4. 4 : Contoh Tampilah Proses Pengujian Keselarasan Nada	56
Gambar 4. 5 : Contoh Tampilan saat Proses Pengujian Berakhir	59

DAFTAR KODE PROGRAM

Kode Program 4. 1 : Sintaks Pencarian dan Penghalusan Bungkus Sinyal	41
Kode Program 4. 2 : Sintaks Fungsi DFM	43
Kode Program 4. 3 : Sintaks Proses Sintesis.....	44
Kode Program 4. 4 : Sintaks Fungsi GetFrequencyHarmony	45
Kode Program 4. 5 : Sintaks pencarian nilai delta terkecil dari tiap bilah masing-masing jenis gender.....	48
Kode Program 4. 6 : Sintaks Proses Membaca File	57
Kode Program 4. 7 : Sintaks Pembandingan Frekuensi Harmoni Data Input dengan Dataset	58

BAB I

PENDAHULUAN

2.1. Latar Belakang

Pulau Bali merupakan salah satu daerah di nusantara yang memiliki kebudayaan yang sudah menjadi elemen utama dalam kehidupan keseharian masyarakat Bali. Kebudayaan yang dimiliki oleh Pulau Bali masih dilestarikan sampai saat ini karena kebudayaan tersebut tidak dapat dilepaskan dari kegiatan kehidupan sehari-hari. Pola kehidupan masyarakat Bali ini telah melahirkan berbagai jenis hal, mulai dari tarian, pakaian adat, rumah adat, musik dan alat musik khas daerah. Hal-hal inilah yang menjadi daya tarik dari Bali bagi masyarakat dunia.

Salah satu aspek kesenian masyarakat Bali adalah gamelan khas Bali. Seni gamelan khas Bali memiliki nilai keunikan yang kuat. Salah satu instrument gamelan yang ada di Bali adalah *gender*. *Gender* merupakan sebuah jenis gamelan yang tergolong tua di Bali. *Gender* diduga telah ada pada abad ke-14. Gamelan *gender* biasanya digunakan untuk mengiringi upacara adat *Dewa Yadnya* pada saat mengiringi pertunjukan wayang. Untuk melestarikan budaya gamelan *gender*, pemerintah daerah telah melakukan berbagai macam upaya, seperti mendirikan sanggar di beberapa desa, mengadakan pementasan budaya antar daerah dan lomba-lomba.

Salah satu faktor yang memengaruhi eksistensi gamelan *gender* adalah pengerajin dari gamelan *gender* tersebut. Dalam proses pembuatan gamelan *gender* pengerajin gamelan *gender* mengandalkan indera pendengaran untuk menyesuaikan nada yang diinginkan dari setiap bilah dari gamelan *gender*. Kemampuan untuk menyesuaikan nada pada bilah *gender* tidak dimiliki oleh setiap orang, sehingga menyebabkan proses pembuatan *gender* tidak dapat dilakukan oleh sembarang orang. Selain itu, terdapat hambatan dalam melestarikan budaya. Menurut Saiman pada tulisan yang berjudul “*Tantangan Budaya Nasional di Era Globalisasi*”, salah satu hambatan dalam pelestarian budaya daerah adalah adanya

arus globalisasi yang sangat pesat yang diakibatkan oleh perkembangan teknologi informasi yang cepat sehingga kebudayaan dari negara lain dapat dengan mudah dan cepat masuk ke dalam negeri. Globalisasi dapat mengancam kepunahan dari pengrajin gamelan gender. Jika tidak ada pengrajin gender yang tersisa, maka gamelan gender akan terancam punah.

Dalam upaya untuk melestarikan dan meningkatkan minat masyarakat Bali kepada gamelan gender maka diperlukan suatu metode terobosan untuk mendigitasi gamelan gender yang nantinya dapat digunakan sebagai pedoman dalam proses pembuatan dan penyelarasan nada pada gamelan gender mengingat kemampuan untuk menyelaraskan nada pada gamelan gender tidak dimiliki oleh setiap orang. Dalam bidang pemrosesan suara/audio, terdapat metode yang disebut sintesis suara. Sintesis suara adalah suatu teknik atau metode yang digunakan untuk menciptakan atau membangkitkan suara atau bunyi. Sintesis suara dapat digunakan untuk menirukan suatu suara tertentu atau membangkitkan suara baru. Para penulis terdahulu telah menggunakan metode sintesis suara untuk mengembangkan musik. Pada penelitian yang telah dilakukan oleh Pablo Caceres pada tahun 2007 dengan topik *Sound Design Learning*, didapatkan hasil bahwa metode *frequency modulation* (FM) dapat melakukan sintesis dengan algoritmanya yang cepat (Pablo, 2007). Namun, suara hasil proses sintesis memiliki frekuensi harmoni yang terbatas yang mengakibatkan kurang kompleksnya suara yang dihasilkan. Hal ini terjadi karena pada metode sintesis FM hanya menggunakan satu sinyal pemodulasi (Tan, 1994)

Pada tahun 1994, B.T.G Tan dan kawan-kawan meneliti sebuah metode yang merupakan pengembangan dari metode FM. Metode tersebut bernama *Double Frequency Modulation* (DFM). Yang membedakan antara FM dengan DFM adalah penggunaan sinyal *modulator* yang berjumlah dua buah, dimana pada metode FM sendiri hanya menggunakan satu buah saja (B.T.G Tan, dkk 1994). Selain itu, pada tahun 2005, L.J.S.M. Alberts meneliti tentang perbandingan antar model pada metode FM. Ada tiga model FM yang dibandingkan, yaitu *double frequency modulation* (DFM), *nested frequency modulation* (NFM) dan *asymmetrical frequency modulation* (AFM) (L.J.S.M. Alberts, 2005). Dari penelitian tersebut,

disebutkan bahwa metode DFM memiliki kelebihan berupa beban komputasional yang lebih ringan dibandingkan metode NFM dan AFM, dan memiliki kelebihan berupa kemampuan menghasilkan suara yang lebih kompleks dibandingkan metode FM. Dengan memperhatikan kelebihan dari metode DFM tersebut, maka penelitian ini menggunakan metode DFM untuk melakukan sintesis suara gamelan *gender*. Penelitian ini akan menghasilkan kombinasi yang optimum dari sinyal pembungkus, sinyal pemodulasi pertama dan sinyal pemodulasi kedua yang nantinya digunakan untuk membangun perangkat lunak yang dapat digunakan untuk menilai keselarasan nada dari suara input dari bilah *gender* dengan patokan dari dataset yang telah ada.

2.2. Rumusan Masalah

Dari latar belakang penelitian, dapat dirumuskan permasalahan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

- a. Bagaimana proses sintesis suara gamelan *gender* menggunakan metode DFM?
- b. Berapakah perbandingan antara sinyal pembungkus, pemodulasi pertama dan pemodulasi kedua yang optimal untuk menghasilkan suara sintetik yang paling mendekati suara rekaman?
- c. Bagaimana proses penilaian keselarasan nada suara *gender* input dengan patokan dataset pada sistem?

2.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

- a. Untuk melakukan sintesis suara gamelan *gender* dengan metode sintesis DFM.
- b. Untuk mengetahui perbandingan antara sinyal pembungkus, pemodulasi pertama dan pemodulasi kedua yang optimal untuk menghasilkan suara sintetik yang paling mendekati suara rekaman
- c. Untuk membangun sebuah perangkat lunak yang dapat digunakan untuk menilai keselarasan nada suara *gender* input dengan patokan dataset pada sistem

2.4. Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah :

- a. Dataset (rekaman suara gamelan *gender*) yang digunakan berada dalam format .wav.
- b. Gamelan *gender* yang suaranya direkam merupakan *gender* dengan jenis *gender wayang kantikan* dari Pande Gong Sidhakarya yang terletak di desa Blahbatuh, Kabupaten Gianyar.

2.5. Manfaat Penelitian

Penulis berharap diadakannya penelitian sintesis suara gamelan *gender* dengan metode DFM dapat menambah wawasan mengenai proses sintesis suara dan pemanfaatan teknologi komputer dalam melestarikan budaya, khususnya budaya musik gamelan *gender* di Bali. Penelitian ini juga diharapkan dapat memberikan manfaat bagi penulis lainnya dalam menemukan ide-ide baru. Untuk penulis, penelitian ini diharapkan dapat memberikan jawaban dari pertanyaan-pertanyaan dari permasalahan yang penulis teliti.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Untuk menunjang pelaksanaan penelitian ini, dilakukan tinjauan pustaka mengenai tinjauan studi yang terdiri dari penelitian-penelitian terkait dengan proses sintesis suara, gamelan gender, frekuensi dasar dan frekuensi harmoni, domain waktu dan domain frekuensi dalam pengolahan sinyal, *cent*, *Fast Fourier Transform* (FFT), FFT Window, Moving Average Filter, transformasi Hilbert, Sound Forge, *Frequency Modulation* (FM), dan *Double Frequency Modulation* (DFM).

2.1. Tinjauan Studi

Sintesis suara merupakan salah satu bidang dalam pengolahan sinyal. Salah satu penelitian mengenai sintesis suara alat musik daerah dilakukan oleh Aris Tjahyanto dengan menggunakan model Analysis By Synthesis (Aris Tjahyanto, 2011). Objek alat musik yang disintesis adalah gamelan Jawa. Adapun alur dari model yang digunakan dimulai dari merekam suara gamelan. Kemudian dilakukan identifikasi frekuensi harmonis dan ekstraksi sinyal pembungkus (*envelope*). Sinyal pembungkus didapatkan dengan menggunakan metode Fast Fourier Transform (FFT) dan Infinite Fast Fourier Transform (IFFT), namun ada pula metode pencarian sinyal pembungkus menggunakan transformasi Hilbert dan low pass filter. Setelah itu, dilakukan sintesis menggunakan metode sintesis Aditif. Langkah akhir yang dilakukan adalah membandingkan suara rekaman gamelan yang dihasilkan dari penabuh dengan suara hasil sintesis dengan menggunakan metode sintesis Aditif. Hasil dari penelitian Aris Tjahyanto tahun 2011 tersebut adalah suara sintesis yang dihasilkan dengan menggunakan sintesis Aditif belum mampu menirukan suara dentingan khas logam yang dipukul.

Selain itu, ada pula penelitian yang mengangkat topik sintesis audio menggunakan metode FM. Penelitian tersebut dilakukan oleh John M. Chowning. Chowning melakukan sintesis suara dengan menggunakan metode FM pada penelitian yang berjudul *The Synthesis of Complex Audio Spectra by Means of*

Frequency Modulation. Pada penelitian tersebut, Chowning mencoba melakukan sintesis suara kuingan, woodwind, dan suara perkusif. Chowning mengatakan bahwa melakukan sintesis menggunakan metode FM dapat menghasilkan spektrum yang kompleks dengan sederhana (Chowning, 1973). Namun, menurut Lazzarini tahun 2010, metode FM memiliki kelemahan yaitu ketika digunakan untuk menirukan suara instrument asli, kemiripan suara yang dihasilkan tidak mirip dengan suara instrument aslinya (Lazzarini, 2010). Kelemahan dari metode FM tersebut dapat ditanggulangi dengan menggunakan metode DFM, dimana menurut Tan(1994), metode DFM memiliki kinerja yang lebih baik dari FM karena penggunaan sinyal pemodulasi yang berjumlah dua buah. Hal ini diperkuat oleh Albert yang melakukan penelitian pada tahun 2005, dimana Alberts menyatakan bahwa metode DFM dapat menghasilkan suara sintesis yang dapat menyamai suara asli dengan menggunakan dua sinyal pemodulasi.

2.2. Gamelan Gender



Gambar 2. 1 : Gamelan Gender

Menurut Ensiklopedia Karawitan Bali, Gender wayang merupakan sebuah gamelan yang termasuk pada klasifikasi golongan gamelan tua, di Bali gambelan Gender Wayang diduga telah ada dari abad ke 14. Gamelan Gender Wayang keberadaannya telah tersebar hampir ke seluruh penjuru pulau Bali. Contoh gamelan gender dapat dilihat pada gambar 2.1. Gender Wayang adalah sebuah

instrument yang digunakan untuk mengiringi upacara keagamaan di Bali, seperti upacara Dewa Yadnya untuk mengiringi pertunjukan Wayang lemah dan pada upacara Manusa Yadnya mengiringi prosesi mepandes.

Pada satu set gamelan gender, terdapat 4 buah gender yang terdiri dari 2 buah gender pemade yang bernada agak besar dan 2 buah gender kantilan yang bernada agak kecil. Dalam dua buah gender pemade atau kantilan, kedua buah gender tersebut bernada berbeda. Satu buah gender bernada lebih tinggi dari yang lainnya. Gender pemade atau kantilan yang memiliki nada lebih nyaring di jenisnya disebut dengan pengumbang, sedangkan gender pemade atau kantilan yang memiliki nada lebih rendah di jenisnya disebut dengan pengisep. Tujuan dari perbedaan nada pada tiap jenis gender tersebut adalah untuk menciptakan suara gema pada saat permainan gender dilakukan.

2.3. Domain Waktu dan Domain Frekuensi

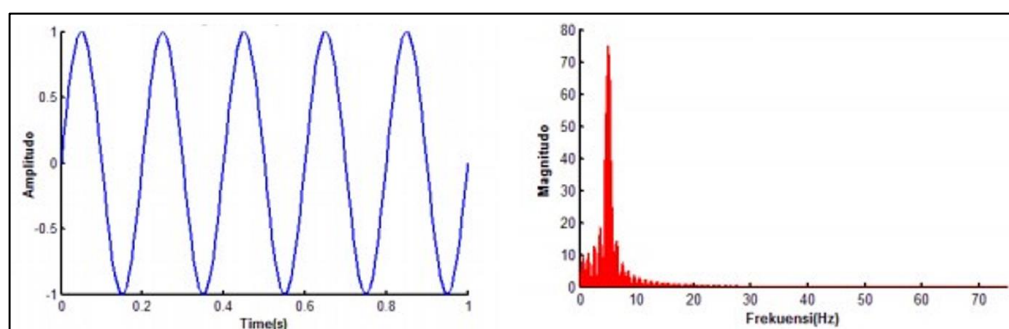
Domain waktu dan domain frekuensi merupakan dua jenis mode yang sering digunakan dalam proses analisis data. Pada domain waktu, ketika diplot salah satu sumbu dengan variabel waktu maka variabel lainnya adalah amplitudo. Sinyal domain waktu berupa gelombang berjalan yang direpresentasikan pada waktu terhadap amplitudo dari sinyal. Amplitudo pada sinyal domain waktu menunjukkan keras lemahnya sinyal yang diterima. Sehingga, sinyal yang diterima tidak memiliki karakteristik yang berbeda tiap waktunya. Pada sinyal domain frekuensi, ketika diplot berupa spektrum dengan penyajian frekuensi terhadap magnitudo. Spektrum frekuensi sinyal pada dasarnya adalah komponen frekuensi (spektral frekuensi) sinyal yang menunjukkan frekuensi apa yang muncul. Frekuensi menunjukkan tingkat perubahan. Jika suatu variabel sering berubah, maka disebut berfrekuensi tinggi. Namun, jika tidak sering berubah, maka disebut berfrekuensi rendah. Jika variabel tersebut tidak berubah sama sekali, maka disebut tidak mempunyai frekuensi (nol frekuensi). Magnitudo pada sinyal domain frekuensi menunjukkan tinggi rendahnya sinyal yang diterima. Contoh hasil plot sinyal ke domain waktu dan domain frekuensi dapat dilihat pada gambar 2.2.

Kedua mode analisis ini sudah digunakan secara luas pada bidang elektronik, musik, telekomunikasi, dan sebagainya. Analisis pada domain frekuensi digunakan

apabila prosesnya membutuhkan *filtering*, *amplifying*, dan *mixing*, sedangkan analisis pada domain waktu akan memberikan hasil kebiasaan dari sinyal terhadap variable waktu, dimana analisis pada domain waktu memungkinkan untuk melakukan prediksi dan model regresi terhadap sinyal.

Analisis pada domain waktu merupakan proses menganalisis data terhadap periode waktu tertentu. Domain frekuensi juga dapat digunakan dalam proses menganalisis data. Namun analisis yang dilakukan pada domain frekuensi merupakan proses untuk menganalisis fungsi matematika atau sinyal mengenai frekuensi. Analisis pada domain frekuensi lebih banyak digunakan terhadap sinyal atau fungsi yang bersifat periodik terhadap waktu.

Salah satu konsep terpenting dari analisis pada domain frekuensi adalah transformasi. Proses transformasi digunakan untuk mengubah fungsi pada domain waktu ke dalam fungsi pada domain frekuensi atau sebaliknya. Salah satu transformasi yang sering digunakan adalah transformasi Fourier. Transformasi Fourier digunakan untuk mengubah sinyal dari berbagai bentuk kedalam sejumlah gelombang sinusoidal tak terbatas.

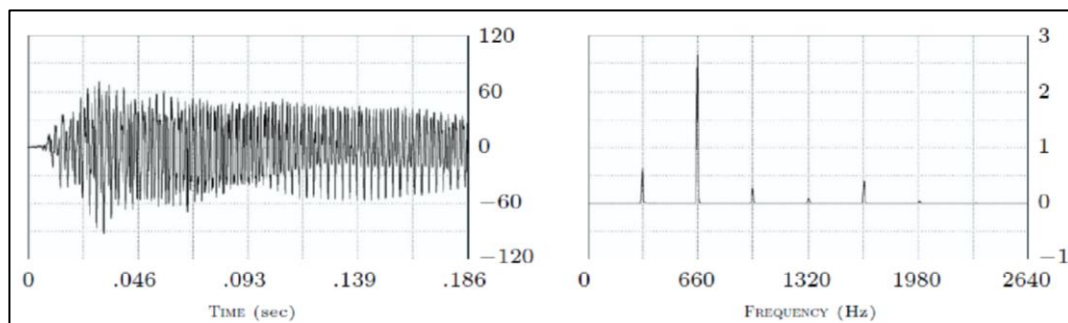


Gambar 2. 2 : Kiri : domain waktu suatu sinyal, kanan : domain frekuensi suatu sinyal

2.4. Frekuensi Dasar, Frekuensi Harmoni dan *Overtone*

Sinyal asli memiliki berbagai frekuensi, amplitudo yang berbeda. Ada dua jenis frekuensi yang dimiliki oleh suatu sinyal, antara lain frekuensi dasar dan frekuensi harmoni. Frekuensi dasar adalah frekuensi terendah dari suatu gelombang periodik. Frekuensi harmoni merupakan bagian frekuensi dari sinyal yang berupa kelipatan bilangan bulat dari frekuensi dasar (Jeremy,2002).

Overtone merupakan frekuensi-frekuensi natural yang bernilai di atas frekuensi dasar. Perbedaan *overtone* dengan harmoni adalah frekuensi harmoni sudah pasti *overtone*, tapi *overtone* belum tentu harmoni. *Overtone* adalah frekuensi-frekuensi yang lebih tinggi dari frekuensi dasar yang belum tentu berkelipatan bulat, jadi segala frekuensi di atas bilangan bulat adalah *overtone*. Namun, frekuensi harmoni adalah frekuensi-frekuensi yang bernilai di atas frekuensi dasar yang berkelipatan bulat. Jadi, untuk menentukan nilai frekuensi dasar dari sebuah gelombang dapat digunakan konsep *overtone* dari frekuensi harmoni dari gelombang tersebut dengan cara membagi nilai dari frekuensi harmoni dengan bilangan bulat positif.



Gambar 2. 3 : Kiri : sinyal suara piano note E4, kanan : domain frekuensi dari sinyal suara piano note E4

Gambar 2.2 bagian kanan merupakan grafik domain frekuensi dari sinyal suara piano note E4, dimana terdapat magnitude pada frekuensi 330 Hz, 660 Hz, 990 Hz, 1320 Hz, 1620 Hz dan 1980 Hz. Nilai terkecil dari frekuensi-frekuensi tersebut adalah 330 Hz, dan frekuensi 660 Hz, 990 Hz, 1320 Hz, 1620 Hz dan 1980 Hz merupakan kelipatan dari frekuensi 330 Hz tersebut. Maka, dapat dikatakan bahwa frekuensi dasar dari sinyal suara piano note E4 adalah 330 Hz.

2.5. Cent

Cent merupakan Teknik pengukuran rasio antara dua frekuensi yang berdekatan. Metode pengukuran ini dikemukakan oleh Alexander J. Ellis pada tahun 1885. Cent sering digunakan pada bidang musik. Jika diketahui frekuensi a dan b dari dua buah nada, nilai cent (n) untuk mengukur dari a hingga b dapat dihitung dengan menggunakan formula 2.1.

$$n = 1200 \cdot \log_2\left(\frac{a}{b}\right) \dots \dots \dots (2.1)$$

Jika diketahui terdapat n buah cent dalam interval dari a ke b , maka b dapat dihitung menggunakan formula 2.2.

$$b = a \times 2^{n/1200} \dots \dots \dots (2.2)$$

2.6. Fast Fourier Transform

Pada tahun 1960, J. W. Cooley dan J. W. Tukey, pengajuan suatu teknik perhitungan algoritma Fourier Transform yang efisien yang sangat dikenal dengan sebutan Fast Fourier Transform atau lebih populer dengan istilah FFT. Istilah FFT diperkenalkan oleh J.S.Bendat dan A.G.Piersol pada 1982.

FFT dapat diterapkan dalam beragam bidang dari pengolahan sinyal digital dan memecahkan persamaan diferensial parsial menjadi algoritma-algoritma untuk penggandaan bilangan bulat dalam jumlah banyak. Terdapat dua kelas dasar dari algoritma FFT yaitu decimation in time (DIT) dan decimation in frequency (DIF). Satu bentuk transformasi yang umum digunakan untuk merubah sinyal dari domain waktu ke domain frekuensi adalah Transformasi Fourier. Persamaan 2.3 dapat digunakan untuk mentransformasi suatu sinyal dari domain waktu ke domain frekuensi.

$$X(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-j\omega t} dt \dots \dots \dots (2.3)$$

2.7. FFT Window

Pada perhitungan FFT diasumsikan bahwa sebuah sinyal bersifat periodik yang terus berulang dan sama di setiap waktu, namun jika FFT dari sinyal non periodik dihitung, maka hasil dari spektrum frekuensi terjadi kebocoran (ANO14, 2008). Kebocoran ini dapat mempersulit untuk mengidentifikasi konten frekuensi dari sinyal yang diberikan. Untuk mengatasi kebocoran ini, maka digunakan teknik window.

Fungsi window adalah fungsi yang memaksa sinyal non periodic berubah menjadi sinyal periodik. Terdapat Sembilan Fungsi window, antara lain Barlett, Blackman, Flat Top, Hanning, Hamming, KaiserBessel, None (boxcar), Tukey, dan Welch (ANO14, 2008). Pada tabel 2.1 ditunjukkan perbandingan antar fungsi window.

Menurut tabel 2.1, dapat disimpulkan bahwa fungsi *window* Blackman merupakan fungsi window terbaik untuk mengatasi kebocoran spektrum.

Tabel 2. 1 : Perbandingan Jenis Fungsi Window

Window	Terbaik untuk tipe sinyal	Resolusi frekuensi	Performa mengatasi Kebocoran Spektrum	Akurasi Amplitudo
Barlet	Random	Bagus	Sedang	Sedang
Blackman	Random atau mixed	Buruk	Terbaik	Bagus
Flat Top	Sinus	Buruk	Bagus	Terbaik
Hanning	Random	Bagus	Bagus	Sedang
Hamming	Random	Bagus	Sedang	Sedang
Kaiser-Bessel	Random	Sedang	Bagus	Bagus
None (boxcar)	Transient & Synchronous Sampling	Terbaik	Buruk	Buruk
Tukey	Random	Bagus	Buruk	Buruk
Welch	Random	Bagus	Bagus	Sedang

2.8. Moving Average Filter

Moving Average Filter (MA) adalah salah satu jenis filter yang bersifat sederhana dan berfungsi untuk menapis derau acak yang terdapat pada sinyal asli. Moving Average filter (MA) bekerja dengan cara meratakan sejumlah titik tertentu dari isyarat input untuk menghasilkan tiap titik dari isyarat output. MA dirumuskan dengan

$$y(i) = \frac{1}{M} \sum_{j=0}^{M-1} x(i+j) \dots \dots \dots (2.4)$$

Misalkan $x(t)$ menunjukkan input sedangkan $y(t)$ menunjukkan output sedangkan M merupakan panjang dari MA. Lalu kita buat dua versi dari pengoperasian MA, yakni:

- a. One Side Averaging (mererata pada satu sisi)

Contoh untuk one side averaging untuk $M=5$ dapat dilihat pada operasi di bawah ini:

$$y(3) = \frac{x(3) + x(4) + x(5) + x(6) + x(7)}{5}$$

Sehingga pejumlahan dimulai dari $j=0$ sampai dengan $M-1$

- b. Symmetrical averaging (mererata secara simetris)

Contoh untuk symmetrical averaging untuk $M=5$ dapat dilihat pada operasi di bawah ini:

$$y(3) = \frac{x(1) + x(2) + x(3) + x(4) + x(5)}{5}$$

Pada bagian ini, rentang penjumlahan berubah menjadi $-\frac{(M-1)}{2}$ sampai $\frac{(M-1)}{2}$.

Contoh perhitungan lengkap One Side Averaging dapat dilihat di bawah ini :

Diberikan data dengan anggota : 2, 4, 3, 8, 9. Dan akan dilakukan proses pemfilteran dengan One Side Averaging dengan nilai $M=3$. Maka perhitungannya menjadi :

$$x() = [2,4,3,8,9]$$

$$y(1) = \frac{x(1)+x(2)+x(3)}{3} = \frac{2+4+3}{3} = 3$$

$$y(2) = \frac{x(2)+x(3)+x(4)}{3} = \frac{4+3+8}{3} = 5$$

$$y(3) = \frac{x(3)+x(4)+x(5)}{3} = \frac{3+8+9}{3} = 2.7$$

$$y() = [3,5,2.7,8,9]$$

Jadi, hasil dari pemfilteran dengan menggunakan One Side Averaging dengan nilai $M=3$ adalah 3,5,2.7,8,9.

Jika diperhatikan bahwasanya MA ini merupakan konvolusi antara isyarat input dengan sebuah kernel filter berbentuk pulsa kotak dengan amplitudo satu. Sementara pengali skalar $1/M$ dikeluarkan saja karena hanya sebuah skalar.

Contoh penerapan Moving Average Filter dengan menggunakan MatLab dapat dilihat pada gambar 2.4.

```
clear all;
close all;
clc;

%% isyarat masukan
% isyarat kotak
M=503;
data=[zeros(1,1000),4*ones(1,3000),zeros(1,1000)];

% isyarat sinusoid
% t=0:1/1000:2*pi;
% data=sin(t);

% derau random additive dan output
derau= 2*rand(1,length(data))-1;
y=data+derau;

plot(y,'k');
xlabel('Samples');
ylabel('Amplitude');
title('Isyara Input (asli+derau acak)');

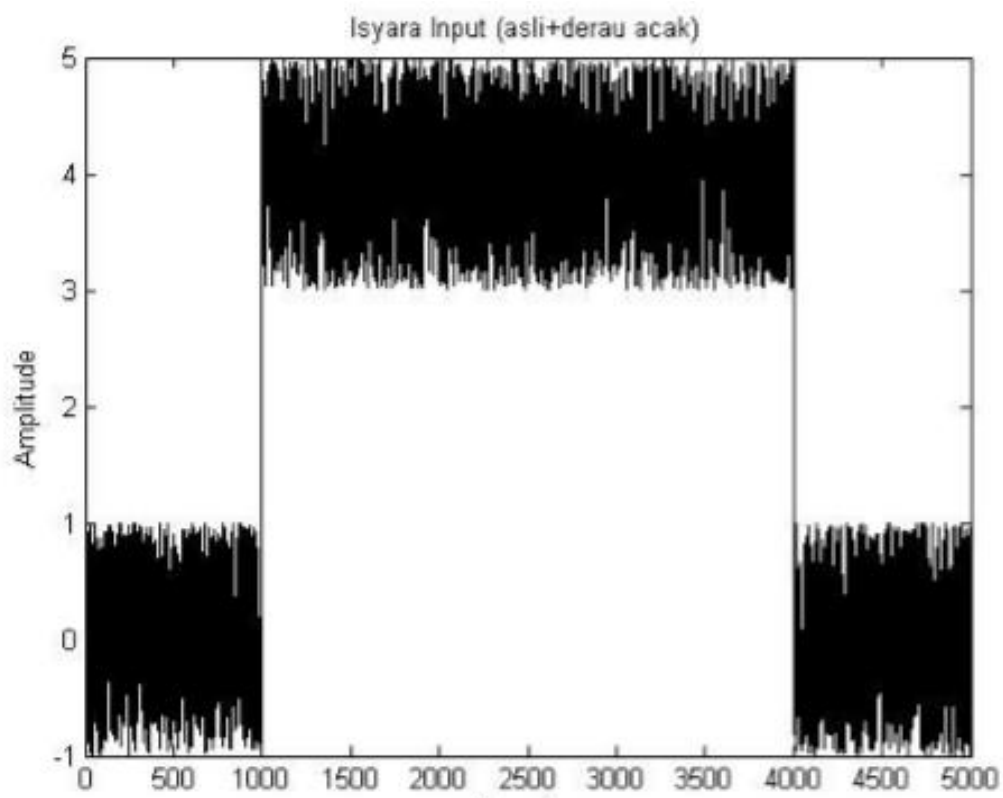
figure,
buff=zeros(1,length(data));
for i=(M-1)/2+1:length(data)-(M-1)/2
    buff(i)=0;
    for k=-(M-1)/2:(M-1)/2
        buff(i)=buff(i)+y(i+k);
    end
    buff(i)=buff(i)/M;
end
plot(buff,'k');
xlabel('Samples');
ylabel('Amplitude');
title(['Output filter untuk M = ',num2str(M)]);
```

Gambar 2. 4 : Sintaks penerapan Moving Average Filter dengan Matlab

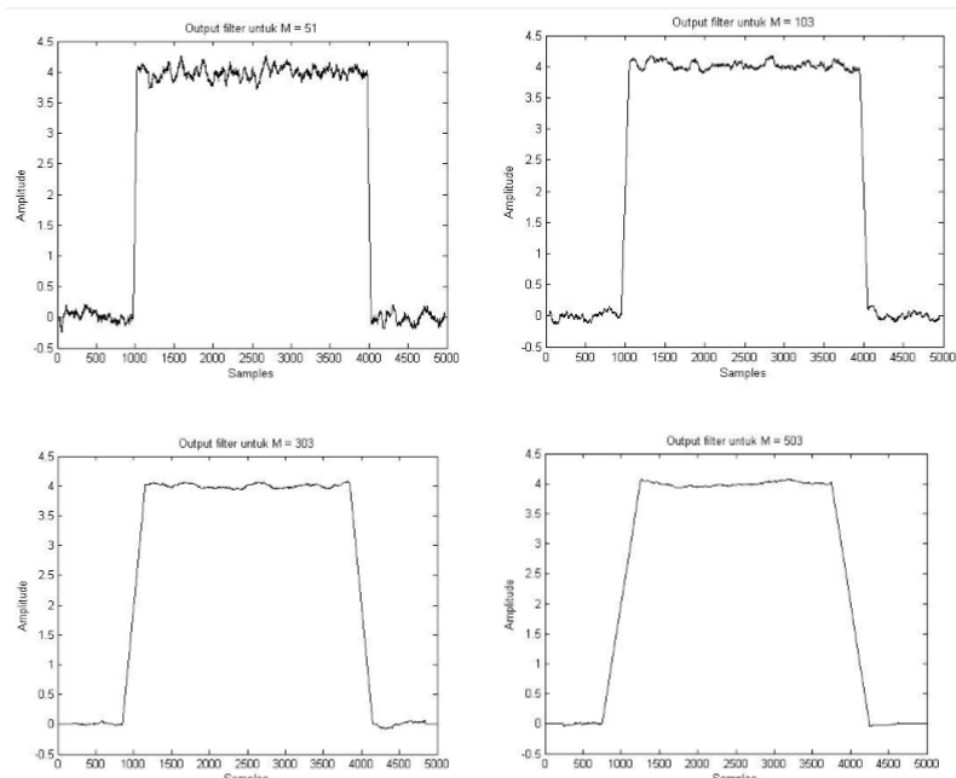
Moving Average Filter bagus untuk menapis derau acak yang hadir pada isyarat input. Memang masih banyak jenis filter lain yang bisa digunakan untuk tujuan yang sama, tapi bila ditinjau dari kesederhanaan maka pilihan terjatuh pada

MAF. Filter MA dikatakan cocok untuk derau acak karena ketika sebuah isyarat dikenai atau mengandung derau acak maka setiap titik pada isyarat menjadi derau bila dibandingkan dengan titik-titik tetangganya. Oleh karena itu kita perlu menggunakan filter yang bisa mengolah titik bukan hanya per-titik saja melainkan bersama-sama dengan tetangganya. Sehingga semua titik akan diperlakukan sama oleh filter tersebut.

Contoh hasil plot dari sinyal yang memiliki derau acak (*noise*) dapat dilihat pada gambar 2.5 dan contoh hasil dari Moving Average Filter dengan nilai M yang berbeda-beda dapat dilihat pada gambar 2.6.



Gambar 2. 5 : Plot Sinyal dengan Derau Acak



Gambar 2. 6 : Plot Sinyal Hasil Moving Average Filter dengan Nilai M yang Berbeda-beda

2.9. Transformasi Hilbert

Menurut Ronald pada tahun 2004, Transformasi Hilbert merupakan Teknik yang memiliki kegunaan untuk:

- Mencari bungkus (envelope) dari sebuah sinyal.
- Mencari fase sesaat dari sebuah sinyal.
- Mencari frekuensi sesaat dari sebuah sinyal.
- Menyembunyikan salah satu sideband untuk membuat modulasi sideband tunggal (SSB) sebuah sinyal.

Terdapat dua jenis Transformasi Hilbert, antara lain transformasi analog dan diskrit. Transformasi Hilbert analog dari suatu sinyal $x(t)$ didefinisikan dengan persamaan 2.5

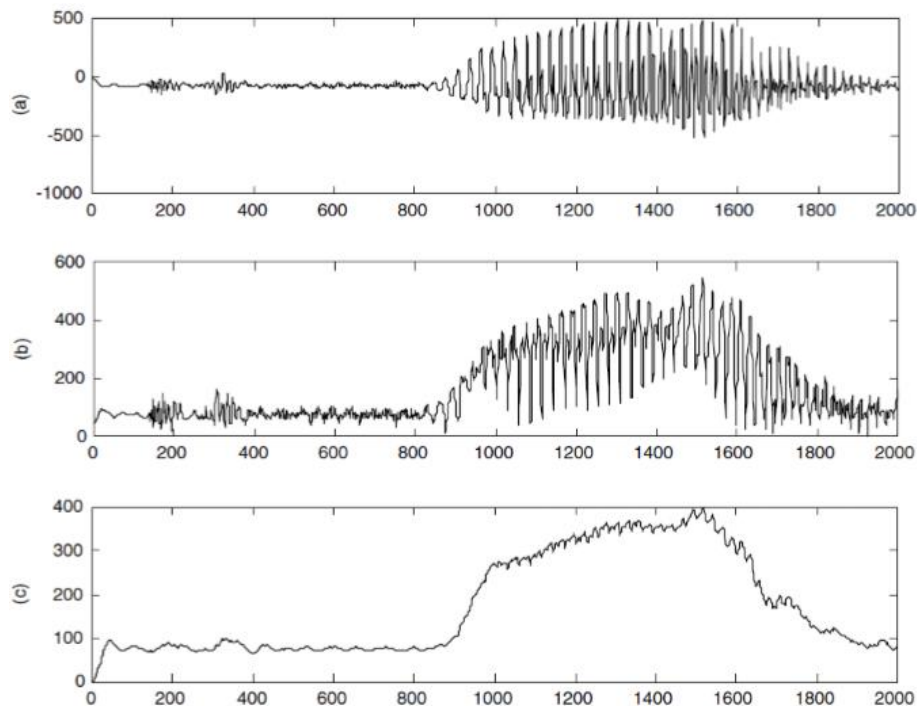
$$F_1(x) = -\frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{f(x')}{x-x'} dx' \dots\dots\dots (2.5)$$

2.10. Sinyal Analitik

Sinyal analitik adalah sinyal yang sama sekali tidak memiliki komponen frekuensi bernilai negatif. Untuk mendapatkan sinyal analitik diperlukan sebuah

sinyal analog $x(t)$ dan hasil transformasi Hilbert $X_H(t)$, maka asosiasi sinyal analisis adalah:

$$X_A(t) = x(t) + X_H(t) \dots \dots \dots (2.6)$$



Gambar 2. 7 : a) Sebuah sinyal analog b) Sinyal pembungkus dari sinyal analog a, c) Sinyal pembungkus yang telah mendapatkan filter

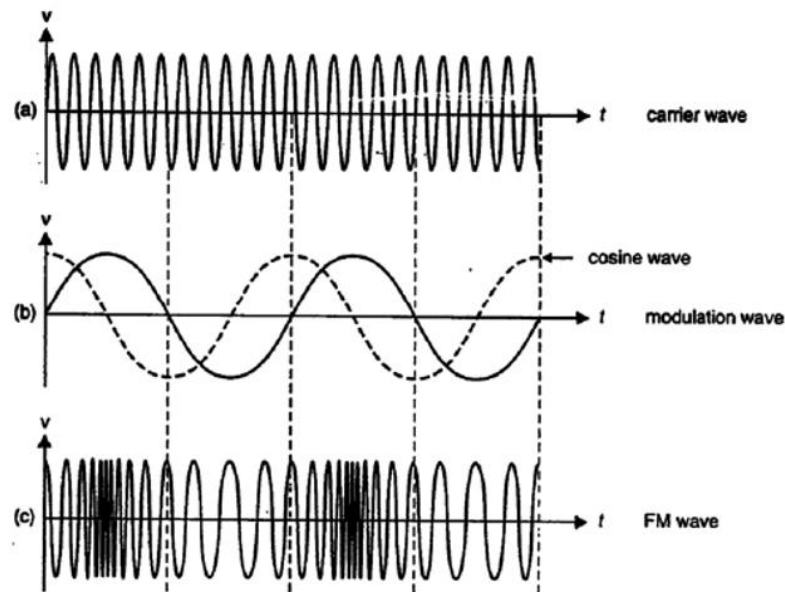
2.11. Sound Forge

Sound Forge adalah salah satu produk *software* unggulan dari Steinberg Corp. Produk ini digunakan untuk melakukan pengolahan sinyal suara seperti merekam suara, memotong suara, mengkonversi format suara, melakukan analisis terhadap suatu suara, dan sebagainya. Aplikasi Sound Forge menyediakan fitur proses windowing dan FFT untuk mengubah sinyal suara dari domain waktu ke domain frekuensi.

2.12. Frequency Modulation (FM)

Metode sintesis Frequency Modulation atau yang lebih dikenal dengan FM merupakan salah satu metode sintesis suara yang termasuk ke dalam golongan direct synthesis karena FM menggunakan perhitungan matematika murni dalam melakukan sintesis suara. Metode FM pertama kali dikenalkan oleh Dr. John M.

Chowning dan dipatenkan sendiri oleh Chowning pada tahun 1975 kemudian dipatenkan penggunaannya oleh Yamaha pada produk DX7 di tahun 1980. Sampai saat ini Yamaha masih menggunakan Teknik sintesis suara FM pada produk-produknya.



Gambar 2. 8 : a) sinyal carrier b) sinyal pemodulasi c) sinyal termodulasi dengan FM

Cara kerja dari metode sintesis FM secara prinsip menyerupai dengan cara kerja dari radio FM, yaitu menggunakan sebuah gelombang sinyal cosinus atau sinus yang disebut dengan sinyal pembawa (carrier). Gambar 6-3 menunjukkan contoh sinyal pembawa, sinyal pemodulasi, dan sinyal termodulasi dengan metode FM.

Persamaan untuk sintesis sebuah gelombang dengan FM dengan puncak amplitudo A dimana sinyal pembawa dan pemodulasi adalah gelombang sinus dapat dilihat pada persamaan 2.7.

$$e = A \sin(\alpha t + I \sin(\beta t)) \dots \dots \dots (2.7)$$

dimana pada persamaan tersebut dinyatakan :

e : amplitudo sementara dari sinyal pemawa yang telah mengalami proses modulasi

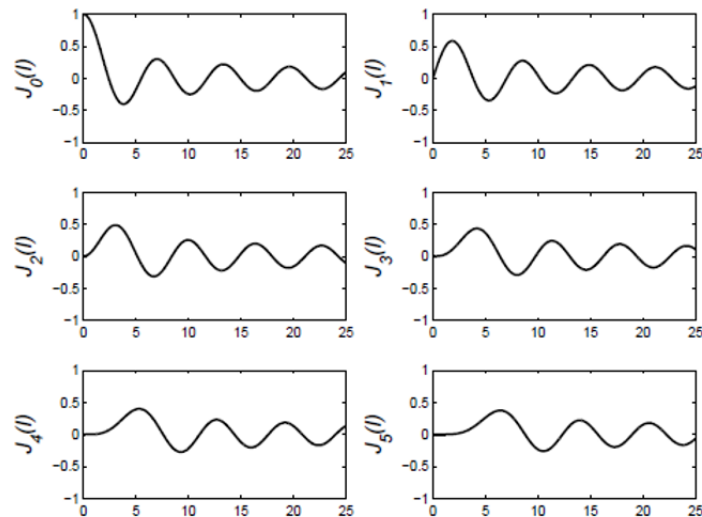
α : frekuensi sinyal pembawa dalam rad/s dimana $\alpha = 2\pi f_c$

β : frekuensi sinyal pemodulasi dalam rad/s dimana $\alpha = 2\pi f_m$

f_c : frekuensi sinyal pembawa

f_m : frekuensi sinyal pemodulasi

I : indeks pemodulasi, rasio dari deviasi puncak dan frekuensi modulasi



Gambar 2. 9 : Grafik hasil fungsi Bessel untuk nilai $n=0$ sampai $n=5$

Amplitudo dari sinyal pembawa (carrier) dan komponen sideband ditentukan oleh fungsi Bessel jenis pertama dan n urutan, $J_n(I)$, yang disebut dengan indeks pemodulasi. Pada Gambar 2.4 menunjukkan grafik fungsi Bessel untuk nilai $n=0$ sampai $n=5$. Dari gambar tersebut terlihat bahwa jika nilai I kecil maka tidak memberikan amplitudo yang signifikan. Jika nilai I lebih besar maka akan memproduksi urutan sideband yang lebih besar. Jadi dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi urutan frekuensi sisi maka akan dibutuhkan pula indeks yang lebih besar untuk frekuensi sisi untuk mendapatkan amplitudo yang signifikan.

Untuk menentukan frekuensi dasar dari suara pada metode sintesis FM, maka sangat diperlukan representasi rasio frekuensi pembawa (f_c) dan frekuensi modulator (f_m). Rasio tersebut dapat dilihat pada persamaan berikut :

$$\frac{f_c}{f_m} = \frac{N_1}{N_2} \dots \dots \dots (2.8)$$

Pada persamaan 2.8 terdapat N_1 dan N_2 yang memiliki nilai bilangan bulat. Dari persamaan 2.8 tersebut, frekuensi dasar (f_0) dari suara hasil sintesis dengan metode FM adalah:

$$f_0 = \frac{f_c}{N_1} = \frac{f_n}{N_2} \dots \dots \dots (2.9)$$

Untuk menjadikan frekuensi dari sinyal pembawa (f_c) sebagai frekuensi dasar dari suara sintesis, maka nilai dari frekuensi modulator (f_m) harus lebih besar atau dua kali nilai dari frekuensi sinyal pembawa (f_c). Kondisi ini adalah bentuk normal rasio. Jika hanya mempertimbangkan rasio yang melibatkan bilangan bulat hingga 9, dapat ditentukan seluruh rasio dalam Bentuk Normal: 1:1 1:2 4:9 3:7 2:5 3:8 1:3 2:7 1:4 2:9 1:5 1:6 1:7 1:8 1:9. Jika rasio frekuensi sinyal pembawa dan pemodulator adalah C:M, maka jika besarnya M kurang dari dua kali nilai C, maka rasio tersebut tidak berada dalam bentuk normal. Oleh karena itu, perlu diubah kedalam bentuk normal dengan operasi:

$$C = |C-M|$$

2.13. Double Frequency Modulation (DFM)

DFM merupakan metode perbaikan pada metode FM. Pada metode DFM jumlah sinyal pemodulasi yang digunakan berjumlah dua buah, hal ini akan menghasilkan suara sintesis yang lebih baik dari metode FM (Albert 2005). Seperti yang telah diketahui formula FM pada persamaan 2.7 dengan modulasi gelombang sinus, dengan memodifikasi persamaan tersebut yaitu dengan menambahkan satu lagi sinyal pemodulasi, maka persamaan sintesis suara dengan menggunakan metoda DFM dapat dilihat pada persamaan 2.10

$$x(t) = A \sin(2\pi f_c t + I_1 \sin(2\pi f_{m1} t) + I_2 \sin(2\pi f_{m2} t)) \dots \dots \dots (2.10)$$

dimana pada persamaan 2.10 ditentukan bahwa:

$x(t)$: sinyal telah temodulasi dengan DFM

f_c : frekuensi sinyal pembawa

f_{m1} : frekuensi sinyal pemodulasi pertama

f_{m2} : frekuensi sinyal pemodulasi kedua

I_1 : indeks pemodulasi pertama

I_2 : indeks pemodulasi kedua

2.14. DFM Harmonik

Dengan menganalisis output dari persamaan 2.10, maka frekuensi dari DFM Harmonik tergantung pada nilai relatif dari f_{m1} dan f_{m2} saat f_{m2} lebih besar dari f_{m1} dan $f_{m1}/f_{m2} = N_1/N_2$. Berikut merupakan urutan untuk menentukan frekuensi dari DFM Harmonik.

- a. N_1 ganjil dan N_2 ganjil

Jika nilai dari N_1 dan N_2 ganjil, maka frekuensi harmonik yang dihasilkan dapat dihitung dengan persamaan:

$$f = f_1 \pm n \frac{2f_1}{N_1} \dots\dots\dots(2.11)$$

Dimana nilai $n=0,1,2,3,4,\dots\dots$

- b. N_1 genap dan N_2 ganjil

Jika nilai dari N_1 genap dan N_2 ganjil, maka frekuensi harmonik yang dihasilkan dapat dihitung dengan persamaan:

$$f = f_1 \pm \frac{nf_1}{N_1} \dots\dots\dots(2.12)$$

Dimana nilai $n=0,1,2,3,4,\dots\dots$

- c. N_1 ganjil dan N_2 genap

Jika nilai dari N_1 ganjil dan N_2 genap, maka frekuensi harmonik yang dihasilkan dapat dihitung dengan persamaan:

$$f = f_1 \pm \frac{nf_1}{N_1} \dots\dots\dots(2.13)$$

Dimana nilai $n=0,1,2,3,4,\dots\dots$

- d. f_1 atau f_2 bernilai nol

Jika salah satu atau kedua frekuensi bernilai nol, misalkan f_2 bernilai nol, maka frekuensi harmonik dapat dihitung dengan persamaan:

$$f = f \pm nf \dots\dots\dots(2.14)$$

Dimana nilai $n=0,1,2,3,4,\dots\dots$

2.15. Diagram UML

Diagram UML (*Unified Modelling Language*) adalah suatu metode pemodelan secara visual untuk sarana perancangan sistem berorientasi objek. Dalam kata lain, diagram UML adalah suatu bahasa standar pada visualisasi, perancangan dan pendokumentasian sistem operasi.

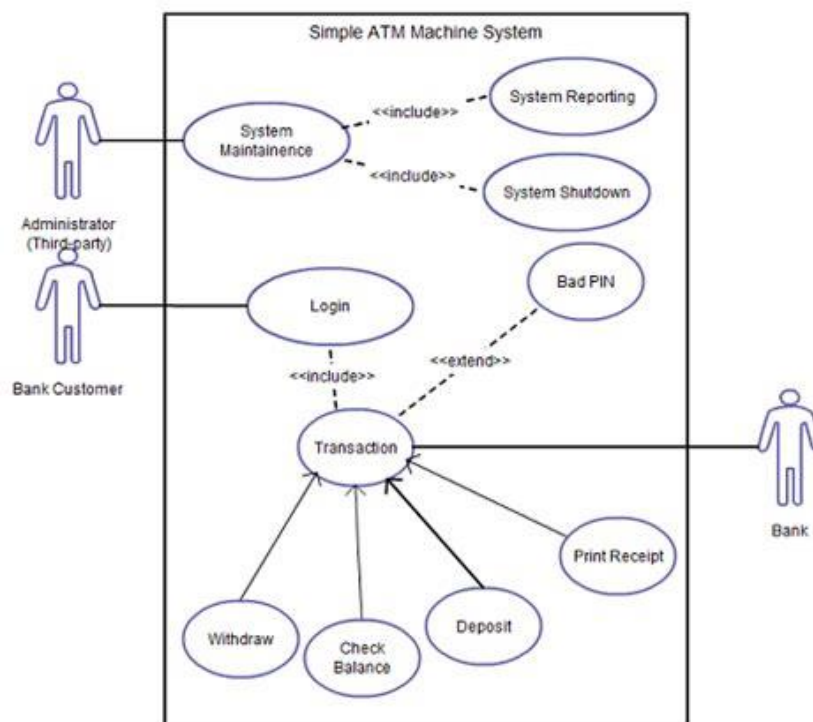
Tujuan atau fungsi dari digunakannya diagram UML dalam pengembangan sistem antara lain :

- 1) Dapat memodelkan sistem yang berkonsep berorientasi objek
- 2) Dapat berguna sebagai *blueprint* karena sangat lengkap dan detail dalam perancangannya yang nantinya akan diketahui informasi yang detail mengenai kode suatu program
- 3) Dapat menciptakan suatu bahasa pemodelan yang nantinya dapat digunakan oleh manusia atau mesin

Diagram UML memiliki tigabelas jenis, dua diantaranya adalah diagram *Use Case* dan diagram *activity*.

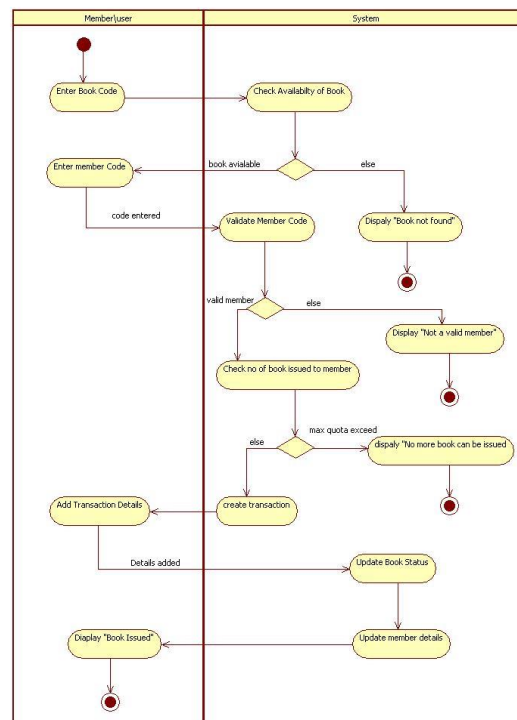
2.15.1. Use Case Diagram

Use case diagram adalah salah satu jenis diagram UML yang menggambarkan interaksi antara sistem dan aktor. Selain itu, *Use case diagram* juga dapat mendeskripsikan tipe interaksi antara *user* dengan sistem. Contoh *use case diagram* dapat dilihat pada gambar 2.8.



Gambar 2. 10 : Contoh Use Case Diagram Sistem ATM

2.15.2. Activity Diagram



Gambar 2. 11 : Contoh *activity diagram* sistem perpustakaan

Activity diagram merupakan salah satu jenis diagram UML yang dapat menggambarkan semua proses yang terjadi pada sistem. Contoh dari *activity diagram* dapat dilihat dalam gambar 2.9.

2.16. Metode Pengujian *Blackbox*

Metode pengujian *blackbox* adalah pengujian perangkat lunak yang dilakukan hanya dengan mengamati *output* melalui data uji dan memeriksa fungsionalitas dari perangkat lunak yang diuji. Metode pengujian *blackbox* dapat diterapkan pada seluruh tingkat pengujian perangkat lunak : unit, fungsionalitas, integrasi, sistem dan penerimaan. Adapun pengujian pada metode pengujian *blackbox* berusaha menemukan kesalahan seperti :

- 1) Fungsi-fungsi yang tidak benar atau hilang
- 2) Kesalahan *interface*
- 3) Kesalahan dalam struktur data atau akses database eksternal
- 4) Kesalahan kerja
- 5) Inisialisasi dan kesalahan terminasi

Metode pengujian *blackbox* memiliki kelebihan antara lain :

- 1) Spesifikasi program dapat ditentukan sejak awal
- 2) Dapat digunakan untuk menilai konsistensi program
- 3) *Testing* dilakukan berdasarkan spesifikasi
- 4) Tidak perlu melihat kode program secara detail

Selain kelebihan, metode pengujian *blackbox* pun memiliki kekurangan. Kekurangan dari metode pengujian *blackbox* adalah jika spesifikasi program yang dibangun kurang jelas dan ringkas, maka akan sulit membuat dokumentasi setepat mungkin.

BAB III

ANALISIS DAN PERANCANGAN SISTEM

Bagian analisis dan perancangan sistem ini menjelaskan langkah-langkah yang dilalui dalam melakukan sintesis suara gamelan gender menggunakan metode Double Frequency Modulation (DFM). Sub bahasan yang akan dijelaskan adalah mengenai analisis kebutuhan, perancangan aplikasi, pembuatan aplikasi, evaluasi aplikasi dan tempat dan waktu pelaksanaan

3.1. Analisis Kebutuhan

Bagian ini akan menjelaskan tentang analisis kebutuhan dalam pembangunan aplikasi sintesis suara gamelan gender. Adapun analisis kebutuhan yang dilakukan adalah analisis kebutuhan fungsional dan non fungsional.

3.1.1. Kebutuhan Fungsional

Berikut merupakan kebutuhan fungsional dari aplikasi sintesis suara gamelan gender yang akan dibangun :

- a. User dapat menginputkan suara gamelan gender suatu bilah dengan berekstensikan .wav
- b. User dapat mengetahui kriteria keselarasan suara yang telah diinputkan dengan suara pada dataset

3.1.2. Kebutuhan Non Fungsional

Berikut merupakan kebutuhan non fungsional dari aplikasi sintesis suara gamelan gender yang akan dibangun :

- a. Aplikasi sintesis suara gamelan gender dibuat dengan menggunakan Bahasa pemrograman MatLab versi 2015
- b. Data suara rekaman gender wayang kantilan yang digunakan berekstensi .wav.

3.2. Perancangan Aplikasi

Pada bagian ini akan dijabarkan desain aplikasi sintesis suara gamelan gender yang meliputi data penelitian, diagram UML, tahapan analisis suara, dan rancangan antar muka aplikasi.

3.2.1. Data Penelitian

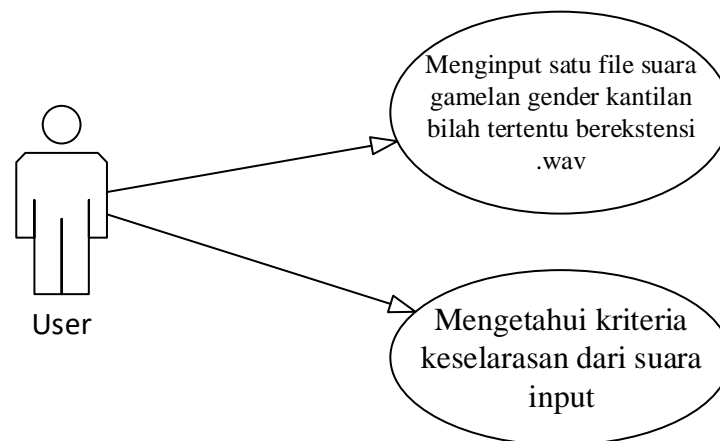
Bagian ini akan membahas mengenai data yang digunakan pada penelitian ini. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data primer yang berupa file rekaman dari suara gamelan gender dengan tipe file berekstensi .wav. Data yang digunakan diambil dari delapan buah gender di Pande Gong Sidha Karya yang terletak di desa Blahbatuh, Kabupaten Gianyar. Suara gamelan gender diambil dengan cara melakukan perekaman suara secara langsung menggunakan *voice recorder* Sony ICD-PX333 dengan hasil rekam berupa file stereo befrekuensi sample 44100 Hz dan berekstensi .wav. Proses perekaman dilakukan per bilah pada gender. Jumlah suara gamelan gender yang akan direkam berjumlah 80 buah file yang terdiri dari 4 set suara rekaman gender kantilan pengumbang dan 4 set suara rekaman gender kantilan pengisep. Satu set berisi 10 buah rekaman mengikuti jumlah bilah pada gender. Delapan puluh rekaman gamelan gender ini digunakan untuk mengetahui rentang frekuensi dari suara setiap bilah mengingat pembuatan gamelan masih menggunakan cara tradisional

3.2.2. Diagram UML

Bagian ini akan memaparkan mengenai diagram-diagram UML yang dibangun sebagai rancangan aplikasi sintesis suara gamelan gender. Adapun diagram-diagram UML yang dibangun antara lain Use Case Diagram dan Activity Diagram.

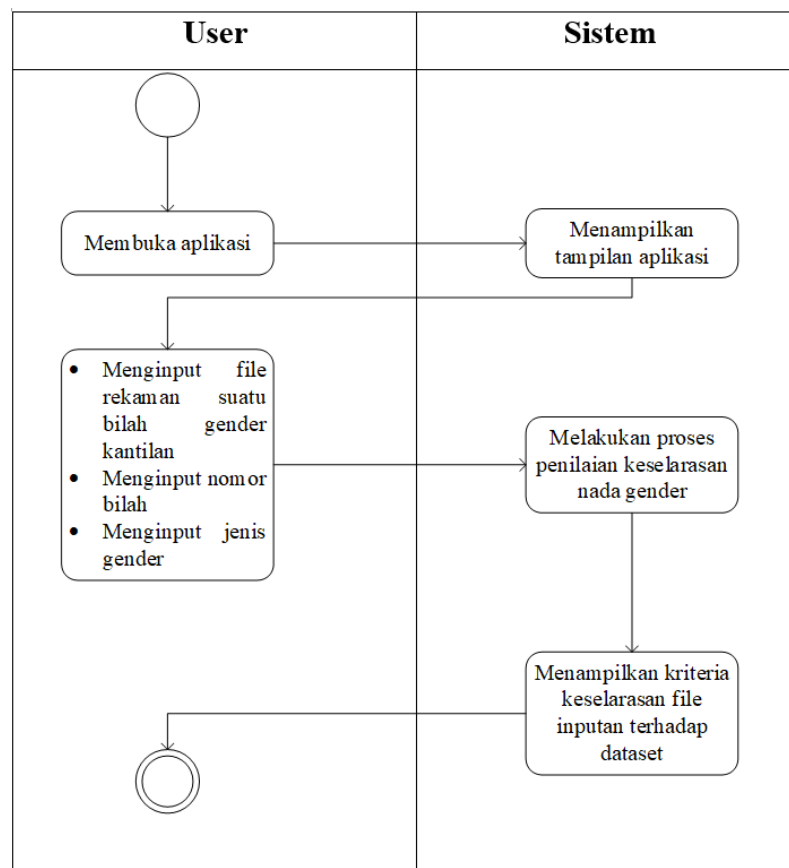
a. Use Case Diagram

Gambar 3.1 merupakan use case diagram dari aplikasi yang akan dibangun. Pada gambar 3.1, terlihat bahwa user dapat melakukan dua aksi, yaitu menginputkan suara rekaman gender suatu bilah dengan berekstensikan .wav ke dalam aplikasi. Kemudian aksi kedua yaitu user dapat mengetahui kriteria keselarasan dari suara input tersebut dengan dataset pada aplikasi. Proses penilaian kemiripan suara tersebut akan dijelaskan pada bagian tahap analisis suara.



Gambar 3. 1 : Use Case Diagram Aplikasi Sintesis Suara Gender

b. Activity Diagram



Gambar 3. 2 : Activity Diagram Sintesis Suara Gender

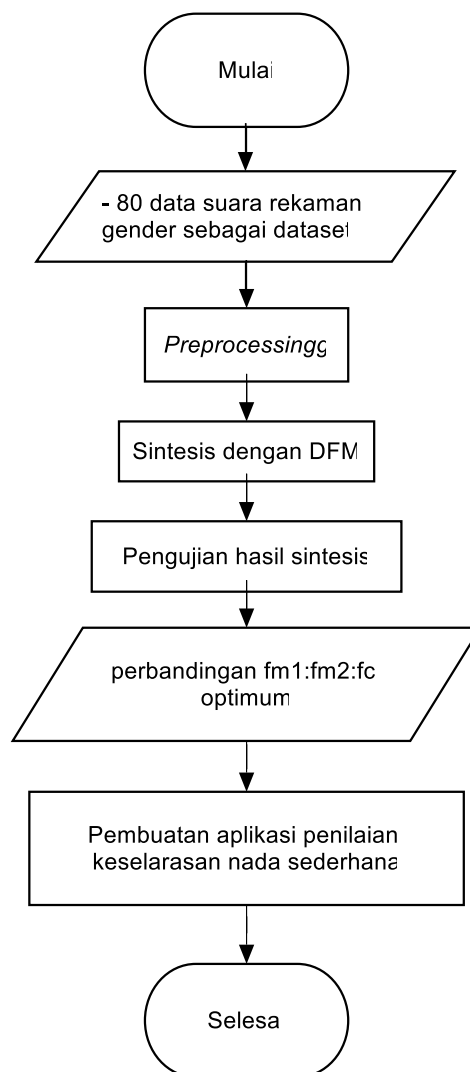
Gambar 3.2 merupakan activity diagram dari aplikasi yang akan dibangun.

Pada gambar 3.2, dijelaskan aktivitas dari user dan aplikasi. Pertama-tama user akan membuka aplikasi sintesis suara gender, lalu aplikasi akan menampilkan menu sintesis. Tahap berikutnya user akan menginputkan file audio berekstensi .wav

berupa rekaman bunyi suatu bilah gender dan nomor bilah gender tersebut. Kemudian sistem akan melakukan proses penilaian keselarasan suara input dengan suara dataset pada aplikasi. Pada akhir proses, sistem akan menampilkan kriteria keselarasan suara input dengan suara dataset.

3.2.3. Tahap Analisis Suara

Bagian ini akan membahas mengenai tahapan yang akan dilalui dalam penelitian ini setelah mendapatkan data penelitian. Adapun tahapan-tahapan tersebut dapat dilihat pada gambar 3.3.



Gambar 3.3 : Flowchart Tahapan Penelitian

Pada gambar 3.3, terlihat bahwa tahapan-tahapan yang dilalui dalam penelitian ini ada empat. Pertama akan diinputkan 80 dataset suara gamelan gender yang akan melalui tahap *preprocessing* terlebih dahulu. Tahap *preprocessing* terdiri dari tiga subproses, yaitu pencarian frekuensi dasar (*fundamental frequency*) tiap dataset, pencarian bungkus sinyal (*envelope*) dan penghalusan bungkus sinyal. Setelah melalui tahap *preprocessing*, tahap selanjutnya yaitu tahap sintesis menggunakan DFM. Tahap sintesis akan menggunakan inputan berupa frekuensi dasar tiap dataset dan bungkus sinyal tiap dataset yang didapat dari tahap *preprocessing*, dan diinputkan juga perbandingan antara frekuensi pemodulasi pertama, frekuensi pemodulasi kedua dan frekuensi pembawa ($fm1:fm2:fc$). Setelah tahap sintesis selesai, tahap berikutnya yaitu tahap pengujian hasil sintesis. Pada tahap ini akan dicari suara hasil sintesis yang paling mendekati suara aslinya. Tahap ini akan menghasilkan perbandingan $fm1:fm2:fc$ yang paling optimum untuk melakukan sintesis suara gender. Tahap terakhir adalah tahap pembuatan aplikasi penilaian keselarasan nada sederhana. Tahap ini akan menggunakan perbandingan $fm1:fm2:fc$ yang optimum yang didapat dari tahap pengujian.

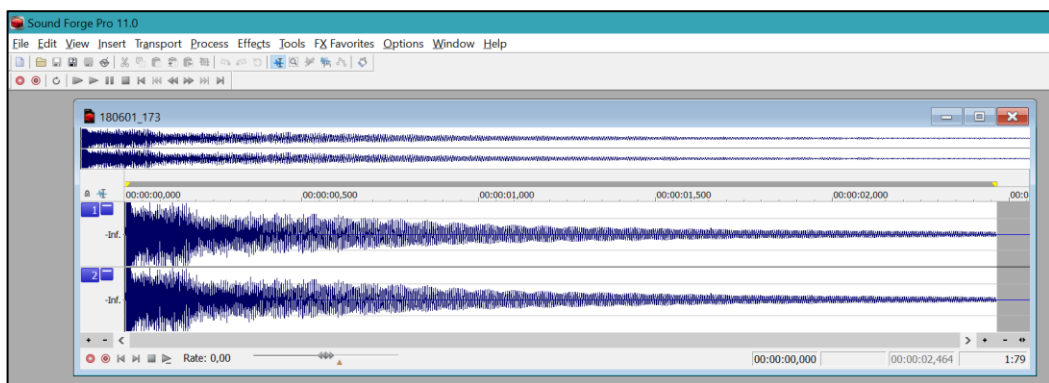
a) Tahap Preprocessing

Bagian ini akan membahas mengenai tahap *preprocessing* sebelum proses sintesis suara dilakukan. Adapun tahapan *preprocessing* pada proses sintesis suara gender adalah sebagai berikut.

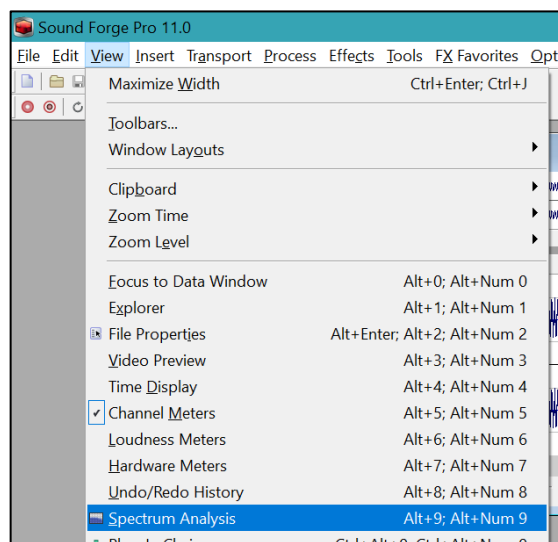
i. Pencarian Frekuensi Dasar Dataset

Proses pertama pada tahap *preprocessing* adalah pencarian frekuensi dasar pada setiap dataset yang telah didapat. Proses pencarian frekuensi dasar akan dilakukan dengan menggunakan aplikasi Sound Forge Pro. Langkah yang perlu dilakukan adalah membuka file suara rekaman bilah gender ke dalam aplikasi sound forge pro, kemudian akan ditampilkan file suara tersebut dalam domain frekuensi seperti pada gambar 3.4. Sebelum mendapatkan frekuensi dasar dari file tersebut, maka harus didapat terlebih dahulu frekuensi tertinggi (*peak*) dari file yang bersangkutan. Untuk mendapatkan frekuensi tertingginya, maka perlu dilakukan perubahan dari domain waktu ke domain frekuensi dengan transformasi Fourier. Untuk

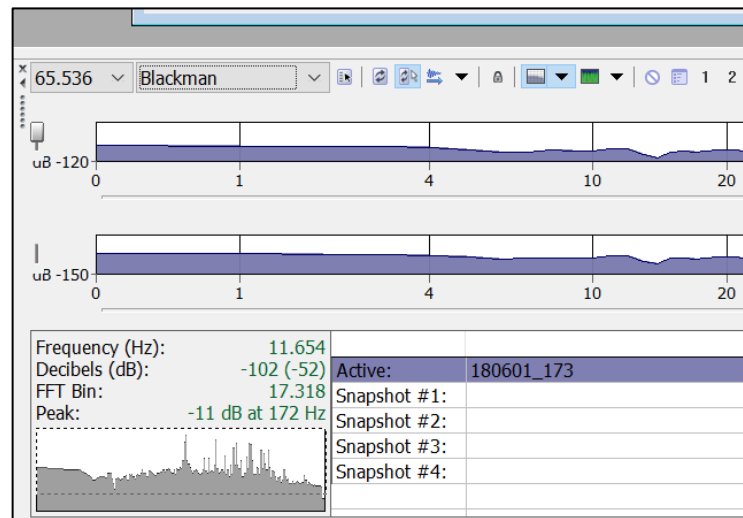
melakukannya, pilih menu *view* pada aplikasi, lalu pilih *spectrum analysis* seperti yang terlihat pada gambar 3.5. Kemudian pilih jenis FFT Windows *Blackman* sesuai pembahasan pada sub bab 2.7. Setelah itu akan ditampilkan domain frekuensi dari file suara yang diinputkan, beserta frekuensi tertinggi dari file suara tersebut yang dapat dilihat pada gambar 3.6. Langkah terakhir, yaitu menghitung frekuensi dasar berdasarkan frekuensi tertinggi yang telah didapat dengan menggunakan konsep overtone yang telah dijelaskan pada sub bab 2.4. Frekuensi dasar yang telah didapatkan akan digunakan dalam proses sintesis menggunakan metode DFM.



Gambar 3. 4 : Contoh tampilan aplikasi sound forge pro setelah menginput file suara



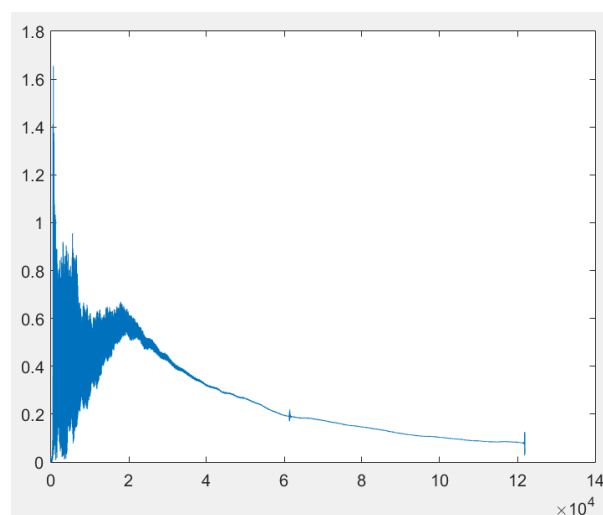
Gambar 3. 5 : Pemilihan menu spectrum analysis untuk melakukan transformasi fourier



Gambar 3. 6 : Hasil dari transformasi fourier beserta frekuensi tertinggi (peak) dari file suara

ii. Pencarian Bungkus Sinyal (*Envelope*)

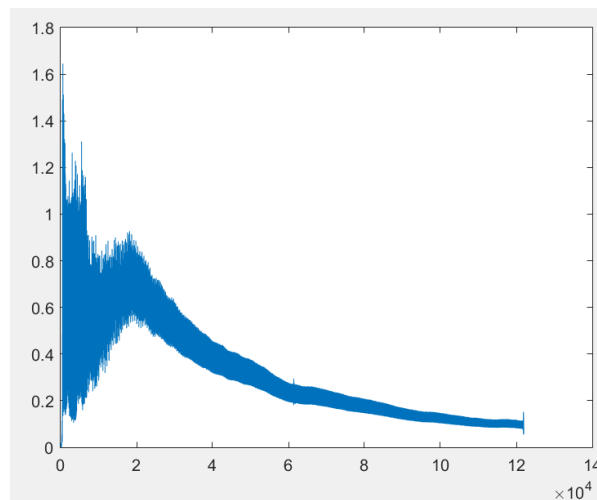
Setelah menemukan frekuensi dasar pada *dataset*, proses selanjutnya adalah pencarian bungkus sinyal pada *dataset*. Proses pencarian bungkus sinyal akan dilakukan dengan menggunakan transformasi Hilbert. Transformasi hilbert dilakukan dengan menggunakan fungsi matlab yaitu fungsi Hilbert. Sinyal *envelope* suatu file berukuran $m \times 1$ dengan m merupakan panjang dari file suara. Contoh sinyal *envelope* saat diplot dapat dilihat pada gambar 3.7.



Gambar 3. 7 : Sinyal envelope bilah kesembilan gangsa pengumbang sebelum dikenakan filter

iii. Penghalusan Bungkus Sinyal (*Envelope*)

Langkah terakhir pada proses *preprocessing* adalah penghalusan bungkus sinyal *dataset* yang telah didapat pada proses sebelumnya. Proses penghalusan bungkus sinyal akan dilakukan dengan menggunakan *Moving Average Filter*. Untuk menerapkan filter *Moving Average*, digunakan fungsi matlab yaitu fungsi *filter* dengan tiga parameter input, yaitu ukuran window, dan array sinyal yang akan dikenakan filter. Nilai dari ukuran window merupakan bilangan bulat positif. Contoh hasil dari proses penghalusan sinyal *envelope* dapat dilihat pada gambar 3.8.

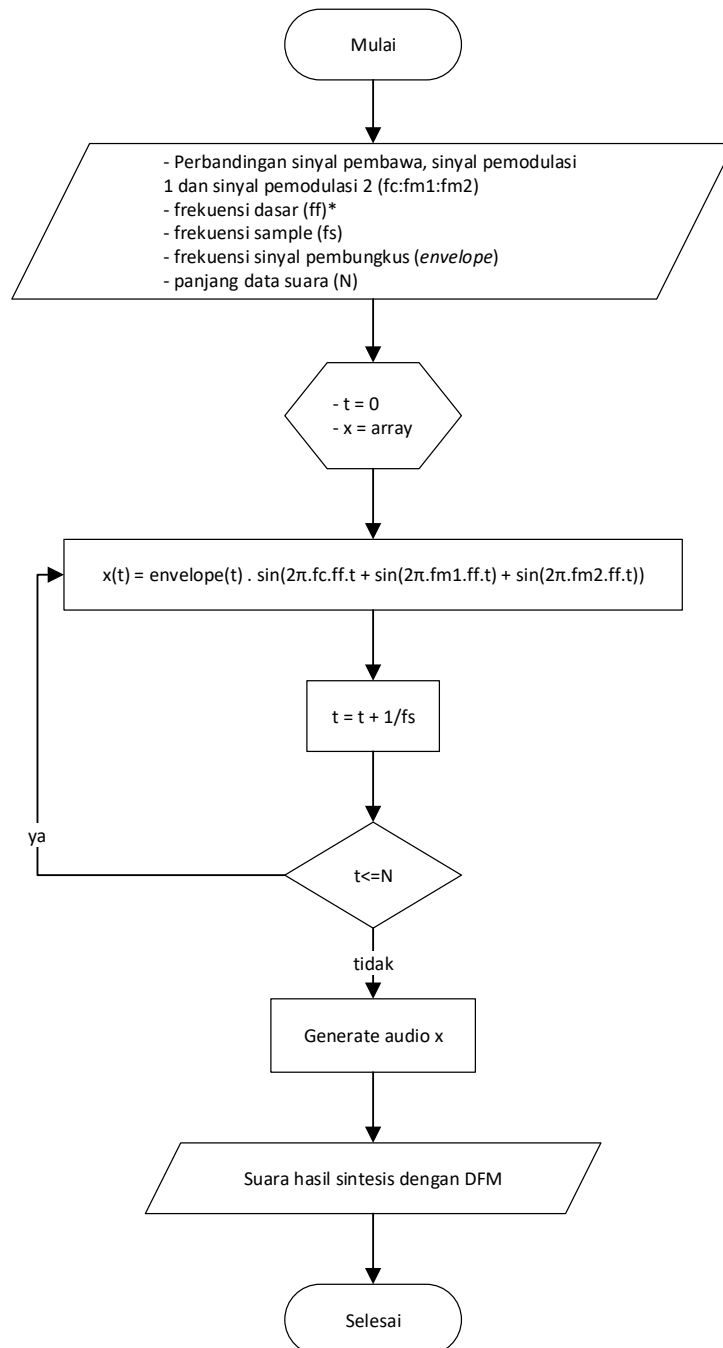


Gambar 3. 8 : Sinyal envelope bilah kesembilan gangsa pengumbang setelah dikenakan filter

b) Tahap Sintesis dengan DFM

Bagian ini akan membahas mengenai tahap sintesis suara gamelan gender dengan menggunakan metode DFM. Proses sintesis akan menggunakan *output* dari proses *preprocessing* berupa Frekuensi dasar (f_f) dan bungkus sinyal (*envelope*) sebagai input pada formula DFM. Selain itu, terdapat tiga variable bebas pada DFM, yaitu frekuensi pemodulasi pertama (f_{m1}), frekuensi pemodulasi kedua (f_{m2}) dan frekuensi sinyal pembawa (f_c). Perbandingan-perbandingan dari $f_{m1}:f_{m2}:f_c$ yang digunakan merupakan kombinasi dari bilangan bulat 1 sampai dengan 9 yang akan mencakup semua kemungkinan perbandingan. Proses sintesis akan dilakukan untuk setiap dataset dengan perbandingan $f_{m1}:f_{m2}:f_c$ yang berbeda-beda. Proses

sintesis dengan metode DFM terhadap satu data suara gamelan gender dengan satu kombinasi perbandingan $f_c:f_{m1}:f_{m2}$ dapat dilihat pada gambar 3.9.



Gambar 3. 9 : Flowchart Proses Sintesis dengan DFM

Keterangan :

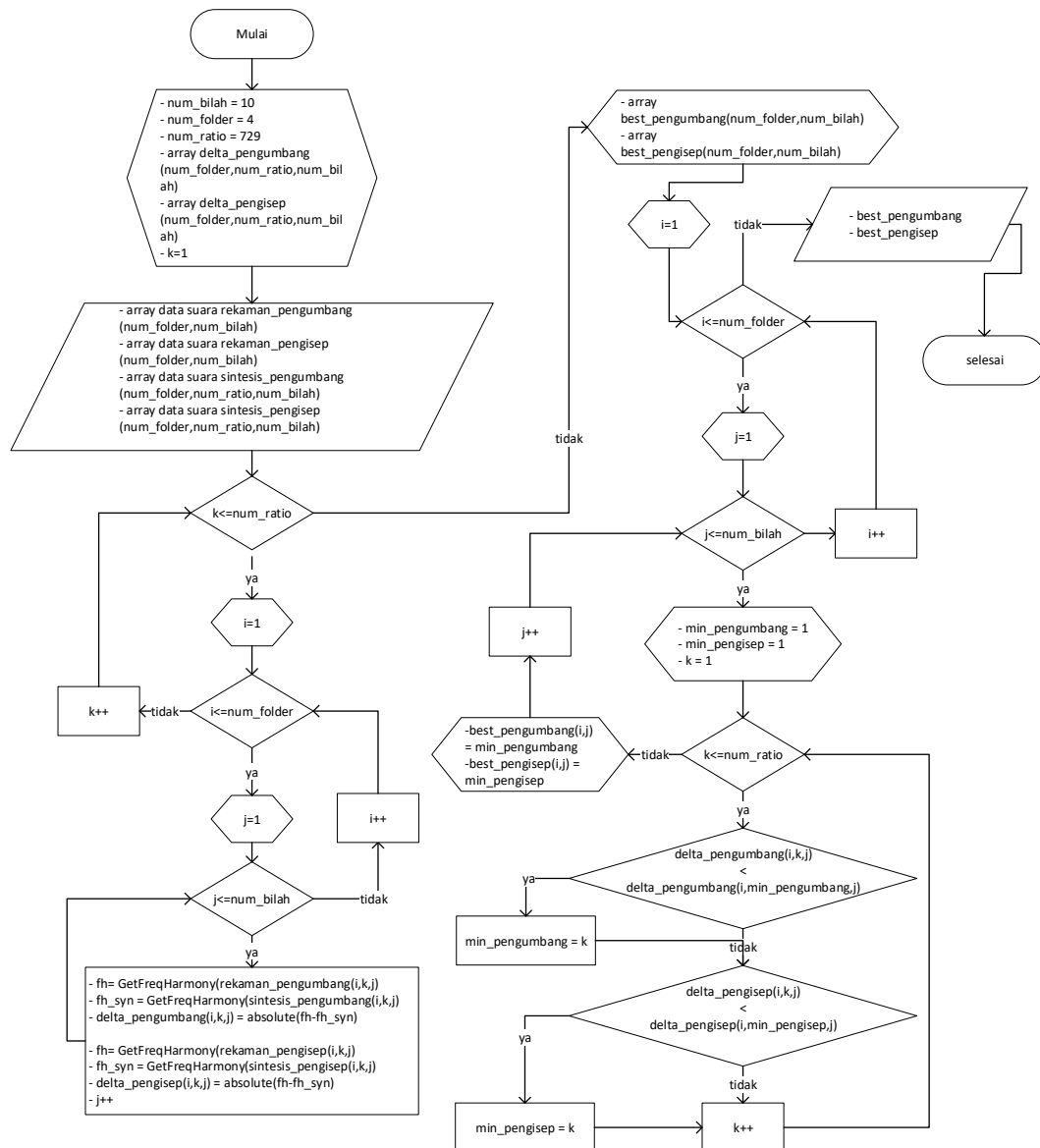
* : Data berasal dari output pemrosesan dengan aplikasi Sound Forge Pro

Pada gambar 3.9, terlihat bahwa langkah awal untuk melakukan sintesis dengan metode DFM adalah menentukan rasio $f_{m1}:f_{m2}:f_c$, menentukan f_i , frekuensi sample (f_s) dan bungkus sinyal. Frekuensi sample yang digunakan bernilai 44100Hz. Selain menentukan nilai dari variabel-variabel tersebut, akan dilakukan inisialisasi nilai waktu (t) untuk melakukan sintesis terhadap data suara dari awal sampai akhir durasi data suara tersebut dimana nilai t akan berubah-ubah dari 0 sampai dengan panjang dari panjang data suara (N/f_s) tersebut dengan peningkatan nilai t sebesar $1/f_s$ tiap iterasinya. Pada tiap iterasinya, akan dihitung nilai dari frekuensi hasil sintesis dengan menggunakan formula 2.10 dengan parameter yang telah didapat dari proses sebelumnya. Apabila iterasi telah selesai, maka tahap selanjutnya adalah membangkitkan suara sintetik dengan menggunakan hasil perhitungan frekuensi yang baru.

c) Tahap Optimasi

Pada tahap ini akan membahas mengenai pengujian kemiripan suara hasil proses sintesis dengan dataset suara rekaman gamelan gender. Tahap ini akan menghasilkan output berupa rasio optimum dari sinyal pemodulasi pertama, kedua dan sinyal pembungkus untuk melakukan sintesis suara gamelan gender. Tahap pengujian suara hasil sintesis dengan metode DFM dapat dilihat pada gambar 3.10.

Pada gambar 3.10, terlihat bahwa untuk menguji kemiripan antara suara suara hasil proses sintesis dengan suara rekaman gamelan gender maka akan dihitung terlebih dahulu frekuensi harmonik dari suara hasil sintesis (f_{h_syn}) dan suara rekaman (f_h). Setelah frekuensi harmonik didapatkan, maka akan dihitung nilai absolut dari selisih dari f_h dengan f_{h_syn} yang selanjutnya akan disebut *delta*. Semakin kecil nilai *delta* yang dihasilkan, maka semakin mirip pula suara sintetik dengan suara rekaman. Tahap ini akan menghasilkan perbandingan $f_{m1}:f_{m2}:f_c$ yang paling optimal untuk melakukan proses sintesis suara gamelan gender dengan nilai *delta* minimum. Perbandingan $f_{m1}:f_{m2}:f_c$ yang optimal ini akan digunakan pada tahap pembuatan aplikasi penilaian keselarasan nada sederhana.



Gambar 3. 10 : Flowchart Proses Pengujian Suara Hasil Sintesis dengan DFM

3.2.4. Rancangan Antar Muka Aplikasi

Aplikasi yang dibangun memiliki dua antar muka, yaitu antarmuka untuk menguji kemiripan suara input dengan dataset dan antarmuka untuk menambahkan data dengan proses sintesis. Rancangan antarmuka aplikasi dapat dilihat pada gambar 3.11.

Pada gambar 3.11 terlihat bahwa terdapat tiga buah inputan yaitu inputan suara rekaman bilah gender, nomor bilah gender dan jenis gender. Untuk menginputkan suara rekaman bilah gender, terdapat tombol; “Browse” untuk mencari lokasi dari suara bilah gender yang akan diuji kemiripannya. Kemudian untuk menginputkan nomor bilah telah disediakan dropdown list dari nomor bilah yang bernilai satu sampai dengan sepuluh mengingat jumlah bilah pada gender berjumlah sepuluh buah. Untuk menginputkan jenis gender telah disediakan pula dropdown list yang berisi dua buah pilihan, yaitu pengumbang dan mengisep. Kemudian untuk melakukan proses pengujian kemiripan, user akan meng-klik tombol “Uji” kemudian akan ditampilkan data berupa frekuensi harmoni dari data yang diinputkan, batas atas frekuensi yang diijinkan, batas bawah frekuensi yang diijinkan dan hasil uji berupa selaras atau tidaknya data yang diinputkan dengan dataset pada sistem.

Suara Rekaman Bilah Gender	(Lokasi suara yang akan diuji)	Brows
Nomor Bilah	1	v
Jenis Gender	Pengumbang	v
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">UJI</div>		
Frekuensi Harmoni	: (Frekuensi harmoni data inputan)	
Batas Atas Frekuensi	: (Batas Atas Frekuensi harmoni dataset)	
Batas Bawah Frekuensi	: (Batas Bawah Frekuensi harmoni dataset)	
Hasil Uji Keselarasan	: (Hasil uji berupa selaras atau tidak selaras)	

Gambar 3. 11 : Rancangan Antar Muka Aplikasi

3.3. Tahap Pembuatan Aplikasi

Pada tahap ini akan membahas mengenai proses pembuatan aplikasi penilaian keselarasan nada sederhana gamelan gender. Proses pengkodean aplikasi penilaian keselarasan nada akan dibuat menggunakan bahasa pemrograman MatLab versi 2012. Berikut merupakan analisis dari aplikasi yang akan dibangun :

a. Input yang Digunakan

Input yang digunakan pada aplikasi ini merupakan file audio berekstensi .wav suatu bilah gender tertentu yang akan diuji keselarasan nadanya dengan dataset yang dimiliki oleh sistem. Dataset tersebut didapat dari tahap sintesis. Selain itu akan diinputkan juga nomor bilah dari file audio yang diinputkan. Nomor bilah merupakan bilangan bulat dengan nilai 1 sampai dengan 10. Input yang terakhir yaitu berupa jenis gender yang memiliki nilai pengumbang atau pengisep.

b. Output yang Dihasilkan

Aplikasi yang akan dibangun akan menghasilkan output berupa status kemiripan atau keselarasan dari file audio yang diinputkan dengan dataset yang dimiliki oleh sistem.

3.4. Tahap Evaluasi Aplikasi

Tahap ini akan menjelaskan evaluasi dari aplikasi sintesis suara gamelan gender. Metode evaluasi yang digunakan adalah metode pengujian *blackbox*. Tabel 3.1 merupakan kriteria pengujian dari aplikasi sintesis suara gamelan gender.

Tabel 3. 1 : Kriteria Pengujian Aplikasi dengan Blackbox

No	Skenario Pengujian	Test Case	Hasil yang Diharapkan
1	User menginputkan suara rekaman bilah gender	Meng-klik tombol “browse” lalu memilih suara yang diinginkan	Sistem mendapatkan lokasi file yang akan digunakan sebagai input
2	User menginputkan nomor bilah suara rekaman yang telah diinputkan	Meng-klik dropdown list lalu memilih nomor bilah satu sampai dengan sepuluh	Sistem menampilkan nomor bilah yang diinginkan untuk diuji
3	User menginputkan jenis gender kantikan	Meng-klik dropdown list lalu memilih jenis gender kantikan, yaitu	Sistem menampilkan jenis gender kantikan yang diinginkan untuk diuji

No	Skenario Pengujian	Test Case	Hasil yang Diharapkan
	dari suara rekaman yang telah diinputkan	pengumbang atau pengisep	
4	User melakukan pengujian terhadap input yang telah ditentukan pada tahap sebelumnya	Meng-klik tombol “uji”	Sistem menampilkan status keselarasan dari suara rekaman yang telah diinputkan terhadap dataset, toleransi batas atas dan toleransi batas bawah frekuensi harmoni yang dianggap selaras, dan menampilkan frekuensi harmoni suara rekaman yang diinputkan

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab hasil dan pembahasan akan menguraikan hasil beserta pembahasan dari pelaksanaan penelitian. Uraian yang akan dijelaskan meliputi proses analisis suara, proses pembuatan aplikasi penilaian keselarasan nada bilah gender dan evaluasi aplikasi penilaian keselarasan nada bilah gender.

4.1. Proses Analisis Suara

Subbab proses analisis suara akan menjelaskan mengenai tahapan analisis suara rekaman bilah gender dimana proses ini dilakukan sebelum proses pembuatan aplikasi penilaian keselarasan nada bilah gender. *Output* dari proses analisis suara ini akan menjadi *input* dari proses selanjutnya. Adapun tahapan-tahapan yang dilalui dalam proses analisis suara meliputi tahap *preprocessing*, tahap sintesis suara dengan metode DFM dan tahap optimasi suara.

4.1.1. Tahap *Preprocessing*

Tahap *Preprocessing* merupakan tahapan mempersiapkan dataset sebelum digunakan sebagai input dalam tahap selanjutnya, yaitu tahap sintesis suara dengan DFM. Pada tahap *preprocessing* terdapat dua subproses, yaitu pencarian frekuensi dasar dataset, pencarian bungkus sinyal dataset dan penghalusan bungkus sinyal dataset.

a) Pencarian Frekuensi Dasar Dataset

Penelitian ini menggunakan 80 buah data yang terdiri dari 40 data suara rekaman gender kanton pengumbang dan 40 data suara rekaman gender kanton pengisep. Untuk mencari frekuensi dasar dari dataset, maka pertama-tama perlu dicari frekuensi tertinggi dari setiap dataset. Proses pencarian frekuensi tertinggi dari setiap dataset dilakukan dengan menggunakan aplikasi Sound Forge Pro 10. Frekuensi tertinggi setiap data suara rekaman gender kanton pengumbang dapat dilihat dalam tabel 4.1 dan frekuensi tertinggi setiap data suara rekaman gender kanton pengisep dapat dilihat dalam tabel 4.2.

**Tabel 4. 1 : Hasil Analisis Frekuensi Tertinggi Seluruh Bilah Gender
Kantilan Pengumbang dengan Sound Forge Pro**

Nomor Dataset	Frekuensi Tertinggi Bilah Ke- (Hz)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	172	197	228	262	302	347	396	452	518	603
2	171	196	227	261	303	346	395	451	517	602
3	172	196	228	262	303	346	395	452	518	602
4	173	196	227	262	301	347	396	452	518	603
Max	173	197	228	262	303	347	396	452	518	603
Min	171	196	227	261	301	346	395	451	517	602

**Tabel 4. 2 : Hasil Analisis Frekuensi Tertinggi Seluruh Bilah Gender
Kantilan Pengisep dengan Sound Forge Pro**

Nomor Dataset	Frekuensi Tertinggi Bilah Ke- (Hz)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	166	189	221	253	297	339	388	445	511	597
2	165	190	220	254	296	338	387	446	512	596
3	166	192	221	254	297	338	387	445	510	597
4	167	191	219	256	296	339	389	442	511	597
Max	167	192	221	256	297	339	389	446	512	597
Min	165	189	219	253	296	338	387	442	510	596

Frekuensi tertinggi setiap data suara rekaman tersebut akan digunakan untuk mencari frekuensi dasar dari setiap data. Untuk mendapatkan frekuensi dasar dari frekuensi tertinggi yang sebelumnya telah didapatkan, maka digunakan konsep *overtone* seperti yang telah dijelaskan pada subab 2.4. Sebagai contoh, frekuensi tertinggi data suara rekaman gender kantilan pengumbang nomor 1 bilah ke 10 adalah 603 Hz, frekuensi ini merupakan *overtone* dari frekuensi 301,5 hz, 150,75 dan 75,375 Hz, sehingga frekuensi dasar dari data suara rekaman gender kantilan pengumbang nomor 1 bilah ke 10 adalah 75,375 Hz. Frekuensi dasar setiap data suara rekaman gender kantilan pengumbang dapat dilihat dalam tabel 4.3 dan frekuensi dasar setiap data suara rekaman gender kantilan pengisep dapat dilihat dalam tabel 4.4.

Tabel 4. 3 : Frekuensi Dasar Seluruh Bilah Gender Kantilan Pengumbang

Nomor Dataset	Frekuensi Tertinggi Bilah Ke- (Hz)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	21,5	24,6	28,5	32,8	37,8	43,4	49,5	56,5	64,8	75,4
2	21,4	24,5	28,4	32,6	37,9	43,3	49,4	56,4	64,6	75,3
3	21,5	24,5	28,5	32,8	37,9	43,3	49,4	56,5	64,8	75,3
4	21,6	24,5	28,4	32,8	37,6	43,4	49,5	56,5	64,8	75,4
Max	21,6	24,6	28,5	32,8	37,9	43,4	49,5	56,5	64,8	75,4
Min	21,4	24,5	28,4	32,6	37,6	43,3	49,4	56,4	64,6	75,3
Rerata	21,5	24,5	28,4	32,7	37,8	43,3	49,4	56,5	64,7	75,3

Tabel 4. 4 : Frekuensi Dasar Seluruh Bilah Gender Kantilan Pengisep

Nomor Dataset	Frekuensi Tertinggi Bilah Ke- (Hz)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	20,8	23,6	27,6	31,6	37,1	42,4	48,5	55,6	63,9	74,6
2	20,6	23,8	27,5	31,8	37,0	42,3	48,5	55,8	64	74,5
3	20,8	24,0	27,6	31,8	37,1	42,3	48,5	55,6	63,9	74,6
4	20,9	23,9	27,4	32,0	37,0	42,4	48,6	55,3	63,9	74,6
Max	20,9	24,0	27,6	32,0	37,1	42,4	48,5	55,8	68,9	74,6
Min	20,6	23,6	27,4	31,6	37,0	42,3	48,6	55,3	63,9	74,5
Rerata	20,8	23,8	27,5	31,8	37,1	42,3	48,5	55,6	63,8	74,6

Pada tabel 4.3 dan 4.4, terdapat baris Rerata dimana baris rerata merupakan rata-rata dari frekuensi dasar per bilah gender kantilan pengumbang maupun gender kantilan pengisep. Rerata dari masing-masing bilah tersebut akan menjadi inputan dalam proses sintesis menggunakan metode DFM. Tabel 4.5 menunjukkan array dari frekuensi dasar data yang akan menjadi input ke dalam proses sintesis suara dengan metode DFM. Baris pertama pada tabel 4.5 menunjukkan frekuensi dasar gender kantilan pengumbang sedangkan baris kedua menunjukkan frekuensi dasar gender kantilan pengisep, dan kolom pada tabel menunjukkan nomor bilah dari gender.

Tabel 4. 5 : Array Frekuensi Dasar Dataset

Jenis Gender	Frekuensi dasar bilah ke- (Hz)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Pengumbang	21,5	24,5	28,4	32,7	37,8	43,3	49,4	56,5	64,7	75,3
Pengisep	20,8	23,8	27,5	31,8	37,8	42,3	48,5	55,6	63,8	74,6

b) Pencarian dan Penghalusan Bungkus Sinyal Dataset

Untuk mencari bungkus sinyal seluruh data rekaman, maka telah dibuat sebuah fungsi dengan nama `GetEnvelope.m` dengan input berupa satu data suara rekaman bilah tertentu. Fungsi ini dikenakan untuk seluruh dataset. Sintak dari fungsi pencarian sinyal envelope diperlihatkan pada kode program 4.1.

```
function envelope = GetEnvelope(wave)

hilbert_trans = abs(hilbert(wave)); %transformasi hilbert
envelope_bf = wave + j*(hilbert_trans); %sinyal analitik
(bungkus sinyal sebelum dihaluskan)
a = 1;
b = [1/4 1/4 1/4 1/4];
envelope = filter(b,a,abs(envelope_bf)); %moving average filter
untuk menghaluskan bungkus sinyal

end
```

Kode Program 4. 1 : Sintaks Pencarian dan Penghalusan Bungkus Sinyal

Gambar 4.1 menunjukkan tahapan dari pencarian dan penghalusan bungkus sinyal dataset. Tahap pertama yang dilakukan adalah melakukan transformasi hilbert pada seluruh dataset. Pada tahap ini penulis menggunakan fungsi Transformasi Hilbert yang telah disediakan MATLAB. Hasil transformasi Hilbert digunakan untuk mendapatkan sinyal analitik dari data (bungkus sinyal). Tahap terakhir pada subproses ini adalah penghalusan bungkus sinyal dataset. Untuk melakukan penghalusan bungkus sinyal dataset, digunakan filter rerata bergerak (moving average filter). Fungsi yang digunakan telah disediakan oleh MATLAB dengan nama fungsi *filter* dan dengan inputan koefisien filter, matriks filter dan bungkus sinyal dataset yang akan dihaluskan. Variabel koefisien filter diberi nilai 1 untuk mengatur tingkat kehalusan bungkus sinyal. Semakin besar nilai koefisien filter, maka semakin banyak komponen frekuensi penyusun sinyal suara yang hilang. Bungkus sinyal yang telah didapatkan disimpan dalam array yang diberi nama *envelope*. Bungkus sinyal pada array *envelope* tersebut dapat dilihat pada tabel 4.6.

Tabel 4. 6 : Array *envelope* yang menyimpan bungkus sinyal dataset

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	112385...	91741x...	53103x...	131679...	73290x...	67949x...	41037x...	78571x...	71041x...	41566x...
2	83461x...	89166x...	89822x...	87931x...	82298x...	75407x...	88488x...	86652x...	52514x...	59057x...
3	87116x...	87446x...	87926x...	87419x...	87143x...	87557x...	57139x...	71934x...	87237x...	66664x...
4	87507x...	86945x...	87342x...	87452x...	87441x...	74321x...	76267x...	87468x...	87501x...	87689x...
5	88620x...	87143x...	86388x...	91465x...	75385x...	86879x...	86917x...	90054x...	86454x...	87375x...
6	86261x...	87237x...	87518x...	86823x...	87275x...	87264x...	86912x...	87463x...	66311x...	55959x...
7	87121x...	87270x...	87264x...	87187x...	87303x...	87634x...	87364x...	78808x...	54371x...	87816x...
8	87127x...	87292x...	87446x...	87088x...	86697x...	87529x...	87038x...	87154x...	86713x...	82965x...

Baris pada tabel 4.6 menunjukkan nomor dataset dimana baris satu sampai empat merupakan data bungkus sinyal dari gender kantilan pengumbang dan baris lima sampai delapan merupakan data bungkus sinyal dari gender kantilan pengisep. Kolom pada tabel 4.6 menunjukkan nomor bilah tiap dataset. Array *envelope* tersebut akan menjadi inputan pada proses sintesis suara dengan DFM.

4.1.2. Tahap Sintesis Suara dengan DFM

Tahap Sintesis Suara dengan DFM merupakan tahap untuk membangkitkan suara gamelan gender kantilan sintesis dengan menggunakan metode DFM.

a) Input dalam Proses Sintesis dengan DFM

Terdapat tiga buah input dalam proses sintesis dengan DFM. Input tersebut terdiri dari frekuensi dasar dan sinyal pembungkus yang telah didapatkan pada tahap *preprocessing* sebelumnya. Selain itu, terdapat satu inputan lain, yaitu inputan berupa perbandingan antara frekuensi sinyal pembawa, sinyal pemodulasi pertama dan sinyal pemodulasi kedua ($f_c:f_{m1}:f_{m2}$). Perbandingan tersebut merupakan perbandingan antara tiga bilangan bulat bukan nol. Banyaknya ratio yang digunakan adalah sebanyak 729 buah perbandingan.

b) Proses Sintesis dengan DFM

Proses sintesis dilakukan menggunakan MATLAB. Proses sintesis dilakukan dengan menggunakan perulangan sebanyak 729 terhadap seluruh frekuensi dasar dan sinyal pembungkus. Sintaks proses sintesis dapat dilihat pada kode program 4.2.

Pada kode program 4.3, terlihat bahwa dilakukan perulangan bersarang dengan tiga tingkat perulangan bersarang. Perulangan pertama yaitu perulangan sebanyak jumlah perbandingan $f_c:f_{m1}:f_{m2}$ untuk melakukan sintesis sebanyak 729

perbandingan yang telah ditentukan. Kemudian perulangan tingkat selanjutnya merupakan perulangan satu sampai empat dan perulangan lima sampai delapan, perulangan ini menunjukkan perulangan untuk melakukan sintesis sebanyak folder dataset. Terdapat delapan buah folder, folder satu sampai empat merupakan folder dataset gender kanton pengumbang, dan folder lima sampai delapan merupakan folder dataset gender kanton pengisep. Perulangan tingkatan terakhir merupakan perulangan satu sampai sepuluh. Perulangan ini menunjukkan perulangan sintesis sebanyak jumlah bilah pada gamelan gender kanton.

Langkah awal dalam melakukan sintesis dengan metode DFM adalah menghitung panjang dari sinyal pembungkus. Panjang dari sinyal pembungkus akan digunakan dalam metode DFM untuk melakukan perulangan. Panjang dari sinyal pembungkus akan disimpan dalam variabel N. Kemudian, dipanggil fungsi yang telah dibangun oleh penulis yang diberi nama DFM dengan inputan N, ratio, sinyal pembungkus, frekuensi dasar, dan frekuensi sampel dari dataset. Hasil dari fungsi DFM digunakan untuk menciptakan suatu data audio berekstensi .wav. Lalu, dicari frekuensi harmoni dari file audio hasil sintesis dan frekuensi harmoni file rekaman yang berkaitan dengan fungsi yang diberi nama GetFrequencyHarmony. Inputan dari fungsi GetFrequencyHarmony antara lain frekuensi domain file audio. Kemudian akan dihitung perbedaan antara kedua data tersebut dengan cara menyelisihkannya.

```
function synthesis = DFM(N, ratio, envelope, ff, fs)
t=0:1/fs:(N-1)/fs;

synthesis = (envelope(:,1))'.*sin(2*pi*ratio(:,1)*ff*t +
2*pi*ratio(:,2)*ff*t + 2*pi*ratio(:,3)*ff*t); %SINTESIS SUARA
DENGAN DFM
end
```

Kode Program 4.2 : Sintaks Fungsi DFM

Pada sintaks sintesis yang digambarkan pada kode program 4.3, terlihat penggunaan dua buah fungsi, yaitu fungsi DFM dan GetFrequencyHarmony. Fungsi DFM merupakan fungsi yang dibuat oleh penulis untuk melakukan

pembangkitan suara dengan metode DFM. Fungsi GetFrequencyHarmony merupakan fungsi yang dibuat oleh penulis untuk menghitung frekuensi harmoni dari data audio. Sintaks dari fungsi DFM dapat dilihat pada kode program 4.2, sintaks dari fungsi GetFungsiHarmony dapat dilihat pada kode program 4.4.

```

for k=1:row
    for i=1:4
        for j=1:num_bilah
            waitbar(k/row,pb,sprintf('Synthesis ratio %d%',k));
            %membuat progress bar
            N = length(envelope{i,j});
            synthesis =
DFM(N, ratio(k,:), envelope{i,j}, ff(1,j), frekuensi_sample{i,j});
            %sintesis suara

            wavwrite(synthesis, fs, 16, strcat(folder_testing, num2str(i), '/', '
bilah', num2str(j), '.wav')); %sintesis suara gender
            fd = abs(fft(synthesis)); %frequency domain hasil
            sintesis
                fdori = abs(fft(wave_cell{i,j}));
                fhor =
GetFrequencyHarmony(fdori, number_freq_harmoni); %frekuensi
            harmoni suara original
                fh = GetFrequencyHarmony(fd, number_freq_harmoni);
                delta = abs(fhori(1,:)-fh);
                delta_pengumbang(i,k,j)= delta;
            end
        end
    end
    for i=5:num_folder
        for j=1:num_bilah
            waitbar(k/row,pb,sprintf('Synthesis ratio %d%',k));
            N = length(envelope{i,j});
            synthesis =
DFM(N, ratio(k,:), envelope{i,j}, ff(2,j), frekuensi_sample{i,j});
            wavwrite(synthesis, fs, 16, strcat(folder_testing, num2str(i), '/', '
bilah', num2str(j), '.wav')); %sintesis suara gender
            fd = abs(fft(synthesis));
            fdori = abs(fft(wave_cell{i,j}));
            fhor =
GetFrequencyHarmony(fdori, number_freq_harmoni);
            fh = GetFrequencyHarmony(fd, number_freq_harmoni);
            delta = abs(fhori(1,:)-fh);
            delta_pengisep(i,k,j)= delta;
        end
    end
end
end

```

Kode Program 4.3 : Sintaks Proses Sintesis

```

function freq_harmoni =
GetFrequencyHarmony(wave_fft,number_freq_harmoni)

[N,num_file]= size(wave_fft);
change_index = 0;
change=0;
result = zeros(num_file,number_freq_harmoni);
for iter=1:num_file
    frequencyResult = ones(1,number_freq_harmoni); %inisialisasi
    penyimpanan frekuensi harmoni
    for i=1:N
        if(i==1) %mencari harmoni tertinggi disekitarnya
            if(wave_fft(i,iter)> wave_fft(i+1,iter))
                change=1;
            end
        elseif(i==N)
            if(wave_fft(i,iter)> wave_fft(i-1,iter))
                change=1;
            end
        else
            if(wave_fft(i,iter)>wave_fft(i-1,iter) &&
            wave_fft(i,iter)>wave_fft(i+1,iter))
                change=1;
            end
        end
        if(change==1) %jika ada yang tertinggi
            for j=1:number_freq_harmoni %mencari apakah nilai tersebut
            ada lebih tinggi dari frekuensi harmoni sebelumnya

            if(wave_fft(frequencyResult(1,j),iter)<wave_fft(i,iter))
                change_index = j;
                break;
            end
        end
        if(change_index~=0) %melakukan perubahan tempat
        penyimpanan frekuensi harmoni
            for j=number_freq_harmoni:-1:change_index
                if(change_index == j)
                    frequencyResult(1,j)=i;
                else
                    frequencyResult(1,j) = frequencyResult(1,j-1);
                end
            end
        end
        change=0;
        change_index=0;
    end
    result(iter,:) = Sorting(frequencyResult); %pengurutan frekuensi
    harmoni
end

freq_harmoni = result;

end

```

Kode Program 4. 4 : Sintaks Fungsi GetFrequencyHarmony

c) Hasil Sintesis dengan DFM

Proses sintesis dengan DFM menghasilkan frekuensi harmoni dari masing-masing dataset dari masing-masing rasio yang telah ditentukan sebelumnya. Selain itu didapatkan pula *delta* dari hasil sintesis dengan menggunakan tiap-tiap ratio. *Delta* tersebut disimpan dalam array *delta_pengumbang* dan *delta_pengisep*. Array *delta_pengumbang* menyimpan nilai-nilai *delta* dari frekuensi harmoni suara hasil sintesis gamelan gender kantilan pengumbang dengan suara rekaman gamelan gender kantilan pengumbang, sedangkan array *delta_pengisep* menyimpan nilai-nilai *delta* dari frekuensi harmoni suara hasil sintesis gamelan gender kantilan pengisep dengan suara rekaman gamelan gender kantilan pengisep. Array *delta_pengumbang* dan *delta_pengisep* menjadi input dalam tahap selanjutnya, yaitu tahap optimasi suara. Tipikal dua belas baris array *delta_pengumbang* dapat dilihat pada tabel 4.7 dan tipikal dua belas baris array *delta_pengisep* dapat dilihat pada tabel 4.8.

Tabel 4. 7 : Tipikal Sepuluh Baris Array *delta_pengumbang*

Nomor Dataset	Ratio			Delta Bilah ke- (Hz)									
	fc	fm1	fm2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	1	1	265	336	371	404	505	575	668	791	896	1011
1	1	1	2	212	269	297	324	405	460	534	633	717	809
1	1	1	3	159	202	223	243	304	345	401	474	538	607
2	1	1	1	338	310	352	423	516	572	687	795	920	1102
2	1	1	2	270	249	282	338	413	458	550	636	737	882
2	1	1	3	203	187	212	254	311	343	412	477	553	662
3	1	1	1	274	316	337	446	529	602	679	807	900	1099
3	1	1	2	219	253	270	357	424	481	543	646	720	880
3	1	1	3	164	190	203	268	319	361	408	485	541	660
4	1	1	1	282	293	405	456	488	590	678	775	906	1064
4	1	1	2	225	235	324	365	391	472	543	620	725	852
4	1	1	3	169	176	244	274	294	354	407	465	544	639

Tabel 4. 8 : Tipikal Sepuluh Baris Array *delta_pengisep*

Nomor Dataset	Ratio			Delta Bilah ke- (Hz)									
	fc	fm1	fm2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	1	1	252	315	376	400	475	518	688	725	843	987
1	1	1	2	201	252	301	320	380	415	558	580	663	790

Nomor Dataset	Ratio			Delta Bilah ke- (Hz)									
	fc	fm1	fm2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	1	3	151	189	227	240	285	312	427	436	484	592
2	1	1	1	253	295	359	400	527	565	675	752	825	963
2	1	1	2	202	236	288	320	422	453	547	602	649	770
2	1	1	3	151	177	216	240	317	340	419	452	474	578
3	1	1	1	272	308	363	409	462	578	622	757	852	1102
3	1	1	2	217	247	291	327	370	463	504	606	671	881
3	1	1	3	163	185	220	245	278	348	387	455	490	661
4	1	1	1	281	315	364	416	462	510	649	771	777	988
4	1	1	2	224	252	292	333	370	408	526	618	612	791
4	1	1	3	168	189	220	249	278	307	403	464	447	593

4.1.3. Tahap Optimasi Suara

Tahap optimasi suara merupakan tahapan untuk menentukan ratio terbaik yang dapat digunakan untuk melakukan sintesis suara gamelan gender kantan dengan metode DFM. Input dalam tahap optimasi suara merupakan array *delta_pengumbang* dan array *delta pengisep* yang berisikan nilai *delta* dari tahap sintesis suara dengan metode DFM dengan ratio sebanyak 729 kombinasi. Untuk menentukan ratio terbaik yang dapat digunakan untuk melakukan sintesis suara gamelan gender kantan dengan metode DFM, maka dicari nilai *delta* yang terkecil dari tiap bilah masing-masing jenis gender, yaitu gender kantan pengumbang dan gender kantan pengisep. Semakin kecil nilai *delta* dari suatu ratio, semakin baik ratio tersebut dapat digunakan untuk proses sintesis suara gender dengan metode DFM karena semakin kecil nilai *delta*, maka suara sintesis yang diciptakan akan semakin mirip dari suara yang ditirukannya. Sintaks untuk mencari nilai *delta* yang terkecil dari tiap bilah masing-masing jenis gender dapat dilihat pada kode program 4.5.

```

for i=1:4
    for j=1:num_bilah
        min_pengumbang=1;
        min_pengisep=1;
        for k=1:row

            if(delta_pengumbang(i,k,j)<delta_pengumbang(i,min_pengumbang,j))
                min_pengumbang = k;
            end

            if(delta_pengisep(i,k,j)<delta_pengisep(i,min_pengisep,j))
                min_pengisep= k;
            end
            best_pengumbang(i,j)=min_pengumbang;
            best_pengisep(i,j)=min_pengisep;
        end
    end
end

```

Kode Program 4. 5 : Sintaks pencarian nilai delta terkecil dari tiap bilah masing-masing jenis gender

Kode program 4.5 menggambarkan proses pencarian nilai delta terkecil dengan proses perulangan. Perulangan yang dilakukan merupakan perulangan bersarang, dimana perulangan pertama yaitu perulangan untuk jumlah set dataset tiap jenis gender, perulangan kedua untuk jumlah bilah dari gender, dan perulangan di dalamnya merupakan perulangan untuk ratio.

Hasil dari tahap optimasi ini merupakan ratio terbaik dimana ratio terbaik dapat digunakan untuk melakukan sintesis dengan metode DFM. Untuk setiap dataset bilah gender kantilan pengumbang maupun gender kantilan pengisep, perbandingan antara frekuensi sinyal pembawa, sinyal pemodulasi pertama dan sinyal pemodulasi kedua ($f_c:f_{m1}:f_{m2}$) terbaik yang dapat digunakan untuk melakukan sintesis dengan metode DFM adalah 1:1:6. Nilai *delta* dalam satuan hertz (Hz) yang dihasilkan dalam proses sintesis suara gamelan gender dengan metode DFM dengan ratio terbaik tersebut dapat dilihat pada tabel 4.9 dan 4.10. Frekuensi harmoni suara hasil sintesis gender pengumbang dengan ratio terbaik dapat dilihat pada tabel 4.11 dan frekuensi harmoni suara hasil sintesis gender pengumbang dengan ratio terbaik dapat dilihat pada tabel 4.12.

Tabel 4. 9 : Nilai delta masing-masing bilah gender pengumbang suara hasil sintesis dengan ratio terbaik

Nomor Dataset	Delta Bilah Ke- (Hz)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	1	2	0	3	0	0	0	1	2
2	1	1	2	0	4	0	0	0	2	2
3	0	1	1	0	4	1	0	1	2	2
4	1	1	2	0	3	0	0	0	1	2
Max	1	1	2	0	4	1	0	1	2	2
Min	0	1	1	0	3	0	0	0	1	2
Rerata	0,5	1	1,75	0	3,5	0,25	0	0,25	1,5	2

Tabel 4. 10 : Nilai delta masing-masing bilah gender pengisep suara hasil sintesis dengan ratio terbaik

Nomor Dataset	Delta Bilah Ke- (Hz)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	1	4	0	1	2	2	2	1	1
2	1	0	3	1	2	3	2	2	1	1
3	1	1	4	0	1	2	2	2	1	1
4	1	1	4	0	1	2	1	2	1	1
Max	1	1	4	1	2	3	2	2	1	1
Min	1	0	3	0	1	2	1	2	1	1
Rerata	1	0,75	3,75	0,25	1,25	2,25	1,75	2	1	1

Tabel 4. 11 : Frekuensi Harmoni Suara Hasil Sintesis Gender Pengumbang dengan ratio terbaik

Nomor Dataset	Frekuensi Harmoni Bilah Ke- (Hz)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	425	537	591	648	805	922	1070	1266	1433	1615
2	540	496	561	678	820	916	1101	1272	1470	1762
3	439	505	539	715	841	965	1088	1291	1437	1757
4	450	469	645	731	777	945	1086	1241	1448	1701
Max	540	537	645	731	841	965	1101	1291	1470	1762
Min	425	469	539	648	777	916	1070	1241	1433	1615

Tabel 4. 12 : Frekuensi Harmoni Suara Hasil Sintesis Gender Pengisep dengan ratio terbaik

Nomor Dataset	Frekuensi Harmoni Bilah Ke- (Hz)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	405	506	596	641	759	826	1097	1158	1387	1578
2	407	473	570	643	841	901	1078	1202	1364	1540
3	437	496	576	656	739	922	960	1209	1406	1762
4	452	507	577	666	739	813	1014	1232	1278	1581
Max	452	507	596	666	841	922	1097	1232	1406	1762
Min	405	473	570	641	739	813	960	1158	1278	1540

Setelah ratio terbaik didapatkan, maka akan dilakukan proses sintesis sekali lagi dengan menggunakan sinyal pembungkus (*envelope*), frekuensi dasar, dan ratio terbaik untuk membangkitkan suara bilah gender pengumbang dan pengisep. Sinyal pembungkus yang digunakan dipilih dari suara dataset yang memiliki selisih frekuensi dasar terkecil dengan frekuensi dasar yang digunakan. Tabel 4.13 memperlihatkan selisih untuk pengumbang dan tabel 4.14 memperlihatkan selisih untuk pengisep. Bagian tabel yang diberi warna kuning merupakan selisih terkecil yang diperoleh. Maka sinyal pembungkus yang digunakan pada proses sintesis diambil dari dataset dengan selisih frekuensi dasar terkecil tiap bilahnya. Suara hasil sintesis tersebut akan diuji keselarasannya dengan suara rekaman (dataset) dengan menggunakan parameter frekuensi harmoni. Jika frekuensi harmoni dari suara hasil sintesis berada pada rentang frekuensi harmoni suara dataset bilah yang bersangkutan, maka suara hasil sintesis tersebut dianggap selaras dengan suara rekaman (dataset), dan jika frekuensi harmoni dari suara hasil sintesis berada di luar rentang frekuensi harmoni suara dataset bilah yang bersangkutan, maka suara hasil sintesis tersebut dianggap tidak selaras dengan suara rekaman. Tabel 4.15 dan tabel 4.16 menunjukkan hasil dari proses sintesis dengan sinyal pembungkus (*envelope*), frekuensi dasar, dan ratio terbaik beserta hasil pengujian keselarasannya.

Tabel 4. 13 : Selisih frekuensi dasar pengumbang dengan frekuensi rata-rata pengumbang

Nomor Dataset	Selisih Frekuensi Dasar Bilah Ke- (Hz)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0,00	0,09	0,06	0,03	0,03	0,06	0,06	0,03	0,03	0,06
2	0,13	0,03	0,06	0,09	0,09	0,06	0,06	0,09	0,09	0,06
3	0,00	0,03	0,06	0,03	0,09	0,06	0,06	0,03	0,03	0,06
4	0,13	0,03	0,06	0,03	0,16	0,06	0,06	0,03	0,03	0,06

Tabel 4. 14 : Selisih frekuensi dasar pengumbang dengan frekuensi rata-rata pengumbang

Nomor Dataset	Selisih Frekuensi Dasar Bilah Ke- (Hz)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0,00	0,19	0,09	0,16	0,06	0,06	1,56	0,06	2,50	0,03
2	0,13	0,06	0,03	0,03	0,06	0,06	1,56	0,19	2,50	0,09
3	0,00	0,19	0,09	0,03	0,06	0,06	1,56	0,06	2,50	0,03
4	0,13	0,06	0,16	0,22	0,06	0,06	4,69	0,31	2,50	0,03

Tabel 4. 15 : Hasil Sintesis Bilah Gender Pengumbang dengan Ratio Terbaik

Nomor Bilah	Frekuensi Harmoni	Frekuensi Harmoni Terendah Dataset	Frekuensi Harmoni Tertinggi Dataset	Status Keselarasan
1	425 Hz	425 Hz	540 Hz	Selaras
2	496 Hz	469 Hz	537 Hz	Selaras
3	591 Hz	539 Hz	645 Hz	Selaras
4	648 Hz	648 Hz	731 Hz	Selaras
5	805 Hz	777 Hz	841 Hz	Selaras
6	922 Hz	916 Hz	965 Hz	Selaras
7	1070 Hz	1070 Hz	1101 Hz	Selaras
8	1266 Hz	1241 Hz	1291 Hz	Selaras
9	1433 Hz	1433 Hz	1470 Hz	Selaras
10	1615 Hz	1615 Hz	1762 Hz	Selaras

Tabel 4. 16 : Hasil Sintesis Bilah Gender Pengisep dengan Ratio Terbaik

Nomor Bilah	Frekuensi Harmoni	Frekuensi Harmoni Terendah Dataset	Frekuensi Harmoni Tertinggi Dataset	Status Keselarasan
1	405 Hz	405 Hz	452 Hz	Selaras
2	473 Hz	473 Hz	507 Hz	Selaras
3	570 Hz	570 Hz	596 Hz	Selaras
4	643 Hz	641 Hz	666 Hz	Selaras
5	841 Hz	739 Hz	841 Hz	Selaras
6	901 Hz	813 Hz	922 Hz	Selaras
7	1078 Hz	960 Hz	1097 Hz	Selaras
8	1158 Hz	1158 Hz	1232 Hz	Selaras
9	1387 Hz	1278 Hz	1406 Hz	Selaras
10	1578 Hz	1540 Hz	1762 Hz	Selaras

4.2. Proses Pembuatan Aplikasi Penilaian Keselarasan Nada Bilah Gender

Aplikasi penilaian keselarasan nada bilah gender kantilan merupakan aplikasi berbasis desktop yang dibangun dengan menggunakan bahasa pemrograman MatLab. Versi dari MatLab yang digunakan merupakan MatLab versi 2015.

Sub bab proses pembuatan aplikasi penilaian keselarasan nada bilah gender ini dibahas ke dalam empat poin bahasan yang terdiri dari tampilan awal aplikasi, proses input data dan kriteria pengujian, proses pengujian keselarasan nada bilah gender, dan output aplikasi penilaian keselarasan nada bilah gender.

4.2.1. Tampilan Awal Aplikasi

The screenshot shows a window titled 'uji_keselarasan' with the following layout:

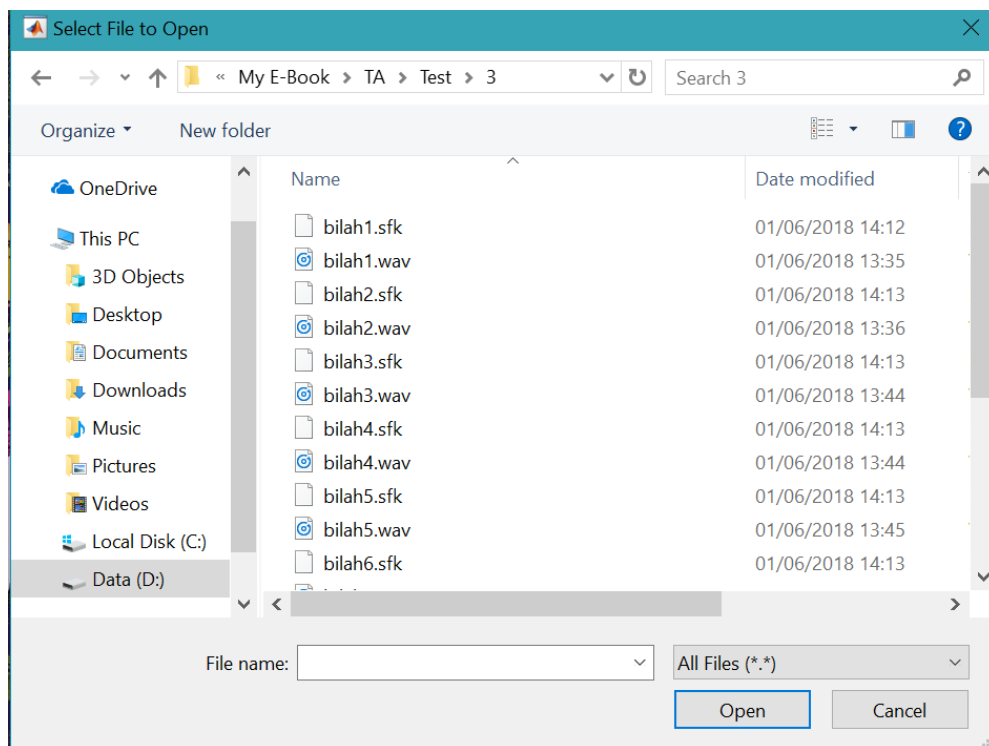
- Title Bar:** uji_keselarasan
- Header:** APLIKASI PENILAIAN KESELARASAN NADA BILAH GENDER KANTILAN
- Input Section:**
 - Lokasi File:** A text input field with a 'Browse' button next to it.
 - Jenis Gender:** A dropdown menu with 'Pengumbang' selected and 'Pengisep' as an option.
 - Nomor Bilah:** A dropdown menu with '1' selected and options '2', '3', '4', '5'.
- Action Button:** A large button labeled 'Uji Keselarasan'.
- Proses Section:**
 - Read Audio
 - Getting Envelope
 - Synthesis Process
- Hasil Section:**
 - Ambang Batas Atas Frekuensi Hamoni
 - Ambang Batas Bawah Frekuensi Hamoni
 - Frekuensi Hamoni Suara Input

Gambar 4. 1 : Tampilan Awal Aplikasi Penilaian Keselarasan Nada Bilah Gender

Tampilan awal aplikasi penilaian keselarasan nada bilah gender dapat dilihat pada gambar 4.6. Pada gambar 4.6 terlihat bahwa aplikasi penilaian keselarasan nada bilah gender kantil memiliki tiga panel utama, yaitu panel input, panel proses dan panel hasil. Panel input berisikan input yang dibutuhkan aplikasi untuk menilai keselarasan nada bilah gender. Input yang dibutuhkan antara lain file suara bilah gender tertentu berekstensi .wav, jenis gender dan nomor bilah dari bilah gender yang ingin dijadikan patokan uji. Panel proses berisikan *progress* dari proses penilaian keselarasan nada bilah gender. Proses yang dimaksud adalah proses membaca file audio input, mencari bungkus sinyal dari file audio input dan proses

sintesis. *Progress* yang ditampilkan pada panel proses antara lain persentasi proses dan waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan tiap proses. Panel hasil berisikan informasi mengenai hasil dari proses penilaian keselarasan nada bilah gender. Hasil yang ditampilkan pada panel hasil antara lain status keselarasan dari file input dengan dataset, ambang batas atas frekuensi harmoni dataset, ambang batas bawah frekuensi harmoni dataset dan frekuensi data input.

4.2.2. Proses Input Data dan Kriteria Pengujian



Gambar 4. 2 : Tampilan Input File Audio Bilah Gender

Sebelum masuk ke dalam proses pengujian keselarasan nada bilah gender, pertama – tama proses yang dilalui adalah proses input data dan kriteria pengujian. Ada tiga data yang perlu diinputkan, yaitu file audio suara bilah gender berekstensi .wav yang ingin diuji, jenis gender dan nomor bilah gender yang ingin diujikan.

Untuk menginputkan file audio suara bilah gender berekstensi .wav yang ingin diuji, telah disediakan tombol “Browse” untuk mencari lokasi file audio suara bilah gender berekstensi .wav yang ingin diuji tersebut. Tampilan saat tombol browse diklik dapat dilihat pada gambar 4.7. Setelah file yang ingin diuji dipilih,

maka lokasi dari file yang ingin diuji tersebut akan ditampilkan pada panel input. Untuk menginputkan jenis gender dan nomor bilah yang ingin dijadikan patokan uji keselarasan nada, telah disediakan dua buah *dropdown list* dimana untuk menginput jenis gender telah disediakan dua pilihan, yaitu Pengumbang dan Pengisep, sedangkan untuk menginput nomor bilah telah disediakan sepuluh pilihan yang terdiri dari angka satu sampai sepuluh. Contoh dari proses input data dan kriteria pengujian dapat dilihat pada gambar 4.8 dimana pada gambar 4.8 tersebut telah diinputkan sebuah file suara yang akan diuji keselarasannya terhadap gender jenis pengumbang dengan nomor bilah sembilan.

The screenshot shows a software application window titled "uji_keselaran". The main heading is "APLIKASI PENILAIAN KESELARASAN NADA BILAH GENDER KANTILAN".

Input Section:

- Lokasi File:** D:\My E-Book\TA\Test\3\bilah9.wav (with a "Browse" button)
- Jenis Gender:** A dropdown menu with "Pengumbang" selected and "Pengisep" as an option.
- Nomor Bilah:** A numeric spinner box with values 6, 7, 8, 9, and 10; the value 9 is currently selected.

Uji Keselarasan: A button located below the input fields.

Proses (Process) Section:

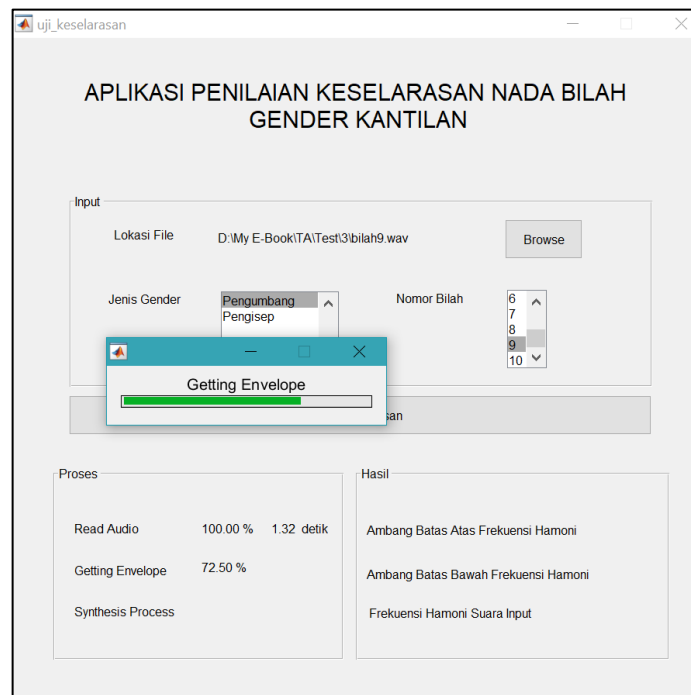
- Read Audio
- Getting Envelope
- Synthesis Process

Hasil (Result) Section:

- Ambang Batas Atas Frekuensi Hamoni
- Ambang Batas Bawah Frekuensi Hamoni
- Frekuensi Hamoni Suara Input

Gambar 4. 3 : Contoh Input Data dan Kriteria Pengujian Keselarasan Bilah Gender

4.2.3. Proses Pengujian Keselarasan Nada Bilah Gender



Gambar 4. 4 : Contoh Tampilan Proses Pengujian Keselarasan Nada

Setelah proses input dilakukan, proses selanjutnya adalah proses pengujian keselarasan nada bilah gender. Pengujian dilakukan dengan cara meng klik tombol uji keselarasan yang ada di bawah panel input. Gambar 4.9 merupakan contoh tampilan proses pengujian keselarasan nada saat tombol uji keselarasan diklik. Setelah tombol uji keselarasan diklik, akan muncul sebuah windows dengan *progress bar* yang mununjukkan *progress* dari proses pengujian keselarasan. Pengujian keselarasan terdiri dari tiga subproses, antara lain membaca file input dan file dataset, mencari bungkus sinyal file input dan dataset dan proses sintesis. Saat suatu subproses selesai dilaksanakan, maka akan ditampilkan waktu yang dibutuhkan untuk mengeksekusi subproses tersebut. Waktu eksekusi subproses tersebut ditampilkan dalam satuan detik. Berikut merupakan pembahasan mengenai ketiga subproses tersebut.

a) Membaca file

Dalam subproses membaca file, dilakukan dengan perulangan dan fungsi matlab. Fungsi matlab yang digunakan untuk membaca file audio adalah `audioread`. Kode program 4.6 merupakan sintaks dalam proses membaca seluruh file.

```

for i=1:num_folder
    for j=1:num_bilah
        progress=100*inc/(num_folder*num_bilah);

set(handles.progressRead,'String',sprintf(formatProgress,progress,persen));
        waitbar(inc/(num_folder*num_bilah),pb,sprintf('Reading
File')); %membuat progress bar
        file =
strcat(folder,num2str(i),'/bilah',num2str(j),'.wav');
        [wave_cell{i,j},fs] = audioread(file); %membaca seluruh
dataset suara.
        frekuensi_sample{i,j}=fs;
        inc=inc+1;
    end
end

```

Kode Program 4. 6 : Sintaks Proses Membaca File

Pada kode program 4.6 terlihat bahwa dilakukan perulangan bersarang sebanyak dua buah perulangan. Perulangan pertama menunjukkan perulangan proses membaca folder dan perulangan kedua menunjukkan proses membaca bilah pada folder. Adapun proses yang dikenakan perulangan tersebut adalah proses membuat dan mengupdate *progress bar* dan membaca file audio dengan fungsi `audioread`.

b) Mencari bungkus sinyal

Dalam subproses pencarian bungkus sinyal pada aplikasi pengujian keselarasan nada bilah gender menggunakan fungsi yang sama dengan poin 4.1.1 tahap *preprocessing* bagian pencarian bungkus sinyal, yaitu fungsi `GetEnvelope` dimana sintaks dari `GetEnvelope` dapat dilihat pada kode program 4.1. Bungkus sinyal yang didapatkan akan menjadi input dalam proses selanjutnya, yaitu proses sintesis.

c) Proses Sintesis

Subproses sintesis pada aplikasi pengujian keselarasan nada bilah gender menggunakan fungsi yang sama dengan poin 4.1.2 dimana pada subproses ini menggunakan ratio terbaik yang telah didapatkan pada bahasan poin 4.1.3 yaitu $f_c:f_{m1}:f_{m2} = 1:1:6$. Sintaks proses sintesis dapat dilihat pada kode program 4.3.

Setelah proses sintesis dilaksanakan, maka frekuensi harmoni dari file yang diinputkan akan dibandingkan dengan frekuensi harmoni dataset dengan jenis dan

nomor bilah yang bersangkutan. Proses perbandingan tersebut dapat dilihat pada kode program 4.7. Pertama-tama akan dicari rentang yang relevan terhadap jenis gender dan nomor bilah kriteria pengujian. Untuk mencari rentang tersebut dapat dilakukan dengan cara mencari nilai maksimum dan minimum dari dataset dengan jenis gender dan nomor bilah yang bersangkutan. Sebagai contoh, jika pengguna memasukkan kriteria uji jenis gender yaitu pengumbang dan nomor bilah yaitu nomor sembilan, maka akan dicari nilai maksimum dan minimum dari gender pengumbang bilah nomor sembilan pada dataset. Kemudian akan diuji apakah frekuensi harmoni file input tersebut memasuki rentang yang telah didapat atau tidak. Jika frekuensi harmoni file input masuk ke dalam rentang, maka nada dari file input tersebut dianggap sudah selaras terhadap dataset. Sebaliknya, jika frekuensi harmoni file input tidak masuk ke dalam rentang, maka nada dari file input tersebut dianggap tidak selaras terhadap dataset.

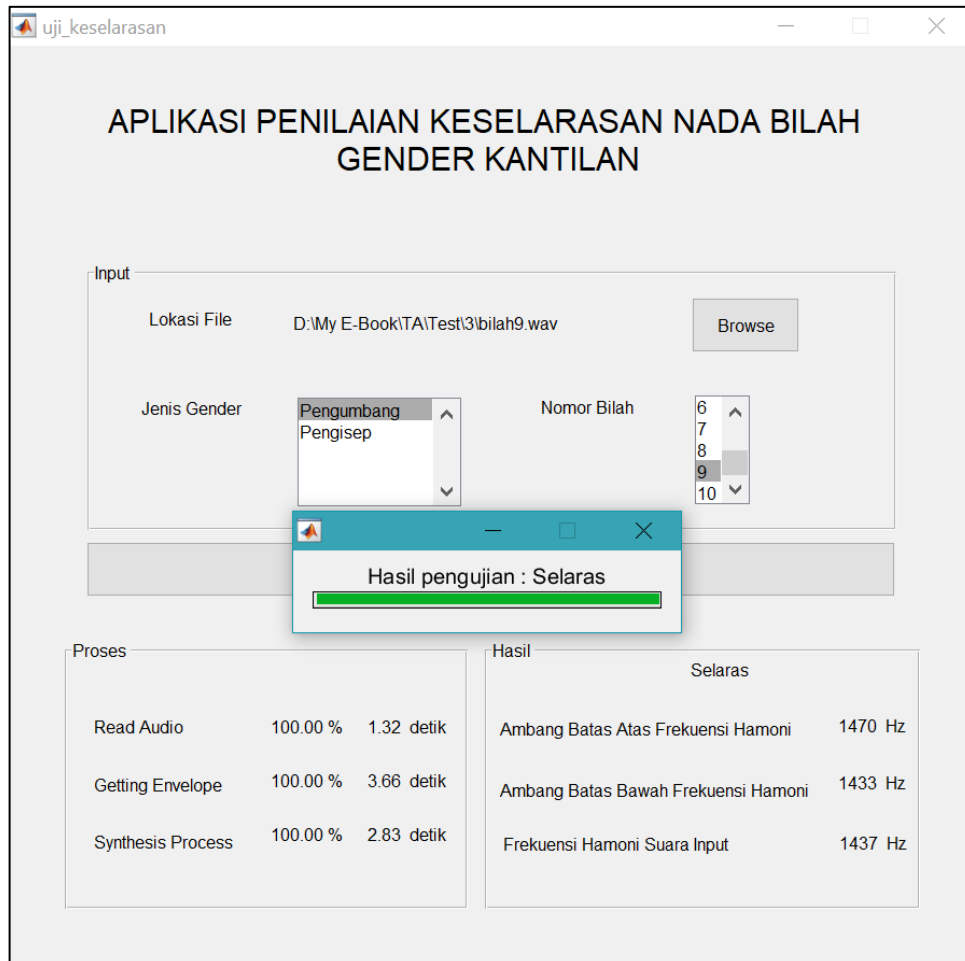
```
if(jenis_gender==1)
    disp('pengumbang');
    fh = fh_pengumbang(:, nomor_bilah);
    max_ = max([fh{:}]);
    min_ = min([fh{:}]);
else
    disp('pengisep');
    fh = fh_pengisep(:, nomor_bilah);
    max_ = max([fh{:}]);
    min_ = min([fh{:}]);
end
```

Kode Program 4. 7 : Sintaks Perbandingan Frekuensi Harmoni Data Input dengan Dataset

4.2.4. Output Aplikasi Penilaian Keselarasan Nada Bilah Gender

Setelah proses pengujian keselarasan selesai dilakukan, maka akan ditampilkan status keselarasan dari file input, ambang batas atas frekuensi harmoni yang diijinkan, ambang batas bawah frekuensi harmoni yang diijinkan dan frekuensi harmoni dari file yang diinputkan. Frekuensi harmoni yang ditampilkan merupakan frekuensi harmoni dalam satuan Hertz. Selain itu akan ditampilkan waktu untuk melakukan semua subproses dalam panel proses dalam satuan detik.

Contoh dari output aplikasi penilaian keselarasan nada bilah gender dapat dilihat pada gambar 4.12.



Gambar 4. 5 : Contoh Tampilan saat Proses Pengujian Berakhir

4.3. Evaluasi Aplikasi Penilaian Keselarasan Nada Bilah Gender

Aplikasi penilaian keselarasan nada bilah gender diuji menggunakan metode pengujian *Blackbox*. Kriteria pengujian yang digunakan telah dipaparkan pada poin 3.4. Hasil evaluasi aplikasi penilaian keselarasan nada bilah gender dengan menggunakan metode pengujian *blackbox* dapat dilihat pada tabel 4.17. Dalam tabel 4.17 terlihat bahwa dari empat skenario pengujian, seluruh skenario pengujian telah berjalan dengan baik.

Tabel 4. 17 : Hasil pengujian aplikasi penilaian keselarasan nada bilah gender dengan metode pengujian *blackbox*

N o	Skenario Pengujian	Test Case	Hasil yang Diharapkan	Hasil yang didapatkan	Keteranga n
1	User menginputkan suara rekaman bilah gender	Meng-klik tombol “browse” lalu memilih suara yang diinginkan	Sistem mendapatkan lokasi file yang akan digunakan sebagai input	Sistem berhasil mendapatkan lokasi file yang akan digunakan sebagai input	Diterima (Berjalan dengan baik)
2	User menginputkan nomor bilah suara rekaman yang telah diinputkan	Meng-klik dropdown list lalu memilih nomor bilah satu sampai dengan sepuluh	Sistem menampilkan nomor bilah yang diinginkan untuk diuji	Sistem berhasil menampilkan nomor bilah yang diinginkan untuk diuji	Diterima (Berjalan dengan baik)
3	User menginputkan jenis gender kantilan dari suara rekaman yang telah diinputkan	Meng-klik dropdown list lalu memilih jenis gender kantilan, yaitu pengumban g atau pengisep	Sistem menampilkan jenis gender kantilan yang diinginkan untuk diuji	Sistem berhasil menampilkan jenis gender kantilan yang diinginkan untuk diuji	Diterima (Berjalan dengan baik)
4	User melakukan	Meng-klik tombol “uji”	Sistem menampilkan	Sistem berhasil	Diterima (Berjalan

No	Skenario Pengujian	Test Case	Hasil yang Diharapkan	Hasil yang didapatkan	Keterangan
	pengujian terhadap input yang telah ditentukan pada tahap sebelumnya		n status keselarasan dari suara rekaman yang telah diinputkan terhadap dataset, toleransi batas atas dan toleransi batas bawah frekuensi harmoni yang dianggap selaras, dan menampilkan frekuensi harmoni suara rekaman yang diinputkan	menampilkan status keselarasan dari suara rekaman yang telah diinputkan terhadap dataset, toleransi batas atas dan toleransi batas bawah frekuensi harmoni yang dianggap selaras, dan menampilkan frekuensi harmoni suara rekaman yang diinputkan	dengan baik)

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

5.1. Simpulan

Dari hasil uji coba dan evaluasi penelitian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Proses sintesis suara gamelan gender dengan menggunakan metode *Double Frequency Modulation* telah berhasil dilakukan dengan menggunakan *input* berupa frekuensi pembawa, frekuensi pemodulasi pertama, frekuensi pemodulasi kedua dan sinyal pembungkus.
2. Perbandingan dari sinyal pembungkus, pemodulasi pertama dan pemodulasi kedua yang optimal untuk menghasilkan suara sintetis yang paling mendekati suara dataset dengan menggunakan metode sintesis *Double Frequency Modulation* adalah 1:1:6 dengan nilai rata-rata *delta* untuk gender pengumbang yaitu 0 Hz sampai dengan 1,75 Hz dan untuk gender pengisep yaitu 0,75 Hz sampai dengan 3,75 Hz.
3. Aplikasi penilaian keselarasan nada bilah gender telah berhasil dibangun dengan input berupa file audio salah satu bilah yang ingin diuji, nomor bilah patokan uji dan jenis gender patokan uji. Aplikasi penilaian keselarasan nada bilah gender telah dievaluasi dengan metode pengujian *blackbox* dengan seluruh kriteria uji telah berjalan dengan baik.

5.2. Saran

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut.

1. Untuk mendapatkan suara yang berkualitas baik atau memiliki noise relatif kecil, proses pengambilan dataset dapat dilakukan di studio musik
2. Untuk mendapatkan rentang frekuensi yang lebih akurat tiap bilahnya, dapat dilakukan penambahan jumlah dataset.
3. Pada aplikasi penilaian keselarasan nada bilah gender, dapat ditambahkan menu menambah dataset dengan proses sintesis agar aplikasi bersifat lebih dinamis.

DAFTAR PUSTAKA

- Adrien Vetterli, P. P. (2008). *Signal Processing For Communications*. Swiss: EPFL Press.
- Alberts, L.J.S.M. (2005) *Sound Reproduction Using Evolutionary Methods: A Comparison of FM Models*.
- Analog Devices, I. (2013). *The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing Moving Average Filters*.
- ANO14. (2008). *Understanding FFT Windows*.
- Aris Tjahyanto, Y. K. (2011). *Model Analysis-By-Synthesis Aplikasi Pembangkit Suara Gamelan Sintetik*. Yogyakarta: Seminar nasional Aplikasi Teknologi Informasi.
- Burk, P. (2004). *Direct Synthesis versus Wavetable Synthesis*. Mobileer.
- Chowning, J. M. (1973). *The Synthesis of Complex Audio Spectra by Means of Frequency Modulation*. Stanford Artificial Intelligence Laboratory, 522.
- Eko Rendra Saputra, A. P. (2006). *Analisa dan Sintesa Bunyi Dawai pada Gitar Semi-Akustik*. Seminar Nasional MIPA. Yogyakarta: FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta.
- Ellis, A. J. (1885). *On the Musical Scales of Various Nations*. The Journal of the Society of Arts, 485-527.
- Hasibuan, Z. A. (2007). *Metodologi Penelitian Pada Bidang Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi*. Universitas Indonesia.
- Jeremy F., J. S. (2002). *Time-Frequency Analysis of Musical Instruments**. Society for Industrial and Applied Mathematics, 457-472.
- Langton, C. (1999). *Signal Processing & Simulation Newsletter*.
- Ronald L. Allen, D. W. (2004). *Signal Analysis: Time, Frequency, Scale, and Structure*. Institute of Electrical and Electronics Engineers.
- Tan, dkk. (1994) *Real-Time Implementation of Double Frequency Modulation (DFM) Synthesis**. Department of Physics, National University of Singapore, Singapore 0511, Republic of Singapore.
- Technologies, A. (2000). *The Fundamental of Signal Analysis*. Agilent Technologies.
- Truax, B. (n.d.). *Tutorial for Frequency Modulation Synthesis*. Tersedia : <http://www.sfu.ca/~truax/fmtut.html> [6 November 2017].

Yudha Triguna, I. B. (1993). Peralatan Hiburan, dan kesenian Tradisional Daerah Bali. Denpasar: Departemen Pendidikan dan Kebudayaan.