



TESIS - TE142599

**PERBANDINGAN BERBAGAI WAKTU - FREKUENSI
MUSIK GONG TIMOR MENGGUNAKAN *SHORT
TIME FOURIER TRANSFORM* DAN *CONTINOUS
WAVELET TRANSFORM***

YOVINIA CARMENEJA HOAR SIKI

NRP 2213 206 003

DOSEN PEMBIMBING

Dr. Ir. Yoyon Kusnendar Suprpto, M.Sc.

PROGRAM MAGISTER

BIDANG KEAHLIAN TELEMATIKA

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2015



TESIS - TE142599

**COMPARISON OF DIFFERENT TIME-FREQUENCY MUSIC
GONG TIMOR USING SHORT TIME FOURIER
TRANSFORM AND CONTINUOUS WAVELET TRANSFORM**

YOVINIA CARMENEJA HOAR SIKI

NRP 2213 206 003

Supervisor :

Dr. Ir. Yoyon Kusnendar Suprpto, M.Sc.

MASTER PROGRAM

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING

FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2015

Tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (MT)
di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

oleh:
Yovina Carmencja Hoar Siki
NRP: 2213 206 003

Tanggal Ujian : 18 Juni 2015
Periode Wisuda : September 2015

Disetujui oleh :

- 
1. Dr. Ir. Yoyon K. Suprpto, M.Sc (Pembimbing)
NIP : 19540925 197803 1 001
- 
2. Dr. I Ketut Eddy Purnama, S.T., MT (Penguji 1)
NIP : 19690730 199512 1 001
- 
3. Dr. Adli Dherma Wibawa, S.T., MT (Penguji 2)
NIP : 19760505 200812 1 003
- 
4. Dr. Surya Sampena, S.T., M.Sc (Penguji 3)
NIP : 19690613 199702 1 003



PERBANDINGAN BERBAGAI WAKTU-FREKUENSI MUSIK GONG TIMOR MENGGUNAKAN SHORT TIME FOURIER TRANSFORM DAN CONTINUOUS WAVELET TRANSFORM

Nama mahasiswa : Yovinia Carmeneja Hoar Siki
NRP : 2213206003
Pembimbing : Dr. Ir. Yoyon K. Suprpto, M.Sc.

ABSTRAK

Analisis waktu – frekuensi pada musik Gong Timor memainkan peran penting dalam aplikasi pengolahan sinyal musik seperti *pitch tracking* dan transkripsi musik atau proses menotasikan sinyal musik. Keragaman karakter suara Gong dipengaruhi oleh banyak hal antara lain cara pembuatan peralatan yang kurang sempurna, cara pemukulan peralatan yang berdasar kira-kira, permainan musik Gong yang dimainkan secara bersamaan pada satu set Gong dan tempo yang berubah-ubah sesuai perasaan pemain. Sinyal musik Gong memiliki kriteria analisis suara yang lebih kompleks dibandingkan analisis peralatan musik barat. Pada penelitian ini, analisis waktu – frekuensi musik Gong dilakukan dengan melakukan perbandingan metode *short time fourier transform* (STFT), *overlap short time fourier transform* (OSTFT) dan *continuous wavelet transform* (CWT). Analisis waktu – frekuensi musik Gong pada metode STFT dan OSTFT dilakukan pada berbagai jendela dan ukuran *hop*. Pada metode CWT dilakukan pada morlet wavelet. Evaluasi kinerja menunjukkan proses deteksi perubahan dengan metode CWT lebih baik karena menghasilkan kesalahan 5.88 %. Penelitian ini terbatas dilakukan terhadap 1 instrument Gong.

Kata kunci : Sinyal musik Gong Timor, Analisis time - frekuensi, STFT, OSTFT, CWT

COMPARISON OF DIFFERENT TIME-FREQUENCY MUSIC GONG TIMOR USING SHORT TIME FOURIER TRANSFORM AND CONTINUOUS WAVELET TRANSFORM

By : Yovinia Carmeneja Hoar Siki
Student Number : 2213 206 003
Supervisor : Dr. Ir. Yoyon K. Suprpto, M.Sc.

ABSTRACT

Time-Frequency analysis on the music of Gong Timor has an important roles on application of signal music processing like pitch tracking and music transcription or signal music notation. Multiple character of Gong sound because of different ways to forge Gong itself , the ways to play the Gong by used senses of the player, using one set of Gong in the same time and the changes of tempo Gong music along with the feeling of the player. Signal music Gong has analysis sound criteria more complicated than analysis west musical instrument. In this research, Time-Frequency analysis music Gong by compared *short time fourier transform* (STFT), *overlap short time fourier transform* (OSTFT) dan *continuous wavelet transform* (CWT) methods. On STFT and OSTFT methods Time-Frequency analysis music Gong used with different window and hopsize. On CWT methods used morlet wavelet. Result of this research shows that the CWT method has better result than STFT method. In this research only using 1 instrument of Gong.

Keywords : Signal music Gong, Time-Frequency analysis, STFT, OSTFT, CWT.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur atas segala anugerah yang diberikan oleh Tuhan Yang Maha Esa di setiap waktu dalam penyelesaian tesis dengan judul **“Perbandingan Berbagai Waktu - Frekuensi Musik Gong Timor Menggunakan Short Time Fourier Transform Dan Continous Wavelet Transform”**.

Penelitian ini hanya merupakan langkah kecil penulis untuk terjun di dunia penelitian pengolahan sinyal musik tradisional khususnya alat musik Gong. Namun, penelitian ini memberikan banyak manfaat bagi penulis. Awalnya ketertarikan penulis melakukan penelitian ini adalah karena merasakan keindahan lagu-lagu pentatonik musik tradisional dan keprihatinan terhadap minimnya partitur musik tradisional Gong telah membawa penulis untuk berbagi ilmu dengan banyak pihak, yaitu semua dosen dan teman yang tidak dapat disebutkan satu-satu.

Terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Anda semua, terutama untuk Dosen Pembimbing Bapak Dr. Yoyon. Walau tidak ada kata-kata yang cukup berarti untuk menuliskan segala ucapan terima kasih penulis, tetapi semangat dan dukungan Anda semua benar-benar telah berhasil mengantarkan tesis ini, termasuk kedua orang tua dan semua keluarga penulis.

Akhir kata, semoga tesis ini juga bermanfaat bagi semua masyarakat, pengembangan keilmuan, dan pelestarian warisan budaya bangsa kita.

Surabaya, 18 Juni 2015

Penulis

DAFTAR ISI

Lembar Pengesahan	i
Pernyataan Keaslian	iii
Kata Pengantar	v
Abstrak	vi
Abstract	viii
Daftar Isi	x
Daftar Gambar	xii
Daftar Tabel	xiv
Bab 1. Pendahuluan.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Manfaat dan Kontribusi Penelitian.....	4
Bab 2. Tinjauan Pustaka dan Teori Dasar.....	5
2.1 Perkembangan Penelitian Alat Musik Tradisional	5
2.2 Gong Timor	6
2.2.1 Sejarah Gong Timor	6
2.2.2 Karakteristik Sinyal Gong Timor.....	7
2.2.3 Tangga Nada Gong Timor	10
2.2.1 Cent Musik Gong	12
2.3 Fourier Transform (FT)	14
2.3.2 Short Time Fourier Transform (STFT).....	14
2.3.3 Overlap Short Time Fourier Transform (OSTFT).....	15

2.4 Transform Wavelet	16
2.4.1 Continous Wavelet Transform (CWT)	17
2.4.1.1 Skala.....	18
2.4.1.2 Skala dan Frekuensi	18
2.4.1.3 CWT sebagai <i>Shifting</i>	19
2.4.1.1 CWT sebagai <i>Windowed Transform</i>	19
2.4.1.1 CWT sebagai Teknik <i>Filtering</i>	20
2.4.2 Morlet Wavelet	20
2.4 Band Pass Filter	22
Bab 3. Metodologi Penelitian.....	27
3.1 Pengumpulan Data Percobaan	27
3.1.1 Proses Perekaman Data	27
3.1.1.1 Karakteristik Mikrofon Behringer ECM8000	28
3.1.1.2 Tekhnik Perekaman Instrumen Gong	30
3.2 Desain Sistem Penelitian	30
3.3 Analisis Waktu - Frekuensi	28
3.2.1 Proses Short Time Fourier Transform (STFT)	33
3.2.2 Proses Overlap Short Time Fourier Transform (OSTFT).....	34
3.2.3 Proses Continous Wavelet Transform (CWT)	35
3.3 <i>Filtering</i> Sinyal Nada Gong	37
3.4 Analisis Waktu - Frekuensi Nada Gong.....	39
3.4.1 Ketelitian Metode STFT	40
3.4.2 Ketelitian Metode OSTFT	41
3.4.3 Ketelitian Metode CWT.....	41
3.4.1 Perbandingan Ketelitian Metode STFT dan OSTFT terhadap CWT.....	42

3.5 Evaluasi Kesalahan Hasil	43
Bab 4. Hasil Penelitian dan Pembahasan	45
4.1 Data Penelitian	45
4.2 Hasil Penelitian.....	45
4.2.1 Ketelitian Waktu - Frekuensi Musik Gong Menggunakan <i>Short Time</i> Fourier Transform (STFT)	46
4.2.1.1 Ketelitian Waktu - Frekuensi Nada Gong Tunggal Pada Metode STFT	47
4.2.1.2 Ketelitian Waktu - Frekuensi DuaNada Gong Pada Metode STFT	50
4.2.2 Ketelitian Waktu - Frekuensi Musik Gong Menggunakan <i>Short Time</i> Fourier Transform (STFT)	53
4.2.2.1 Ketelitian Waktu - Frekuensi Nada Gong Tunggal Pada Metode OSTFT	54
4.2.2.2 Ketelitian Waktu - Frekuensi DuaNada Gong Pada Metode STFT	57
4.2.3 Analisis Waktu - Frekuensi Musik Gong Menggunakan <i>Continuous</i> Wavelet Transform (STFT).....	60
4.2.3.1 Ketelitian Waktu - Frekuensi Nada Gong Tunggal Pada Metode CWT.....	60
4.2.3.2 Ketelitian Waktu - Frekuensi DuaNada Gong Pada Metode CWT.....	62
4.2.3 Perbandingan Analisis Waktu - Frekuensi Musik Gong Pada Metode STFT, OSTFT dan CWT	65

4.3 Evaluasi Ketelitian Hasil <i>Filtering</i>	66
4.4 Pengaruh Ketelitian Waktu - Frekuensi Terhadap Alat Musik	
Gong.....	69
Bab 5. Kesimpulan dan Saran	71
5.1 Kesimpulan.....	71
5.2 Saran	71
Daftar Pustaka	73

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Tangga Nada Gong dan Frekuensinya.....	10
Tabel 2.2 Tangga Nada Barat dan Frekuensinya	11
Tabel 2.3 Hubungan Tangga Nada Gong Dengan Musik Barat	11
Tabel 2.4 Harmonik Musik Barat	12
Tabel 2.5 Frekuensi Dasar Yang diharapkan Dari Setiap Musik Gong	13
Tabel 3.1 Tingkat Kepekaan Dan Sudut Respon Mikrofon Kondenser	29
Tabel 3.2 Frekuensi Dan Skala Pada Nada Gong Pada Tiga Instrumen Gong.....	38
Tabel 4.1 Data Penelitian.....	45
Tabel 4.2 Ketelitian Waktu - Frekuensi STFT.....	46
Tabel 4.3 Ketelitian Waktu - Frekuensi OSTFT.....	54
Tabel 4.4 Perbandingan Ketelitian Waktu CWT Terhadap STFT dan OSTFT.....	65
Tabel 4.5 Ketelitian Metode STFT Mempertahankan Nada Berdasarkan Hasil Filtering.....	66
Tabel 4.6 Ketelitian Metode OSTFT Mempertahankan Nada Berdasarkan Hasil Filtering.....	67
Tabel 4.7 Ketelitian Metode CWT Mempertahankan Nada Berdasarkan Hasil Filtering.....	68
Tabel 4.8 Perbandingan Ketelitian Metode STFT, OSTFT dan CWT Mempertahankan Nada Berdasarkan Hasil Filtering	68

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Alat Musik Gong Timor	1
Gambar 2.1 Beberapa Alat Musik Tradisional Dari Timor	6
Gambar 2.2 Musik Gong Perkusif	8
Gambar 2.3 Perbedaan Spektrum Sinyal Musik Gong Disebabkan Perbedaan Kekuatan Pukul	9
Gambar 2.4 Notasi Lagu Lean	9
Gambar 2.5 Notasi Lagu Kiko	10
Gambar 2.6 Notasi Lagu Otes	10
Gambar 2.7 Perbandingan Antara Suara Gong Pengamatan Dan Yang Diharapkan	13
Gambar 2.8 Ilustrasi Lokalisasi Waktu - Frekuensi Sinyal Pada STFT	15
Gambar 2.9 Ilustrasi Proses OSTFT	16
Gambar 2.10 Ilustrasi Transformasi Wavelet	17
Gambar 2.11 Perbandingan Skala pada Sinyal Sinus dan Wavelet	18
Gambar 2.12 Hubungan Skala dan Frekuensi	19
Gambar 2.13 Pergeseran Wavelet	19
Gambar 2.14 Resolusi Windowed wavelet Transform	20
Gambar 2.15 <i>Band Pass Filter</i> CWT	20
Gambar 2.16 Bentuk Morlet wavelet real dan imajiner	21
Gambar 2.17 Rangkaian <i>Band Pass Filter</i>	24
Gambar 2.18 Bentuk Sinyal Asli Musik Gamelan	24
Gambar 2.19 Bentuk Sinyal Hasil Pemfilteran Musik Gamelan	25
Gambar 3.1 Susunan Perangkat Pengambilan Data	28
Gambar 3.2 Karakteristik Mikrofon Kondenser	29

Gambar 3.3 Respon Frekuensi Mikrofon Kondenser <i>Behringer</i> ECM8000.....	30
Gambar 3.4 Blok Diagram Sistem	31
Gambar 3.5 Ilustrasi Pembuatan Data Semi Sintetik Gong	32
Gambar 3.6 Ilustrasi Proses STFT	33
Gambar 3.7 Ilustrasi Proses OSTFT	35
Gambar 3.8 Ilustrasi Proses CWT.....	40
Gambar 3.9 Jalur Notasi Nada Do Berdasarkan Skala	39
Gambar 4.1 Bentuk Sinyal Nada Do Dari Alat Musik Gong.....	47
Gambar 4.2 Spektogram Hasil STFT Pada Panjang Jendela 8000 dari sinyal Gong Untuk Nada Do.....	48
Gambar 4.3 Spektogram Hasil STFT Pada Panjang Jendela 16000 dari sinyal Gong Untuk Nada Do.....	48
Gambar 4.4 Spektogram Hasil STFT Pada Panjang Jendela 24000 dari sinyal Gong Untuk Nada Do.....	48
Gambar 4.5 Hasil <i>Filtering</i> STFT Pada Panjang Jendela 8000 dari sinyal Gong Untuk Nada Do	49
Gambar 4.6 Hasil <i>Filtering</i> STFT Pada Panjang Jendela 16000 dari sinyal Gong Untuk Nada Do	48
Gambar 4.7 Hasil <i>Filtering</i> STFT Pada Panjang Jendela 24000 dari sinyal Gong Untuk Nada Do.....	50
Gambar 4.8 Bentuk Sinyal Semi Sintetik Gong Nada Mi Do.....	50
Gambar 4.9 Spektogram Hasil STFT Pada Panjang Jendela 8000 dari sinyal Gong Untuk Nada Mi Do	51
Gambar 4.10 Spektogram Hasil STFT Pada Panjang Jendela 16000 dari sinyal Gong Untuk Nada Mi Do	51

Gambar 4.11 Spektogram Hasil STFT Pada Panjang Jendela 24000 dari sinyal Gong Untuk Nada Mi Do.....	51
Gambar 4.12 Hasil <i>Filtering</i> STFT Pada Panjang Jendela 8000 dari sinyal Gong Untuk Nada Mi Do.....	52
Gambar 4.13 Hasil <i>Filtering</i> STFT Pada Panjang Jendela 16000 dari sinyal Gong Untuk Nada Mi Do.....	53
Gambar 4.14 Hasil <i>Filtering</i> STFT Pada Panjang Jendela 24000 dari sinyal Gong Untuk Nada Mi Do.....	53
Gambar 4.15 Spektogram Hasil OSTFT Pada Panjang Jendela 8000 dari sinyal Gong Untuk Nada Do.....	54
Gambar 4.16 Spektogram Hasil OSTFT Pada Panjang Jendela 16000 dari sinyal Gong Untuk Nada Do.....	55
Gambar 4.17 Spektogram Hasil OSTFT Pada Panjang Jendela 24000 dari sinyal Gong Untuk Nada Do.....	55
Gambar 4.18 Hasil <i>Filtering</i> OSTFT Pada Panjang Jendela 8000 dari sinyal Gong Untuk Nada Do.....	56
Gambar 4.19 Hasil <i>Filtering</i> OSTFT Pada Panjang Jendela 16000 dari sinyal Gong Untuk Nada Do.....	56
Gambar 4.20 Hasil <i>Filtering</i> OSTFT Pada Panjang Jendela 24000 dari sinyal Gong Untuk Nada Do.....	56
Gambar 4.21 Bentuk Sinyal Semi Sintetik Gong Nada Mi Do.....	57
Gambar 4.22 Spektogram Hasil OSTFT Pada Panjang Jendela 8000 dari sinyal Gong Untuk Nada Mi Do.....	57

Gambar 4.23 Spektogram Hasil OSTFT Pada Panjang Jendela 16000 dari sinyal Gong Untuk Nada Mi Do	58
Gambar 4.24 Spektogram Hasil OSTFT Pada Panjang Jendela 24000 dari sinyal Gong Untuk Nada Mi Do	58
Gambar 4.25 Hasil <i>Filtering</i> OSTFT Pada Panjang Jendela 8000 dari sinyal Gong Untuk Nada Mi Do	59
Gambar 4.26 Hasil <i>Filtering</i> OSTFT Pada Panjang Jendela 16000 dari sinyal Gong Untuk Nada Mi Do	59
Gambar 4.27 Hasil <i>Filtering</i> OSTFT Pada Panjang Jendela 24000 dari sinyal Gong Untuk Nada Mi Do	59
Gambar 4.28 Skalogram Tiga Dimensi Nada Tunggal	61
Gambar 4.29 Hasil <i>Filtering</i> Nada Tunggal Pada Metode CWT	61
Gambar 4.30 Bentuk Sinyal Semi Sintetik Gong Nada Mi Do.....	62
Gambar 4.31 Skalogram Tiga Dimensi Nada Mi Do.....	62
Gambar 4.32 Hasil <i>Filtering</i> Nada Mi do Pada Metode CWT	63
Gambar 4.33 Skalogram Skala - Waktu Nada Gong Mi Do.....	61
Gambar 4.29 Skalogram Frekuensi - Waktu Nada Gong Mi Do	61
Gambar 4.30 Kerapatan Pukulan Pada Instrumen Gong	69

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Gong merupakan salah satu alat musik tradisional Indonesia yang digunakan oleh masyarakat di Nusa Tenggara Timur (NTT). Gong pada umumnya sudah dikenal di Asia Tenggara dan Asia Timur. Di NTT, Gong yang digunakan di suatu daerah berbeda dengan daerah yang lain. Perbedaannya terletak pada jumlah gong pada 1 instrumen Gong, ukuran, cara memainkan, serta penglaras Gong (Musik daerah NTT, 2014). Umumnya penglaras instrumen Gong berkisar pada pentatonik pelog yang bernotasi do, re, mi, sol dan la. Penglaras yang dimiliki alat musik umum lainnya yang bernotasi diatonik terdiri dari nada do, re, mi, fa, sol, la, si dan do'. Proses pembuatan Gong dilakukan secara manual yaitu ditempa. Proses ini menyebabkan frekuensi nada Gong dikenakan secara bebas. Dengan demikian Gong memiliki nada secara bebas dalam hal resonansi, warna nada dan amplitudo. Beberapa perbedaan ini menjadikan perkembangan musik timur menjadi tertinggal sehingga diperlukan penelitian yang dapat mendorong perkembangan musik timur (Suprpto, 2011).



Gambar 1.1 Alat musik Gong

Sejauh ini di Indonesia, perkembangan penelitian terhadap alat musik tradisional telah dilakukan terhadap kelompok instrumen gamelan. Dalam sebuah penelitian ekstraksi sinyal musik gamelan menyebutkan adanya keragaman frekuensi antara kelompok gamelan yang satu dengan yang lainnya (Suprpto, 2011). Hal ini mendorong peneliti melakukan penelitian terhadap alat musik Gong untuk mengetahui keragamannya.

Sebagai penelitian awal, maka pada penelitian ini dilakukan analisis waktu-frekuensi terhadap sinyal musik Gong. Penelitian ini menggunakan instrumen Gong yang berasal dari kabupaten Timor Tengah Utara (TTU) di daerah Bikomi Utara. Di daerah ini instrumen Gong digunakan dalam mengiringi tarian Gong. Tarian Gong ditarikan untuk penjemputan tamu dan perayaan adat lain yang bernuansa bahagia. Notasi lagu yang dimainkan dalam mengiringi tarian Gong berupa gubahan dari beberapa lagu daerah dan dimainkan berdasarkan kira – kira dari perasaan pemainnya. Permainan alat musik Gong dilakukan oleh tiga orang pada satu set Gong dan dimainkan perkusif dengan gendang dalam mengiringi tarian Gong. Tempo lagu permainan instrumen Gong sangat cepat sehingga jarak antara nada yang satu dengan yang lainnya berdekatan. Selain itu penari dalam tarian Gong mengenakan kerinci sebagai aksesoris yang menambah bunyi dalam suatu permainan alat musik Gong (Nara sumber : Martinus Taeki).

Analisis waktu – frekuensi sinyal musik merupakan suatu metode untuk mengkrakterisasi sinyal musik berdasarkan waktu dan frekuensi yang dimiliki sinyal musik tersebut. Suara musik menempati band frekuensi yang lebih luas sehingga memiliki waktu yang bervariasi. Variasi waktu ini membutuhkan metode analisis waktu – frekuensi yang lebih tepat.

Analisis waktu-frekuensi pada sinyal musik sangat berperanan penting untuk pengembangan aplikasi pengolahan sinyal musik lainnya seperti deteksi puncak nada, deteksi pukulan atau tempo nada dan pelacakan nada atau yang disebut dengan transkripsi (Muller, 2011). Perbandingan waktu-frekuensi yang lebih presisi dibutuhkan dalam mengatasi kerapatan tempo pukulan dan

amplitudo yang pendek pada instrumen Gong. Dengan demikian perkembangan penelitian terhadap alat musik Gong dapat dikembangkan.

Metode *short time fourier transform* (STFT) dan *continuous wavelet transform* (CWT) digunakan untuk menampilkan sinyal musik Gong dalam domain waktu-frekuensi pada penelitian ini. Sinyal waktu-frekuensi direpresentasikan melalui spektrogram pada proses STFT dan pada proses CWT direpresentasikan melalui *scalogram*. Perbedaannya adalah proses STFT merepresentasikan sinyal waktu-frekuensi berdasarkan ukuran jendela yang dipilih sehingga frekuensi pada jendela tersebut akan sama untuk semua waktu (Yosefine, 2012). Sedangkan proses CWT menggunakan sebuah fungsi basis *mother wavelet* sebagai jendela yang sekaligus berfungsi sebagai *filter* (Paradzinets, 2004). Sehingga frekuensi yang dihasilkan fleksibel terhadap waktu dan frekuensi.

Target yang dituju dalam penelitian ini adalah mendapatkan berbagai representasi waktu-frekuensi nada Gong yang agar dapat digunakan pada pengembangan aplikasi pengolahan sinyal musik Gong lainnya. Selain itu, dapat dibandingkan kinerja metode yang digunakan untuk pengembangan penelitian selanjutnya baik menggunakan metode yang penulis gunakan atau metode yang berbeda. Nada Gong yang digunakan merupakan data rekaman dua nada Gong yang dipilih sembarang.

Evaluasi kinerja metode ekstraksi sinyal dihitung menggunakan parameter *note error rate* (NER) untuk mengetahui ketelitian metode dalam menampilkan representasi waktu - frekuensi sinyal asli dengan hasil analisis setelah dilakukan pemisahan nada. Sebuah hasil analisis akan dikatakan benar jika menghasilkan NER yang kecil.

1.2 Perumusan Masalah

Salah satu musik tradisional di Indonesia adalah Gong timor yang berasal dari Nusa Tenggara Timur. Umumnya alat musik tradisional berbeda dengan alat musik barat karena alat musik barat sudah komplit baik dalam hal pembuatan alat musik maupun bentuk notasi musik. Hal ini menyebabkan penelitian

terhadap alat musik tradisional khususnya Gong timor belum pernah dilakukan dibandingkan alat musik barat sehingga penelitian terhadap alat musik tradisional Gong menjadi tertinggal. Oleh karena itu pustaka atau panduan untuk melakukan penelitian terhadap alat musik Gong belum ada. Berdasarkan permasalahan diatas, maka dibutuhkan proses mempelajari sinyal dalam domain waktu dan frekuensi secara bersamaan menggunakan berbagai representasi frekuensi waktu, sehingga diperoleh ketelitian sinyal yang lebih presisi agar dapat digunakan untuk membedakan dua nada Gong atau lebih yang dimainkan secara acak dari alat musik Gong sehingga dapat digunakan sebagai acuan untuk melakukan penelitian terhadap alat musik Gong.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan ketelitian waktu – frekuensi yang lebih presisi dari dua nada Gong menggunakan metode *short time fourier transform* (STFT), *overlap short time fourier transform* (OSTFT) dan *continous wavelet transform* (CWT) dalam merepresentasikan sinyal nada Gong dengan melakukan analisis perbandingan waktu - frekuensi melalui pemisahan dua nada Gong.

1.4 Manfaat dan Kontribusi Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah analisis waktu – frekuensi musik Gong dapat digunakan untuk mendeteksi perubahan waktu pada deteksi onset. Karena, untuk dapat melakukan deteksi onset pada sebuah instrumen musik dibutuhkan sinyal waktu yang teliti. Selain itu, analisis waktu – frekuensi juga dapat bermanfaat bagi transkripsi musik sehingga dapat membantu para pemain pemula untuk belajar bagaimana memainkan peralatan Gong.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA DAN TEORI DASAR

2.1 Perkembangan Penelitian Alat musik Tradisional

Pengolahan sinyal musik sudah bukan hal yang baru lagi di era serba teknologi ini. Sebuah sinyal musik dapat diolah menggunakan suatu operasi yang dirancang untuk meng-ekstrak, meningkatkan, menyimpan dan mengirimkan informasi yang bermanfaat. Metode pengolahan sinyal yang digunakan pun beragam. Tergantung pada hasil yang ingin dicapai, misalnya untuk deteksi onset, transkripsi, pemisahan sinyal musik, dan sebagainya.

Pada alat musik barat, umumnya sudah banyak dilakukan penelitian karena alat musik barat memiliki frekuensi, warna nada, amplitudo dan atau resonansi yang sama (Suprpto, 2011). Ini dikarenakan pembuatan alat musik barat sudah menggunakan teknologi modern. Berbeda dengan alat musik timur yang dikenal sebagai alat musik tradisional yang perkembangan penelitiannya terhambat dan kurang diminati. Selain karena pembuatannya yang manual alat musik timur pun sulit dimainkan karena notasi musik yang berdasarkan kira – kira atau tidak adanya notasi tetap yang dimainkan. Inspirasi penciptaannya pun berdasarkan atas budaya dan adat istiadat dari suatu daerah tertentu.

Perkembangan penelitian alat musik tradisional di Indonesia telah dilakukan untuk alat musik gamelan seperti *adaptive cross correlation* (ACC) untuk transkripsi otomatis Gamelan (Suprpto, 2011), *hidden markov model* untuk deteksi onset (Yosefine, 2012), analisis waktu-frekuensi untuk transkripsi Saron menggunakan metode *short time fourier transform* (STFT) (Wulandari, 2009), *Continous wavelet transform* (CWT) untuk analisis waktu – frekuensi (Tjahyanto, 2013), sudah dikembangkan terhadap alat musik gamelan. Penelitian – penelitian terhadap alat musik gamelan menjadi titik awal perkembangan alat musik tradisional. Dengan demikian penelitian untuk alat musik tradisional gamelan dapat digunakan untuk penelitian alat musik tradisional lainnya.

2.2 Gong Timor

2.2.1 Sejarah Gong Timor

Alat musik tradisional di pulau Timor sudah dikenal sejak jaman purba. Jaman dahulu masyarakat pulau Timor menggunakan kayu, kulit binatang dan usus binatang sebagai bahan utama untuk pembuatan alat musik. Mulai dari alat musik kayu yang dimainkan dengan cara dipukul yang disebut 'sene' dan 'likurai', alat musik tiup seperti 'knobe kabetas', dan 'feku', alat musik gesek seperti 'heo' dan alat musik petik seperti 'juk' atau 'bijol' (Martinus, 2015). Bentuk alat – alat musik tradisional di daerah Timor ditunjukkan pada gambar 2.1.



Heo



Feko



Bijol



Knobe
kabetas



Likurai

Gambar 2.1 Beberapa alat musik tradisional dari daerah Timor

Dari beberapa alat musik yang telah disebutkan di atas Gong merupakan alat musik pukul yang disebut sebagai 'sene'. Pada jaman itu Gong terbuat dari kayu dengan panjang kira – kira 30 cm. Tebal dan lebar ukuran Gong kayu ini bervariasi sesuai dengan nada yang diinginkan. Jenis kayu yang digunakan adalah kayu *bat'-bata* (dalam bahasa daerah Timor). Jumlah alat

musiknya ada lima yang dikenal sebagai notasi pentatonik pelog yang bernotasi do, re, mi, sol dan la. Permainan alat musik Gong kayu ini dimainkan oleh tiga orang secara bersamaan. Cara memainkannya adalah dipukul menggunakan kayu lain yang sejenis dengan ukuran yang lebih kecil. Alat musik yang dimainkan diletakkan di masing – masing pangkuan pemainnya. Satu orang memainkan nada la (dalam bahasa Timor disebut ‘tonu mese’), satu orang lagi memainkan nada mi dan sol (dalam bahasa Timor disebut ‘ote) dan yang seorangnya lagi memainkan nada do dan re (dalam bahasa Timor disebut ‘kbola’).

Seiring berjalannya waktu tibalah saatnya pada jaman penjajahan Belanda. Kedatangan Belanda membawa pengaruh terhadap cara pembuatan alat musik Gong. Alat musik Gong yang sebelumnya terbuat dari kayu diganti dengan alat musik yang terbuat dari campuran perak dan kuningan. Dalam proses pembuatannya kadar perak lebih dominan dibandingkan kuningan. Hal ini memberi keuntungan karena alat musik Gong yang baru usia pemakaiannya lebih lama dibandingkan dengan kayu.

2.2.2 Karakter Sinyal Gong Timor

Instrumen Gong dimainkan dengan cara dipukul menggunakan kayu oleh tiga orang secara bersamaan. Permainan Gong dimainkan perkusif dengan gendang sebagai peredam sehingga bunyi Gong tidak terlalu nyaring. Permainan perkusif dilakukan seperti dalam permainan orkestra dimana alat musik yang dimainkan terdiri dari satu set Gong dan satu gendang untuk mengiringi penari menarikan tarian Gong. Namun, dalam satu perkusif Gong belum pernah dimainkan beberapa set Gong secara bersamaan. Dalam menarikan tarian Gong, semua penari dilengkapi dengan sepasang aksesoris kerinci di kakinya. Sehingga semakin banyak jumlah penari semakin banyak jumlah suara musik yang dihasilkan dalam suatu permainan Gong. Jumlah penari dalam menarikan tarian Gong tidak dibatasi. Secara umum orkestra musik Gong ditunjukkan seperti pada gambar 2.2.

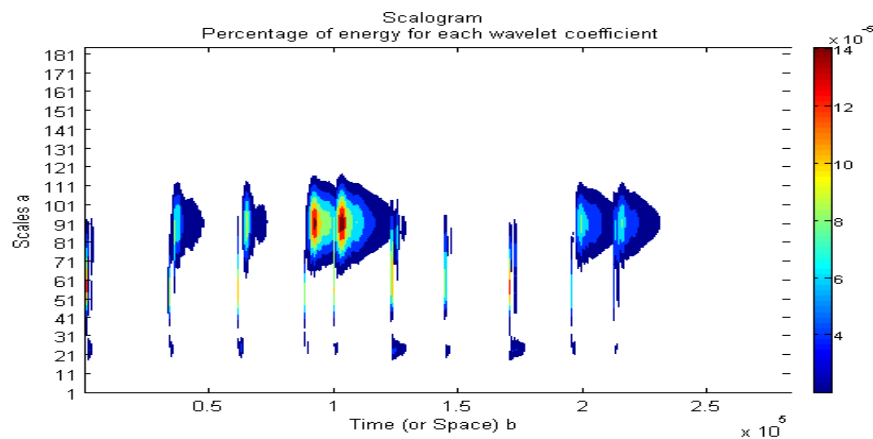


Gambar 2.2 Musik Gong Perkusif

Pada gambar 2.2 terlihat alat musik Gong terdiri dari lima buah gong yang menunjukkan jumlah notasi instrumen Gong yaitu do, re, mi, sol dan la. Lima notasi tersebut dibagi dalam tiga bagian yaitu ‘tonu mese’ merupakan satu gong kecil sebagai sopran bernada la. ‘Ote’ merupakan dua buah gong sedang sebagai tenor untuk melodis dengan gong yang berada di bagian atas bernada mi dan gong yang berada di bagian bawah bernada sol. Sedangkan ‘kbola’ merupakan dua buah gong besar yang berfungsi sebagai bas dengan gong yang berada di bagian atas bernada do dan gong yang berada di bagian bawah bernada re. Notasi nada Gong tidak memiliki nada rendah dan nada tinggi.

Frekuensi nada dasar setiap set Gong berada dalam satu oktaf. Oktaf yang lain ditempati oleh Gong set lain yang berbeda diameter, bisa lebih kecil atau lebih besar. Perbedaan oktaf ini disebabkan karena ukuran set Gong yang berbeda - beda dan pencampuran material. Bila ditelaah dari cara pembuatannya, pencampuran bahan dasar pembuatan alat musik Gong terdiri dari perak dan kuningan yang ukurannya berdasarkan kira – kira sehingga menyebabkan

keragaman spektrum sinyal yang dihasilkan. Selain itu, perbedaan spektrum Gong juga disebabkan oleh perbedaan kekuatan memukul peralatan Gong. Gambar 2.3 menunjukkan perbedaan spektrum dari sinyal musik Gong.



Gambar 2.3 Perbedaan spektrum sinyal musik Gong disebabkan perbedaan kekuatan pukul

Dalam mengiring tarian Gong, alat musik Gong tidak memiliki notasi yang tetap. Notasi lagu yang dimainkan hanya berdasarkan perasaan pemain dengan nada yang dimainkan secara berulang – ulang. Notasi ini merupakan gubahan atau aransemen dari beberapa notasi lagu daerah. Irama musik yang dimainkan adalah irama musik jenis mars, rumba dan samba. Adapun notasi – notasi musik asli sebelum diaransemen untuk digunakan dalam mengiringi tarian Gong ditunjukkan seperti pada gambar 2.4, 2.5 dan 2.6.

$\overline{6\ 5} \ \overline{6\ 5} / 3 \ \overline{3\ 3} / 5 \ \overline{5\ 5} / 3 \ \overline{3\ 3} / 5 \ \overline{5\ 5} /$
 $3 \ . / 1 \ \overline{1\ 1} / 2 \ \overline{2\ 2} / 1 \ \overline{1\ 1} / 2 \ \overline{2\ 2} / 1 .$

Gambar 2.4 Notasi lagu lean

6 $\overline{6\ 6 / 5\ 5}$ $\overline{5\ 5 / 6\ 6}$ $\overline{5\ 5 / 5\ 5}$ $\overline{3\ 3 / 3\ 3}$ $\overline{6\ 6 /}$
 $\overline{5\ 5}$ $\overline{5\ 5 / 2}$ $\overline{2\ 2 / 2\ 2}$ $1 / \overline{1\ 1}$ $\overline{2\ 2 / 2\ 1}$ $\overline{1\ 1}$

Gambar 2.5 Notasi lagu kiko

6 $\overline{6\ 6 / 6\ 6}$ $\overline{3\ 3 / 6\ 6}$ $\overline{3\ 3 / 5}$ $\overline{5\ 5 / 5\ 5}$ $\overline{5\ 5 /}$
1 $\overline{1\ 1 / 1\ 1}$ $\overline{2\ 2 / 1}$ $\overline{1\ 1 / 1\ 1}$ $2 / \overline{2\ 1}$ $\overline{1\ 1}$

Gambar 2.6 Notasi lagu otes

Lagu ‘lean’ bertempo cepat sedangkan lagu ‘otes’ dan ‘kiko’ bertempo sedang. Namun dalam mengiringi tarian tempo lagu dimainkan dengan tempo cepat karena dalam tarian Gong permainan gendang dan penari tidak dapat melakukannya dengan tempo lambat. Tempo lambat menjadikan ketidakserasian bunyi Gong, gendang dan kerinci atau tidak memberikan perasaan seni.

2.2.3 Tangga Nada Gong Timor

Nada dasar instrumen Gong merupakan nada dasar pelog yang terdiri dari lima tingkatan notasi yaitu nada do, re, mi, sol dan la. Nada dasar ini memiliki frekuensi nada dasar yang mengikuti frekuensi nada dasar barat. Berdasarkan hasil pengamatan menggunakan *fast fourier transform* frekuensi dasar nada Gong ditunjukkan pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Tangga Nada Gong dan Frekuensinya

Notasi	Frekuensi (Hz)
Do	450
Re	528
Mi	549
Sol	650
La	756

Untuk membandingkan perbedaan frekuensi notasi Gong dan frekuensi notasi barat berikut ditunjukkan tabel frekuensi dasar notasi musik barat pada tabel 2.2

Tabel 2.2 Tangga Nada Barat Dan frekuensinya

Notasi	Frekuensi (Hz)	Notasi	Frekuensi (Hz)
A	220.00	A'	440.00
A#	233.08	A#'	466.16
B	246.94	B'	493.88
C	261.63	C'	523.25
C#	277.18	C#'	554.37
D	293.66	D'	587.32
D#	311.13	D#'	622.25
E	329.62	E'	659.24
F	349.22	F'	698.44
F#	369.99	F#'	739.98
G	415.30	G'	830.60

Hubungan nada musik Gong dengan nada musik barat ditunjukkan pada tabel 2.3.

Tabel 2.3 Hubungan Nada Gong dengan Musik Barat

Notasi Gong	Frekuensi (Hz)	Notasi musik barat
Do	450	B'
Re	528	C
Mi	549	C #'
Sol	650	E'
La	756	F #'

2.2.4 Cent Musik Gong

Sinyal musik memiliki dua satuan yang biasanya dipakai dalam mengukur jarak antar notasi yaitu hertz dan cent musik (Suprpto, 2011). Cent musik pada alat musik diartikan sebagai kenaikan interval nada dalam satu oktaf. Pada nada diatonis kenaikan interval nada dalam satu oktaf memiliki rasio 1 : 2, faktornya dua kali dan jarak cent musiknya adalah 1200 cent. Artinya dalam satu oktaf jarak cent antar notasi adalah 100 karena jumlah nada dalam satu tangga nada diatonis adalah dua belas nada.

Tangga nada diatonik pada musik barat merupakan musik harmonik. Dalam musik harmonik dijumpai beberapa istilah seperti oktaf, *fifth*, dll. Istilah ini merujuk pada jumlah notasi dalam satu alat musik.

Tabel 2.4 Harmonik Musik Barat

Istilah	Rasio	Faktor	Cents
Oktaf	1 : 2	2.0 X	1200
Fifth	2 : 3	1.5 X	702
Fourth	3 : 4	1.33 X	498
Max 3 rd	4 : 5	1.25 X	386
Min 3 rd	5 : 6	1.2 X	316

Jarak antar cent musik yang satu dengan cent musik yang lain dihitung menggunakan persamaan (2.1).

$$c = 1200 \log \frac{b}{a} \quad (2.1)$$

Keterangan : b adalah frekuensi dasar nada ke b dan ke a .

Jika nada adalah frekuensi nada a diketahui maka untuk mencari frekuensi nada b digunakan rumus (2.2).

$$b = a \times 2^{\frac{n}{1200}} \quad (2.2)$$

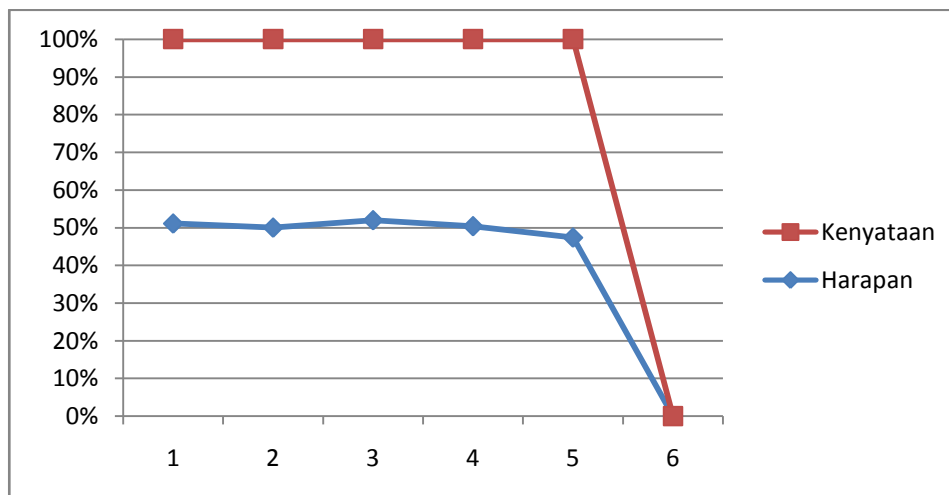
Keterangan : n adalah jarak cent antar notasi.

Dalam cent musik diperoleh ekspektasi frekuensi nada pada instrumen musik Gong dengan menggunakan persamaan (2.2) .

Tabel 2.5 Frekuensi dasar yang diharapkan dari setiap notasi musik Gong

Notasi	Frekuensi Kenyataan (Hz)	Frekuensi yang diharapkan (Hz)	Cents
Do	450	470	100
Re	528	528	100
Mi	549	594	100
Sol	650	660	100
La	756	680	100

Dengan demikian maka nada dasar instrumen Gong ini adalah B = do. Perbandingan frekuensi dasar antara nada pengamatan dan nada yang diharapkan pada musik Gong ditunjukkan pada gambar 2.7.



Gambar 2.7 Perbandingan antara suara Gong pengamatan dan yang Diharapkan

2.3 *Fourier Transform (FT)*

Fourier transform merupakan metode yang dapat mengubah sinyal dari domain waktu ke domain frekuensi. Dalam transformasi sinyal audio khususnya musik transformasi *fourier* cocok digunakan untuk transformasi per nada. Secara matematis transformasi *fourier* ditunjukkan pada persamaan (2.3) yang diberikan oleh Euler.

$$X(t) = c_0 + \sum\{c_n e^{i2\pi nt/\Omega} + c_{-n} e^{-i2\pi nt/\Omega}\} \quad (2.3)$$

$$c_n = \frac{1}{\Omega} \int_0^{\Omega} X(t) e^{-i2\pi nt/\Omega} dt, n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (2.4)$$

Jika dalam bentuk digital transformasi *fourier* diberikan oleh persamaan (2.5).

$$c_n \approx \frac{1}{\Omega} \sum_{k=0}^{N-1} X(t) e^{-i2\pi nt/\Omega} \Delta t = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X(t) e^{-i2\pi nt/N} \quad (2.5)$$

Keterangan : C_n disebut sebagai *diskrit fourier transform (DFT)* dari $X(t_k)$.

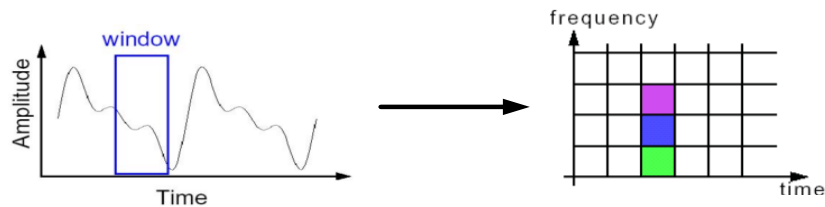
2.3.1 *Shorttime Time Fourier Transform (STFT)*

Short-Time Fourier Transform (STFT) merupakan teknik representasi sinyal yang sering dipakai dalam pengolahan sinyal audio untuk mendeskripsikan perubahan energi pada domain waktu dan frekuensi (Muller, 2011). Proses STFT merupakan penerapan *Discrete Fourier Transform (DFT)* yang dilakukan secara berurutan pada sinyal audio diskrit. Sedangkan DFT sendiri berfungsi untuk mendapatkan komponen-komponen frekuensi dari sebuah sinyal diskrit.

$$X(k) = \sum_{m=1}^N x(m) e^{-\frac{j2\pi mk}{N}} \quad (2.6)$$

dimana $X(k)$ merupakan hasil DFT sinyal masukan x pada *bin* frekuensi ke- k dengan panjang jendela transformasi Fourier N .

Langkah awal proses STFT adalah membagi sinyal audio menjadi beberapa *frame* waktu dengan panjang satu *frame* sama dengan panjang jendela N . Kemudian pada tiap *frame* tersebut, dilakukan proses DFT sehingga didapat spektrum x yang berubah terhadap waktu dan dihasilkan sinyal STFT $X(n,k)$.



Gambar 2.8 Ilustrasi lokalisasi waktu – frekuensi sinyal pada STFT

2.3.2 *Overlap Short Time Fourier Transform (OSTFT)*

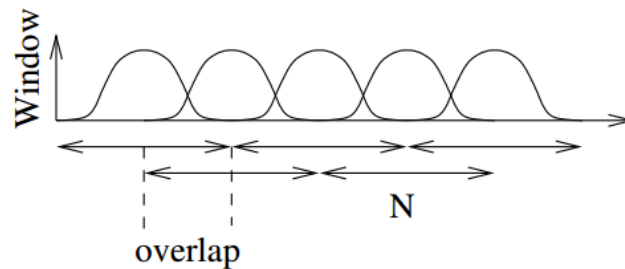
Overlap Short Time Fourier Transform (OSTFT) merupakan teknik transformasi sinyal yang dikembangkan dari metode STFT yang menghasilkan sinyal dalam domain waktu – frekuensi dengan sampling waktu yang lebih rapat. Perbedaannya adalah agar memperoleh hasil perubahan spektrum yang lebih halus proses OSTFT memanfaatkan *hop size* (Muller, 2011). *Hop size* merupakan pengaturan jarak waktu proses *frame* awal dan *frame* berikutnya pada teknik pembagian sinyal agar *frame-frame* tersebut saling *overlap* satu sama lain dengan ukuran $h < N$.

$$X(n, k) = \sum_{m=-\frac{N}{2}}^{\frac{N}{2}-1} x(hn + m) e^{-\frac{j2\pi mk}{N}} \quad (2.7)$$

$X(n, k)$ merupakan hasil STFT sinyal masukan x untuk *frame* ke- n pada *bin* frekuensi ke- k .

Penggunaan OSTFT juga memungkinkan terjaganya perubahan temporal sinyal sehingga adanya perubahan mendadak pada spektrum sinyal yang masih dapat terdeteksi. Dengan demikian, resolusi waktu hasil OSTFT menjadi lebih baik. Cara ini cocok untuk digunakan pada pengamatan sinyal suara akustik

seperti rekaman *real music*, karena spektrum akustik berubah dari waktu ke waktu.



Gambar 2.9 Ilustrasi proses OSTFT

2.4 Transformasi Wavelet

Wavelet merupakan sebuah gelombang kecil yang dikemukakan oleh Morlet dan Grosman pada awal tahun 1980. Transformasi wavelet merupakan suatu transformasi linear yang menyediakan cara menganalisis bentuk gelombang terbatas baik frekuensi dan durasi serta memungkinkan sinyal untuk disimpan dengan lebih efisien daripada transformasi fourier. Dengan transformasi wavelet sinyal nyata atau real dapat diperkirakan dengan lebih baik. Transformasi wavelet cocok untuk aproksimasi data dengan diskontinuitas tajam karena transformasi wavelet memperhatikan fitur yang kasar dengan *window* besar dan memperhatikan fitur kecil dengan *window* kecil. Sehingga transformasi wavelet disebut juga sebagai analisis multi resolusi (AMR).

Analisis multiresolusi dilakukan pada sinyal dengan frekuensi yang berbeda dan resolusi waktu yang berbeda pula. Dengan demikian transformasi wavelet memberikan resolusi waktu yang baik dan resolusi frekuensi yang kurang baik pada frekuensi tinggi, serta resolusi waktu yang buruk dan frekuensi yang baik pada frekuensi rendah dari suatu sinyal. Hal ini dapat mengatasi masalah resolusi waktu yang singkat pada transformasi Fourier. Resolusi frekuensi yang baik dan resolusi waktu yang buruk pada frekuensi rendah lebih cocok untuk durasi sinyal yang pendek dengan frekuensi yang lebih tinggi dan durasi yang lebih lama dari komponen frekuensi yang lebih rendah.

Analisis wavelet juga merupakan sebuah teknik penjendelaan. Dimana transformasi wavelet menyediakan band frekuensi pada interval waktu yang panjang. Prinsipnya transformasi *wavelet* membagi sinyal menjadi beberapa kelompok sinyal dan merepresentasikan sinyal menjadi sama sesuai dengan band frekuensi pada masing-masing skala.

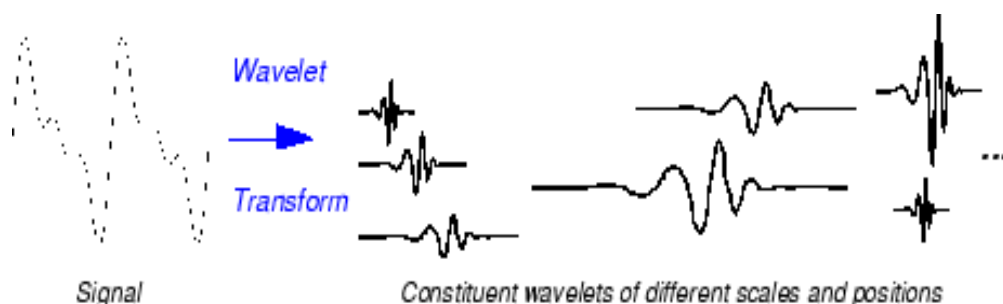
Transformasi *wavelet* terdiri atas Transformasi Wavelet Kontinu atau *Continuous Wavelet Transform (CWT)* dan Transformasi *Wavelet* Diskret atau DWT. Perhitungan skala dan pergeseran dalam CWT dapat dilakukan secara kontinu, sedangkan DWT hanya dilakukan pada sekelompok skala tertentu.

2.4.1 *Continous Wavelet Transform (CWT)*

CWT merupakan teknik pemrosesan sinyal yang memanfaatkan *mother wavelet* sebagai *bandpass* filter (Peter, 1977). Teknik CWT dikenal juga sebagai teknik yang diperkenalkan untuk mengatasi kelemahan STFT dengan menghilangkan jendela dalam melakukan proses transformasi (Polikar,1996). Umumnya, pada transformasi CWT menghasilkan koefisien yang mewakili representasi energi atau frekuensi. Dengan sebuah *mother wavelet* g , proses CWT dilakukan menggunakan persamaan (2.8).

$$W_{a,b}[f](\tau, s) = \int_R f(t) \frac{1}{\sqrt{s}} g\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \quad (2.8)$$

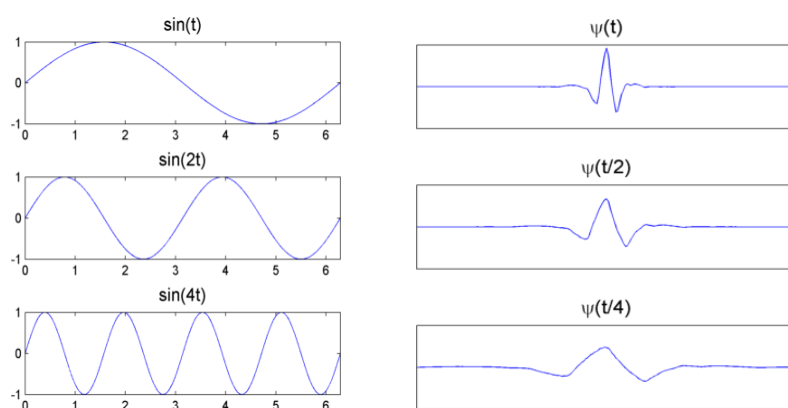
Dengan a adalah skala, b adalah posisi parameter, s sebagai konstanta serta fungsi *mother wavelet* g .



Gambar 2.10 Ilustrasi transformasi wavelet

2.4.1.1 Skala

Mirip seperti dalam kasus skala peta, parameter skala dalam metode CWT pun menampilkan skala sesuai dengan tampilan rincinya. Dimana pada skala tinggi ditampilkan hal umum dan pada skala rendah ditampilkan hal rinci. Begitupun dengan frekuensi, pada frekuensi tinggi ditampilkan skala rendah yang memuat hal rinci sinyal. Sedangkan pada frekuensi rendah ditampilkan skala tinggi yang menampilkan hal umum sinyal. Skala dilambangkan dengan variabel yang merupakan kuantitas bernilai positif yaitu $a > 0$. Untuk sinyal sinus pengaruh faktor skala sangat mudah untuk dilihat (Polikar, 1996).



Gambar 2.11 Perbandingan skala pada sinyal sinus dan wavelet

Dalam $\sin(at)$, skala adalah invers dari frekuensi radian, a . Pada wavelet skala bekerja sama seperti faktor skala pada umumnya. Semakin kecil faktor skala ($a < 1$), *wavelet* dikompresi dan sebaliknya semakin besar faktor skala ($a > 1$), *wavelet* melebar. Skala kecil digunakan pada sinyal berfrekuensi rendah dan skala besar digunakan pada sinyal berfrekuensi tinggi.

2.4.1.2 Skala dan Frekuensi

Hubungan antara skala dan frekuensi diukur dengan koefisien *wavelet* berdasarkan kasar dan halus nya fitur sinyal yang dihasilkan. Fitur sinyal semakin kasar pada skala tinggi dengan frekuensi rendah. Sebaliknya fitur sinyal halus pada skala rendah dengan frekuensi tinggi. Secara umum hubungan antara skala dan frekuensi ditunjukkan pada gambar 2.12.



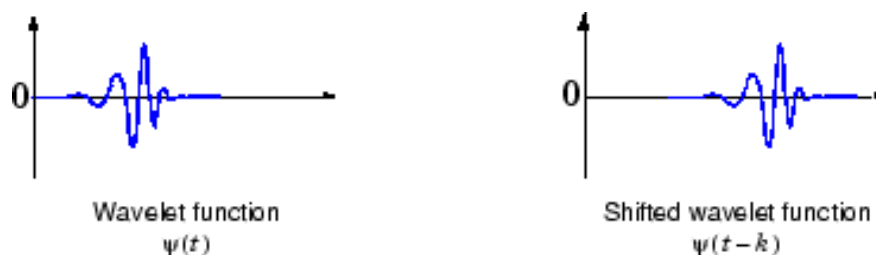
Gambar 2.12 Hubungan skala dan frekuensi

Hubungan skala dan frekuensi diatas adalah :

- Pada skala rendah, *wavelet* terkompres, fitur sinyal cepat berubah, *wavelet* pada frekuensi tinggi.
- Pada skala tinggi, *wavelet* melebar, fitur sinyal kasar dan lambat berubah, *wavelet* pada frekuensi rendah.

2.4.1.3 CWT sebagai *Shifting* (Pergeseran)

Pergeseran *wavelet* mengakibatkan penundaan onset yang secara matematika penundaan fungsi $f(t)$ oleh k didefinisikan oleh $f(t - k)$ ditampilkan pada gambar 2.13.



Gambar 2.13 Pergeseran *wavelet*

2.4.1.4 CWT sebagai *Windowed Transform*

Teknik jendela pada CWT dilakukan pada berbagai daerah dengan berbagai ukuran 19 variabel. Namun, untuk semua daerah yang lebih rendah dibatasi oleh $0.75/\pi$. Teknik jendela ini memungkinkan analisis *wavelet* pada penggunaan interval durasi waktu yang panjang akan memberikan informasi

frekuensi rendah yang lebih tepat. Sebaliknya penggunaan interval durasi waktu yang pendek akan memberikan informasi frekuensi tinggi.



Gambar 2.14 Resolusi *windowed wavelet transform*

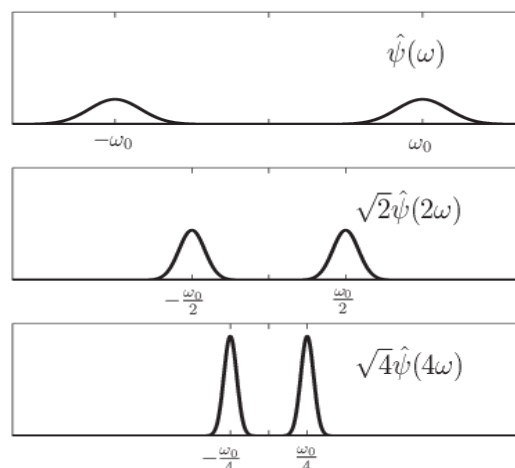
2.4.1.5 CWT sebagai Teknik Filtering

CWT melakukan teknik filtering berbasis frekuensi pada sebuah sinyal dengan menulis ulang CWT sebagai invers transformasi fourier. Invers transformasi fourier CWT didefinisikan dengan persamaan (2.8).

$$W_{a,b}[f](\tau, s) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} f(\omega) \sqrt{a} (\psi(a\omega)) e^{j\omega b} d\omega \quad (2.8)$$

Keterangan : $f(\omega)$ dan $\psi(\omega)$ adalah transformasi Fourier dari sinyal wavelet.

Persamaan di atas menunjukkan peregangan wavelet dalam durasi waktu yang menyebabkan domain frekuensi menyusut. Selain frekuensi menyusut, frekuensi pusat *wavelet* bergeser ke arah frekuensi yang lebih rendah. Berikut ditunjukkan efek hipotesis *wavelet* dan faktor skala (dilatasi) pada gambar 2.15.



Gambar 2.15 Bandpass filter CWT

Gambar 2.15 menunjukkan CWT sebagai band pass filter sinyal masukan. Koefisien CWT pada skala yang lebih rendah mewakili energi dalam sinyal input pada frekuensi yang lebih tinggi, sementara koefisien CWT pada skala yang lebih tinggi mewakili energi dalam sinyal input pada frekuensi yang lebih rendah. Namun, tidak seperti band pass filter pada transformasi fourier, lebar filter band pass CWT berbanding terbalik dengan skala. Lebar filter CWT menurun dengan meningkatnya skala. Ini karena ketidakpastian hubungan antara waktu dan frekuensi sinyal, dimana pada waktu yang panjang frekuensi pendek. Sebaliknya pada waktu yang pendek frekuensi panjang.

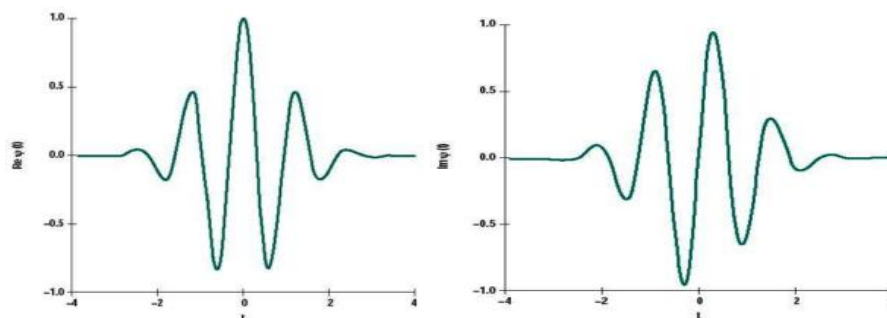
Skala transformasi wavelet didefinisikan untuk mempertahankan energi. Untuk mempertahankan energi ketika menyusut dukungan frekuensi mengharuskan puncak tinggi energi meningkat.

2.4.2 Morlet Wavelet

Morlet wavelet merupakan sebuah fungsi *mother* wavelet bersifat kompleks yang umum digunakan dalam transformasi *wavelet* kontinyu. Morlet *wavelet* mendefinisikan *mother* wavelet menjadi persamaan (2.9).

$$\psi(t) = \frac{1}{\sqrt[4]{\pi}} e^{j\omega_0 t} e^{-\frac{t^2}{2}} \quad (2.9)$$

dengan pusat frekuensi $\omega_0 > 5$ yaitu $\omega_0=5,33rad/s$ atau $f_0=0,849$ Hz. Fungsi jendela Morlet *wavelet* diskalakan menggunakan parameter skala pada CWT.



Gambar 2.16 Bentuk morlet wavelet real dan imajiner

Mother wavelet memiliki dua sifat penting pada analisis *wavelet* yaitu merupakan sebuah jendela dengan panjang terbatas dilihat dari istilah kata *wavelet* itu sendiri. Gelombang memiliki sifat selalu berosilasi sehingga *mother wavelet* ini pun menjadi sebuah prototipe yang berfungsi sebagai jendela.

Morlet *wavelet* juga disebut sebagai gabor *wavelet* yang merupakan *wavelet* yang terdiri dari eksponensial kompleks (sinyal *carier*) dikalikan dengan jendela gaussian (envelope). *Wavelet* ini berkaitan erat dengan persepsi manusia baik itu pada pendengaran maupun visual. Morlet *wavelet* yang digunakan didefinisikan dengan persamaan (2.10).

$$\psi(x) = e^{-x^2/2}(5x) \quad (2.10)$$

Karena morlet *wavelet* yang terdiri dari sinyal *carier* dan *envelope* maka untuk transkripsi musik morlet *wavelet* dapat menangkap kemunculan frekuensi singkat dari pengulangan dan pergantian notasi dalam sebuah musik lagu. Hal ini dikarenakan gaussian filter pada persamaan (2.11 yang terkandung dalam morlet *wavelet*.

$$h(t) = \frac{e^{-\frac{t^2}{2\delta^2}}}{\sqrt{2\pi\delta}} \quad (2.11)$$

dimana

$$\delta = \frac{\sqrt{\ln(2)}}{2\pi BT} \quad (2.12)$$

dengan B adalah filter bandwidth dengan 3 dB.

2.5 ***Band Pass Filter***

Filter *band-pass* adalah filter yang dirancang hanya untuk melewatkan isyarat dalam suatu pita frekuensi tertentu dan untuk menahan isyarat diluar jalur pita frekuensi tersebut. Jenis filter ini memiliki tegangan keluaran maksimum pada satu frekuensi tertentu yang disebut dengan frekuensi resonansi (ω_r). Jika frekuensinya berubah dari frekuensi resonansi maka tegangan keluarannya turun,

ada satu frekuensi diatas frekuensi resonansi (ω_r) dan satu dibawah (ω_r) dimana gainnya tetap 0,707 Ar. Frekuensi ini diberi tanda (ω_h) frekuensi cutoff atas dan (ω_l) frekuensi cutoff bawah. Pita frekuensi antara (ω_h) dan (ω_l) adalah *band width* (B).

$$B = \omega_h - \omega_l \quad (2.13)$$

Nilai frekuensi cut-off atas ditentukan oleh filter high-pass sebagai berikut :

$$f_{ch} = \frac{1}{2\pi R_2 C_2} \quad (2.14)$$

Nilai frekuensi cut-off bawah ditentukan oleh filter low-pass sebagai berikut :

$$f_{cl} = \frac{1}{2\pi R_1 C_{12}} \quad (2.15)$$

Sehingga besarnya bandwidth adalah :

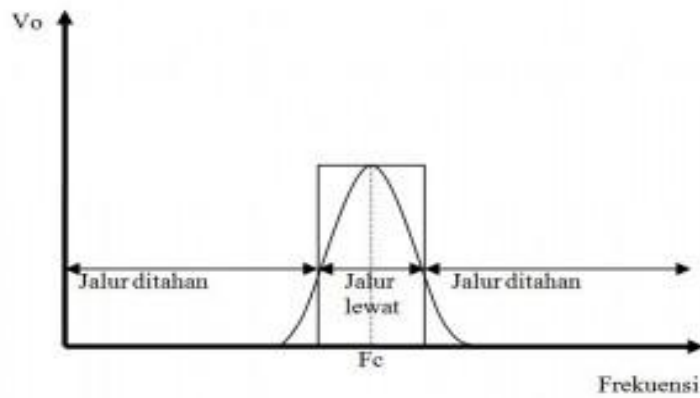
$$B = f_{ch} - f_{cl} \quad (2.16)$$

Filter band-pass dapat digolongkan sebagai pita sempit atau pita lebar. Filter pita sempit adalah sebuah filter yang mempunyai band width lebih kecil dari sepersepuluh frekuensi resonansinya ($B < 0,1\omega_r$). jika band width-nya lebih besar sepersepuluh dari frekuensi resonansi maka ($B > 0,1\omega_r$), filter tersebut merupakan sebuah filter pita lebar. Perbandingan antara frekuensi resonansi dan lebar pita dikenal sebagai faktor kualitas (Q) dari rangkaian. Q menunjukkan selektifitas dari rangkaian, makin tinggi nilai Q makin selektif rangkaian filter tersebut.

$$Q = \frac{\omega_r}{B} \text{ dan} \quad (2.17)$$

$$B = \frac{\omega_r}{Q} \dots \text{rad/s} \quad (2.18)$$

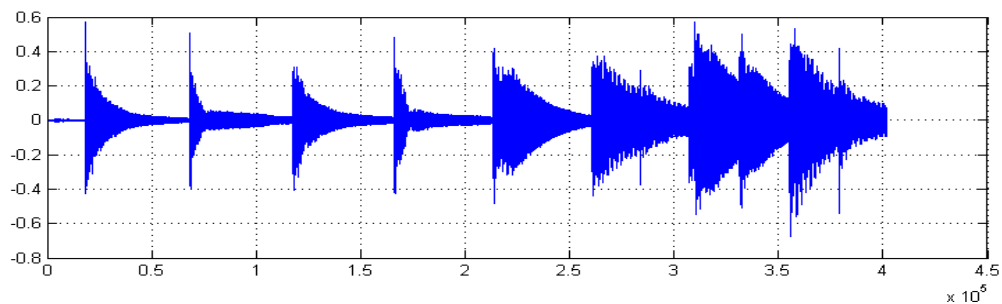
Untuk filter-filter pita sempit, Q dari rangkaian lebih besar dari 10 dan untuk filter-filter pita lebar Q lebih kecil dari 10. Filter *band-pass* disusun dengan filter *high-pass* dan filter *low-pass* seperti pada gambar 2.17.



Gambar 2.17 Rangkaian *band pass filter*

Ilustrasi pemfilteran yang dilakukan terhadap sinyal musik gamelan seperti pada gambar 2.18 dan 2.19.

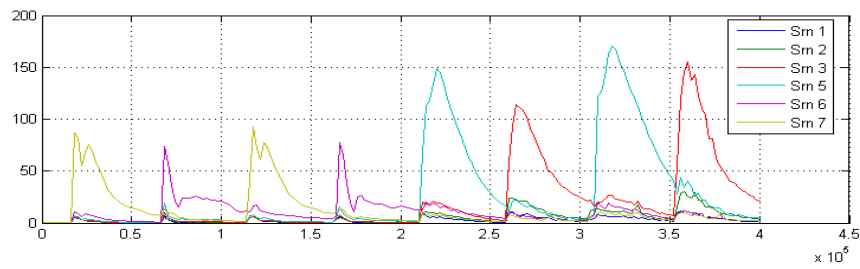
1. Bentuk sinyal asli



Gambar 2.18 Bentuk sinyal asli musik gamelan

Notasi asli : 7 6 7 6 5 3 5 3

2. Estimasi nada setelah melalui proses pemfilteran menggunakan BPF



Gambar 2.19 Bentuk sinyal hasil pemfilteran musik gamelan

Estimasi nada yang dihasilkan dari BPF :

7 6 7 6 5 3 5 3

Dengan *band pass filter* maka akan didapatkan sinyal tiap nada gong dalam notasi musik yaitu nada pentatonik pelog yang terdiri dari nad 1 (do), 2 (re), 3 (mi), 5 (sol), dan 6 (la).

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

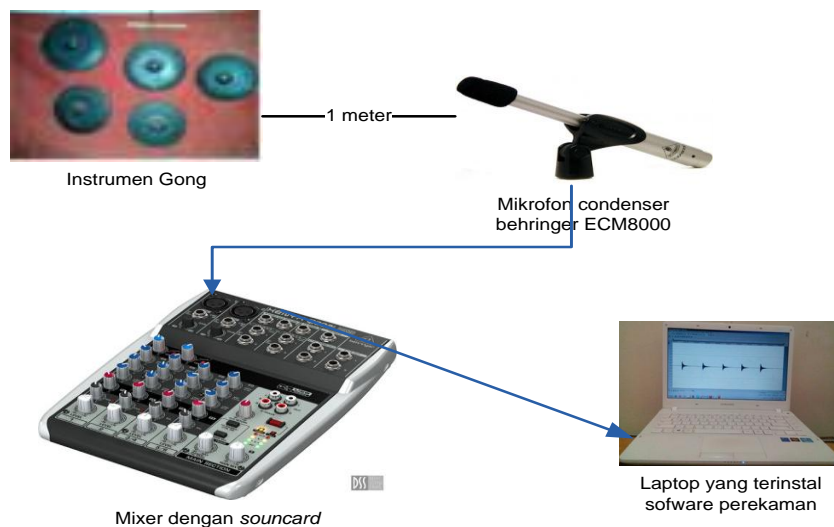
Dalam penelitian ini dilakukan analisis waktu – frekuensi sinyal musik Gong menggunakan metode *Short Time Fourier Transform* (STFT) dan *Continous Wavelet Transform* (CWT). Analisis dilakukan menggunakan data sinyal musik Gong yang diperoleh melalui proses perekaman. Secara rinci dalam metodologi penelitian dilakukan proses perekaman sebagai tahap pengumpulan data percobaan dan proses analisis waktu – frekuensi sebagai tahap desain sistem penelitian dijelaskan pada sub – sub bab dalam metodologi penelitian.

3.1 Pengumpulan Data Percobaan

Pengumpulan data mencakup proses perekaman data yang terdiri dari data nada tunggal dan data percobaan. Data nada tunggal digunakan untuk menentukan frekuensi dasar dan untuk pembuatan data semi sintetik. Sedangkan data percobaan merupakan data hasil perekaman yang terdiri dari dua nada yang dipilih acak yang disebut sebagai data akustik.

3.1.1 Proses Perekaman Data

Proses perekaman data dilakukan menggunakan Mikrofon dan *soundcard* yang berfungsi sebagai konverter energi suara (akustik) menjadi energi listrik setara. Proses konverter ini menghasilkan sinyal musik Gong yang diterima dan ditampilkan oleh sebuah software yang terinstal pada laptop. Sinyal musik Gong hasil perekaman disimpan dalam format wav. Penggunaan format wav dimaksudkan agar informasi data yang dimiliki sinyal tidak ada yang hilang, yang akan berguna untuk ketelitian hasil ekstraksi sinyal. Sinyal hasil ekstraksi dapat memberikan informasi yang akurat. Untuk mendapatkan hasil rekaman yang baik proses pengambilan data dilakukan beberapa kali secara berulang – ulang hingga diperoleh data yang tepat.

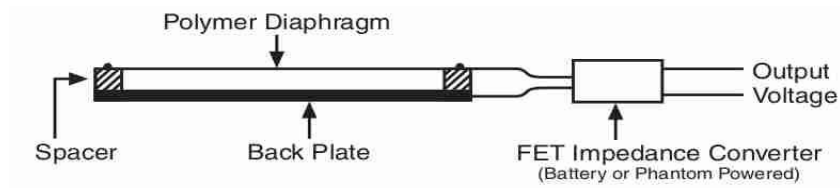


Gambar 3.1 Susunan perangkat pengambilan data

Dari gambar 3.1 terlihat bahwa proses perekaman musik Gong dilakukan dengan menggunakan mikrofon kondenser *behringer ECM8000* dan mixer yang di dalamnya sudah terdapat *soundcard*. Mikrofon dihubungkan dengan mixer yang juga terhubung dengan sebuah laptop yang sudah terinstal software perekaman.

3.1.1.1 Karakteristik Mikrofon Kondenser *Behringer ECM8000*

Mikrofon kondenser merupakan mikrofon yang cara kerjanya menggunakan kondensator. Kondensator merupakan sebuah membran ringan dan plat yang berada pada bagian belakang mikrofon yang berfungsi seperti sebuah kapasitor (Tjahyanto, 2012). Prinsip kerjanya adalah getaran suara yang masuk menggetarkan membran. Getaran membran ini mengakibatkan gerakan maju dan mundur lempengan penghantar pada kondensator. Dengan perubahan ini, nilai kondensator pun berubah seiring dengan perubahan getaran. Perubahan kapasitansi ini menyebabkan terjadinya getaran listrik. Selanjutnya getaran listrik ini diperkuat oleh Pre-amp. Pada mikrofon jenis ini diperlukan tegangan phantom dari pre-amp sebesar 48 volt, tetapi untuk aplikasi sehari-hari biasanya mikrofon kondenser cukup menggunakan sebuah baterai 1,5 volt.



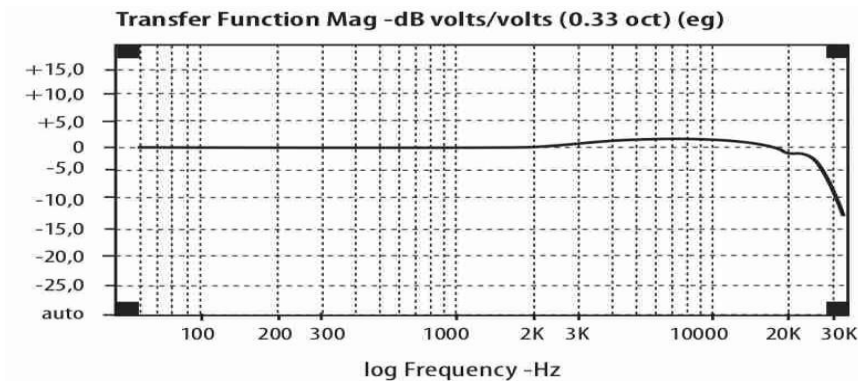
Gambar 3.2 Karakteristik mikrofon kondenser

Berdasarkan karakteristiknya, mikrofon dibagi menjadi mikrofon *omni-directional*, mikrofon *subcardioid*, mikrofon *cardioid* (searah), mikrofon *hypercardioid*, mikrofon *line* dan mikrofon *bidirectional*. Setiap mikrofon mempunyai karakteristik yang berlainan pada frekuensi respon, output, impedansi, dan daerah jangkauan. Adapun tingkat kepekaan dan sudut respon mikrofon kondenser ditunjukkan pada tabel 3.1.

Tabel 3.1 Tingkat kepekaan dan sudut respon mikrofon kondenser

	Omni-directional	Sub-cardioid	Cardioid	Hyper-cardioid	Line	Bidirectional
Acceptance Angle (3 dB down)	—	170°	120°	100°	90°	90°
Null (angle of minimum sensitivity)	none	160°	180°	110°	120°	90°
Distance Factor (DF)	1.0	1.2	1.7	2.0	2.5	1.7

Mikrofon *behringer ECM8000* merupakan mikrofon kondenser linear yang bersifat *omni-directional*. *Omni-directional* artinya, mikrofon ini mempunyai sensitivitas ke segala arah dan memiliki frekuensi datar atau memiliki respon yang sama di semua frekuensi. Dalam lingkungan akustik yang baik, mikrofon *omni-directional*, dapat mempertahankan suara dari lokasi rekaman. Mikrofon ini sesuai untuk karakteristik musik Gong.



Gambar 3.3 Respon frekuensi mikrofon kondenser *behringer* ECM8000

3.1.1.2 Teknik Perekaman Instrumen Gong

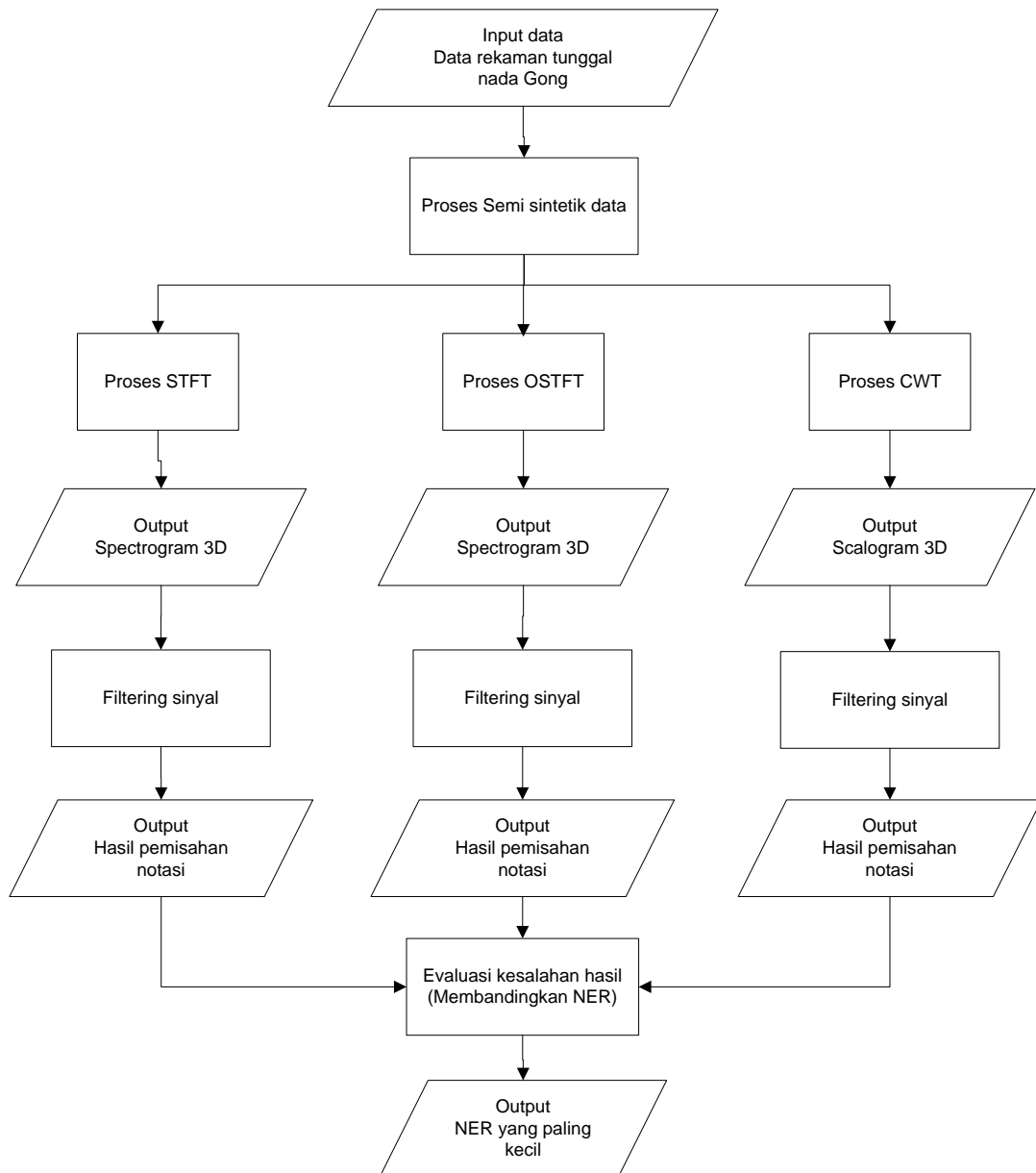
Perekaman musik Gong memerlukan teknik pengambilan data untuk mendapatkan sinyal musik Gong yang tepat. Teknik perekaman mencakup jarak dan posisi mikrofon dan parameter pengambilan data yang diatur pada software pengambilan data. Adapun teknik pengambilan data yang digunakan adalah :

1. Frekuensi sampling adalah 48000 Hz.
Frekuensi sampling adalah 48000 Hz merupakan frekuensi sampling data musik berformat wav.
2. Jumlah kanal yang digunakan adalah mono dengan kedalaman 16 bit.
Tujuannya agar karakteristik sinyal suara yang dihasilkan tidak terbagi ke jalur lain.
3. Jarak *microphone* adalah 1 meter dari sumber bunyi, dilakukan untuk mengantisipasi sinyal suara yang lain ikut terekam saat pengambilan data.
4. Amplitudo sinyal rekaman tidak boleh terpotong. Ini dilakukan untuk menghindari kehilangan informasi sinyal rekaman nada Gong.

3.2 Desain Sistem Penelitian

Desain sistem penelitian untuk analisis waktu – frekuensi musik Gong dilakukan melalui beberapa tahapan yang ditunjukkan pada Gambar 3.4. Analisis waktu – frekuensi pada pemrosesan sinyal musik merupakan proses mempelajari sinyal baik dalam domain waktu dan frekuensi secara bersamaan menggunakan berbagai representasi frekuensi waktu. Metode pengolahan sinyal

musik Gong yang digunakan untuk merepresentasikan frekuensi waktu dalam percobaan ini adalah menggunakan metode STFT, metode OSTF yang merupakan pengembangan dari metode STFT dan metode CWT.



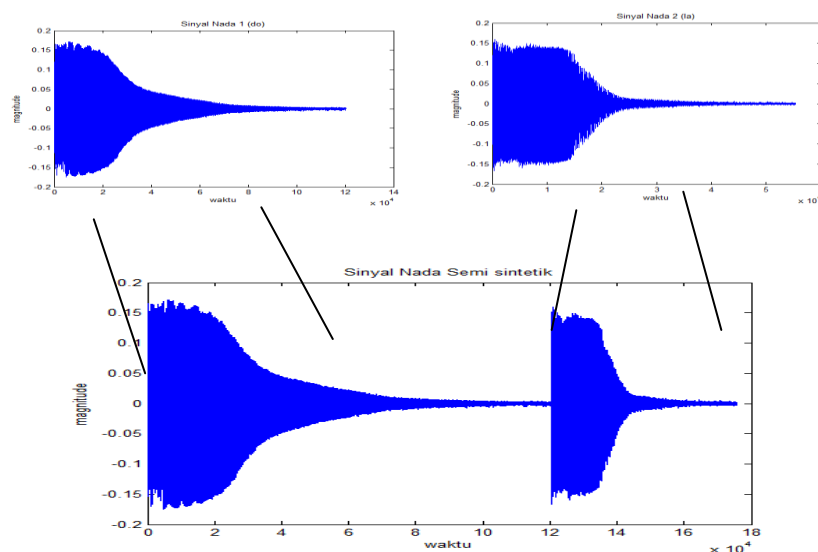
Gambar 3.4 Blok diagram sistem

Blok diagram sistem pada gambar 3.4 menunjukkan tahap – tahap proses mendapatkan perbandingan waktu – frekuensi musik Gong. Tahap

pertama dimulai dengan menginputkan sinyal musik Gong hasil rekaman untuk dijadikan sinyal musik Gong semi sintetik. Tahap selanjutnya adalah proses pembuatan data semi sintetik yang akan diolah pada proses analisis sinyal menggunakan metode STFT, OSTFT dan CWT. Dari keseluruhan proses kemudian diperoleh output berupa spektrogram 3D untuk proses STFT dan OSTFT dan *scalogram* 3D untuk proses CWT yang dapat digunakan sebagai perbandingan NER yang paling kecil.

3.2.1 Pembuatan Data Semi Sintetik

Data semi sintetik merupakan data yang diperoleh melalui proses penggabungan beberapa sinyal nada Gong tunggal yang diperoleh dari hasil perekaman. Berikut diberikan ilustrasi proses pembuatan data semi sintetik.



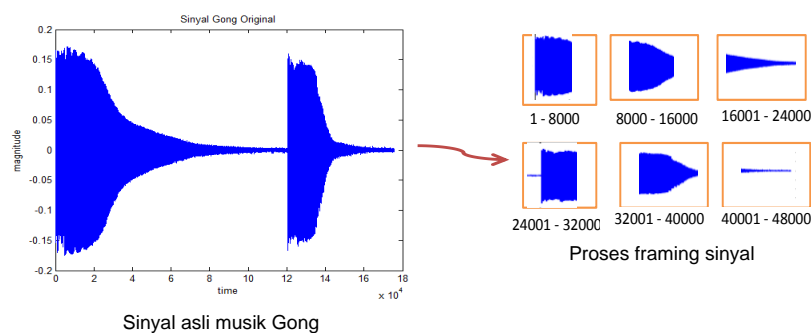
Gambar 3.5 Ilustrasi pembuatan data semi sintetik Gong

Pada gambar 3.5 terdapat dua buah sinyal nada Gong tunggal yang dirangkai menjadi satu buah sinyal musik Gong yang terdiri dari dua nada. Sinyal suara baru ini yang disebut sebagai sinyal semi sintetik nada Gong. Pembuatan data semi sintetik dilakukan hanya pada dua buah nada karena pada percobaan ini dilakukan perbandingan nada Gong yang dibatasi pada dua buah

nada. Nada semi sintetis ini digunakan sebagai pembandingan pada proses analisis waktu – frekuensi nada Gong.

3.2.2 Proses *Short Time Fourier Transform* (STFT)

Dengan menggunakan persamaan 2.1 proses ekstraksi fitur sinyal menggunakan STFT dilakukan untuk menghasilkan sinyal domain waktu - frekuensi. Proses awal dilakukan dengan menempatkan sebuah jendela yang dipilih pada sinyal masukan. Jendela ini akan membagi sinyal menjadi beberapa bagian berdasarkan lebar jendela yang dipilih menjadi *frame - frame*. Misalnya jendela yang dipilih adalah jendela $N = 8000$ dan sinyal inputan memiliki panjang sinyal $l = 48000$ sampling per detik. Maka proses ekstraksi fitur akan dimulai dari panjang sinyal $l = 1 - 8000$ untuk sampling jendela N yang pertama sebagai *frame* pertama. Selanjutnya ekstraksi fitur dilakukan lagi untuk panjang sinyal berikutnya yaitu panjang sinyal $l = 8001 - 16001$ untuk sampling jendela N kedua sebagai *frame* kedua. Ekstraksi dilanjutkan terus hingga mencapai sampling jendela N terakhir yaitu pada panjang sinyal $l = 40001 - 48000$. Gambar 3.6 memberikan ilustrasi pembagian frame pada metode STFT.



Gambar 3.6 Ilustrasi proses STFT

Pembagian panjang sinyal ini mempengaruhi resolusi frekuensi dan resolusi waktu sinyal. Dimana ukuran waktu selalu sama untuk semua panjang jendela. Jika panjang jendela semakin lebar maka waktu yang digunakan untuk ekstraksi sinyal semakin panjang, menyebabkan resolusi waktu yang rendah. Pada resolusi waktu yang rendah maka resolusi frekuensi sinyal semakin tinggi.

Sebaliknya, jika panjang jendela semakin sempit maka lebar maka waktu yang digunakan untuk ekstraksi sinyal semakin pendek yang menyebabkan resolusi waktu yang tinggi. Pada resolusi waktu yang tinggi maka resolusi frekuensi sinyal semakin rendah. Hal ini menunjukkan hubungan terbalik waktu-frekuensi. Perbandingan waktu dan frekuensi hasil OSTFT ditampilkan melalui spektrogram 3D.

3.2.3 Proses *Overlap Short Time Fourier Transform (OSTFT)*

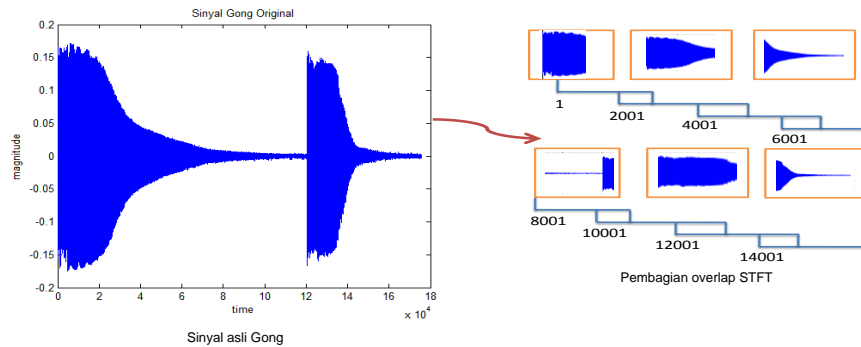
Proses OSTFT merupakan metode pengembangan STFT yang digunakan untuk menghasilkan perubahan spektrum sinyal yang lebih halus, dimana jarak awal *frame* berikutnya yang akan diproses dengan awal *frame* sebelumnya atau yang disebut dengan *hop size h* diatur sedemikian rupa agar *frame-frame* tersebut saling *overlap* satu sama lain dengan $h < N$ (Yosefine, 2013). *Hop size h* dihitung menggunakan persamaan (3.1).

$$h = 0.25 \times N \quad (3.1)$$

Keterangan : 0.25 merupakan konstanta yang biasanya digunakan dalam menentukan *hop size*; dan N adalah lebar jendela.

Proses OSTFT dimulai dengan mengambil sebuah jendela N pada *sinyal* dan kemudian menentukan ukuran *hop h* untuk dilakukan proses ekstraksi fitur. Langkah ekstraksi sinyal sama seperti pada proses STFT dengan membagi sinyal masukan menjadi *frame – frame* sesuai panjang jendela N . *Frame – frame* Sinyal tersebut kemudian diberikan ukuran *hop h* yang akan memberikan lompatan proses ekstraksi sinyal sebesar ukuran *hop h*. Misalnya ukuran *hop* yang digunakan adalah 1000 dan sinyal inputan memiliki panjang sinyal $l = 48000$ sampling per detik, maka proses ekstraksi fitur akan dimulai dari panjang sinyal $l = 1 - 8000$ untuk sampling jendela N yang pertama sebagai *frame* pertama dengan lompatan waktu ekstraksi sebesar ukuran *hop h* sebesar 1000. Artinya ekstraksi dimulai dari panjang sinyal $l = 1000$. Dengan demikian proses ekstraksi akan dimulai dari panjang sinyal $l = 1000$ sampai akhir sinyal

frame pertama kemudian dilanjutkan pada *frame* kedua sampai *frame* terakhir. Ilustrasi proses OSTFT ditunjukkan pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7 Ilustrasi proses OSTFT

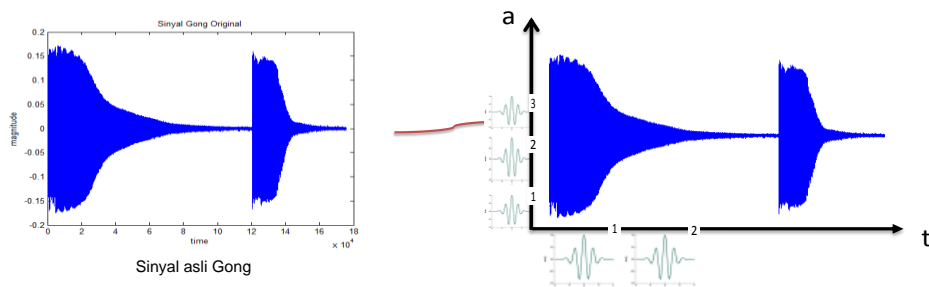
Proses OSTFT akan menghasilkan spektrogram dengan waktu yang pendek. Waktu yang pendek ini yang memberikan resolusi waktu – frekuensi lebih halus. Frekuensi yang dihasilkan OSTFT sama dengan frekuensi yang dihasilkan proses STFT. Representasi waktu - frekuensi hasil OSTFT ditampilkan melalui spektrogram 3D.

3.2.4 Proses *Continuous Wavelet Transform* (CWT)

CWT merupakan teknik analisis sinyal yang dikembangkan untuk mengatasi masalah resolusi waktu – frekuensi pada metode STFT. Proses CWT tidak menggunakan jendela dalam melakukan ekstraksi fitur namun menggunakan sebuah *wavelet* induk yang ter-kompresi dan ter-translasi. Cara kerjanya dengan menjumlahkan semua spektrum sinyal untuk dikalikan dengan *wavelet* induk tersebut seperti yang telah dijabarkan pada persamaan 2.3.

Proses ekstraksi dimulai dengan menempatkan wavelet pada awal sinyal sesuai dengan waktu skala $\tau = 0$ dan pada skala $a = 1$ dan kemudian dikalikan dengan sinyal hingga semuanya terintegrasi. Hasil integrasi ini kemudian dikalikan dengan konstanta $\frac{1}{\sqrt{s}}$. Perkalian dengan konstanta bertujuan untuk normalisasi energi sehingga sinyal yang dikonvolusi memiliki energi yang sama pada setiap skala. Hasil akhirnya adalah nilai transformasi CWT pada

waktu $\tau = 0$ dan skala $a = 1$. *Wavelet* pada skala $a = 1$ kemudian digeser ke kanan pada waktu $\tau = \text{tau}$. Setelah semua waktu $\tau = \text{tau}$ pada skala $a = 1$ dihitung maka didapatkan nilai transformasi pada skala $a = 1$ pada bidang frekuensi dan waktu. Kemudian dengan meningkatkan skala dengan nilai kecil yaitu skala a berikutnya diatas skala $a = 1$. Prosedur ini diulang untuk setiap skala a . Hasil perhitungan untuk nilai a tertentu mengisi baris tunggal sesuai dengan bidang skala – waktu. Proses perhitungan ini lakukan hingga semua nilai yang diinginkan a pada semua sinyal dihitung. Dalam gambar 3.6 diberikan ilustrasi perhitungan sinyal CWT.



Gambar 3.8 Ilustrasi proses CWT

Berdasarkan gambar 3.8 ditampilkan keseluruhan perhitungan CWT menghasilkan koefisien matriks CWT yang memuat frekuensi (persentase energi) yang digambarkan dengan intensitas warna dalam sebuah gambar 2 dimensi dalam domain skala-waktu yang disebut dengan *scalogram*. Hubungan skala dan frekuensi pada *scalogram* disediakan dalam dua fungsi yaitu fungsi untuk mendapatkan frekuensi pusat dari sinyal yang dirumuskan dengan persamaan (3.2). Dan fungsi *wavelet* untuk merubah sinyal dari domain skala ke domain frekuensi yang dirumuskan pada persamaan (3.3).

$$F_c = \frac{\Delta F_0}{a} \quad (3.2)$$

Keterangan : a adalah jumlah skala, Δ merupakan jumlah sampel yang diambil per detik, F_0 adalah frekuensi tengah *wavelet* dalam Hz, dan F_a adalah *pseudo-frequency* di Hz sesuai dengan skala a .

$$F_a = \frac{F_c}{a \cdot \Delta} \quad (3.3)$$

Keterangan : F_c adalah frekuensi pusat dari *wavelet* (Hz). Fungsi ini disebut dengan fungsi *scal2frq*. Fungsi *scal2frq* menggunakan frekuensi *center* (F_c) mengembalikan *pseudo-frequency* dengan skala yang diberikan sinyal $f(t)$ yang telah melalui sampling *wavelet* morlet.

Scalogram merupakan perkiraan kepadatan energi untuk setiap koefisien hasil ekstraksi fitur pada metode CWT. Dalam domain skala – waktu *scalogram* didefinisikan sebagai menggunakan persamaan (3.4).

$$S_x(t, a; \psi) = |T_x(t, a; \psi)|^2 \quad (3.4)$$

Keterangan : S_x adalah *scalogram* sinyal, t adalah waktu, a adalah skala, ψ adalah *wavelet* dan T_x adalah durasi atau perpindahan.

Dalam hubungan antara skala dan frekuensi, *scalogram* pun dapat diubah menjadi representasi waktu – frekuensi yang didefinisikan dengan persamaan (3.5).

$$S_x(t, f; \psi) = |T_x(t, a; \psi)|^2 \quad (3.5)$$

Keterangan : f merupakan frekuensi.

3.3 Filtering Sinyal Nada Gong

Filter nada merupakan proses pemisahan nada sesuai jalur frekuensinya ke jalur notasi masing - masing yaitu jalur notasi 1 untuk nada 1, jalur notasi 2 untuk nada 2, jalur notasi 3 untuk nada 3, jalur notasi 5 untuk nada 5, dan jalur notasi 6 untuk nada 6. Pembagian notasi ini didasarkan pada

frekuensi dasar untuk metode STFT dan OSTFT, dan berdasarkan skala dasar nada Gong pada metode CWT. Adapun frekuensi dasar dan skala dasar nada Gong yang digunakan pada proses *filter* sinyal diberikan pada tabel 3.2. Frekuensi dasar dan skala dasar yang digunakan diperoleh dari hasil pengamatan terhadap tiga instrumen Gong.

Tabel 3.2 Frekuensi dan skala pada nada gong pada tiga instrumen gong

Nada	Set 1		Set 2		Set 3		Min		Max	
	Skala	Freq	Skala	Freq	Skala	Freq	Skala	Freq	Skala	Freq
Do	90	428	100	450	108	386	88	386	108	450
Re	80	490	86	438	99	390	75	390	99	429
Mi	71	549	80	481	85	453	70	453	85	549
Sol	59	639	69	549	75	540	57	540	75	650
La	53	760	52	645	68	640	50	640	68	760

Pada proses STFT dan OSTFT proses filtering sinyal dilakukan dengan membagi frekuensi ke jalur maksimum dan jalur minimum sinyal menggunakan range frekuensi dasar pada tabel 3.2. Misalnya frekuensi maksimum pada nada do adalah 450 dan minimumnya 386. Maka, proses pencariannya akan mendapatkan sinyal yang range jalur frekuensinya dalah 386 sampai 450.

Sedangkan pada proses CWT proses filtering sinyal dilakukan dengan membagi frekuensi ke jalur maksimum dan jalur minimum sinyal menggunakan range skala dasar pada tabel 3.1. Misalnya skala maksimum pada nada do adalah 108 dan minimumnya 88. Maka, proses pencariannya akan mendapatkan sinyal yang range jalur skalanya adalah 88 sampai 108. Sebagai contoh berikut diberikan ilustrasi proses pembagian jalur pada proses filtering sinyal untuk metode CWT yang ditunjukkan pada gambar 3.9.

Jalur minimum do : Jalur maksimum do

88
89
90
91
-
-
106
107
108

Gambar 3.9 Jalur notasi nada do berdasarkan skala

3.4 Analisis Waktu-Frekuensi Nada Gong

Analisis waktu – frekuensi bertujuan untuk membandingkan dan mengetahui tingkat ketelitian terhadap waktu dan frekuensi dari ketiga metode yang digunakan dalam melakukan pengolahan sinyal musik Gong yaitu metode STFT, OSTFT dan CWT. Ketelitian analisis perbandingan dilakukan menggunakan beberapa pendekatan matematika. Perhitungan perbandingan waktu frekuensi dilakukan dengan memperhatikan beberapa parameter yang mempengaruhi representasi sinyal musik Gong. Adapun parameter penentu perbandingan yang perlu diperhatikan dalam analisis waktu frekuensi diberikan oleh :

1. Frekuensi Sampling.

Merupakan frekuensi pencuplikan sinyal pada saat pengambilan data. Satuannya adalah hertz. Hertz adalah jumlah sampel per detik. Contoh jika frekuensi sampling yang digunakan pada proses pengambilan data adalah $F_s = 48000$, maka dalam 1 detik terdapat 48000 sampel atau 48000 frekuensi pencuplikan.

2. Lebar jendela.

Merupakan lebar frekuensi pada proses pembagian atau *framing* sinyal pada proses STFT dan OSTFT.

3. Ukuran *size*

Hop size adalah jarak awal *frame* berikutnya yang akan diproses dengan awal *frame* sebelumnya pada proses OSTFT.

4. *Sampling* waktu.

Sampling waktu merupakan panjang waktu yang dihasilkan pada sebuah *scalogram*.

5. *Sampling* skala.

Sampling skala merupakan panjang skala yang dihasilkan pada sebuah *scalogram*.

6. Delta Frekuensi.

Merupakan perbandingan kerapatan frekuensi sinyal dalam suatu frekuensi. Satuannya adalah Hertz (Hz)

7. Delta Waktu.

Merupakan perbandingan kerapatan waktu dalam memuat frekuensi suatu sinyal. (ms)

Berdasarkan parameter – parameter di atas maka dapat hitung ketelitian frekuensi dan ketelitian waktu yang dihasilkan oleh tiga metode tersebut. Secara rinci perhitungan ketelitian dijabarkan pada sub – sub bab berikut.

3.4.1 Ketelitian Metode STFT

Ketelitian resolusi frekuensi pada metode STFT diperoleh menggunakan suatu pendekatan pada persamaan (3.8).

$$\Delta f = \frac{Fs}{N} \quad (3.6)$$

Dengan Δf adalah ketelitian frekuensi satuannya hertz, Fs adalah frekuensi *sampling* hertz dan N adalah panjang jendela.

Sedangkan resolusi waktu metode STFT diperoleh menggunakan pendekatan yang ditunjukkan pada persamaan (3.9).

$$\Delta t = \frac{N \times 1000}{Fs} \quad (3.7)$$

Keterangan : Δt adalah ketelitian waktu satuannya milidetik, F_s adalah frekuensi sampling satuannya hertz dan N adalah lebar jendela.

3.4.2 Ketelitian Metode OSTFT

Resolusi frekuensi pada metode OSTFT dihitung menggunakan pendekatan pada persamaan (3.8) karena resolusi frekuensi pada metode STFT dan OSTFT sama – sama dipengaruhi oleh lebar *window* (Muller, 2011). Sedangkan resolusi waktunya berbeda karena dipengaruhi oleh penggunaan *hop size* sehingga ketelitian waktu metode OSTFT diperoleh menggunakan pendekatan persamaan (3.8).

$$\Delta t = \frac{\text{hop size} \times 1000}{F_s} \quad (3.8)$$

Keterangan : Δt adalah ketelitian waktu satuannya milidetik, F_s adalah frekuensi sampling satuannya hertz.

3.4.3 Ketelitian Metode CWT

Resolusi frekuensi dan resolusi waktu pada metode CWT diperoleh dengan mengamati sinyal yang ditunjukkan *scalogram* domain skala - waktu dan domain frekuensi - waktu untuk mengetahui sampling waktu, sampling skala dan selisih waktu antar nada serta selisih frekuensi antar nada. Setelah mengetahui sampling waktu, sampling skala dan sampling frekuensi maka dapat dihitung ketelitian sinyal menggunakan pendekatan yang ditunjukkan pada persamaan (3.9).

$$\Delta f = \frac{\text{selisih frekuensi}}{\text{selisih skala}} \quad (3.9)$$

Keterangan : Δf adalah ketelitian frekuensi satuannya hertz, selisih frekuensi merupakan perbandingan jarak antara frekuensi nada pertama dengan nada kedua dan selisih merupakan perbandingan jarak antara skala nada pertama dengan nada kedua.

Selisih frekuensi diperoleh berdasarkan hasil pengamatan pada skalogram frekuensi - waktu dan selisih skala diperoleh berdasarkan hasil pengamatan pada skalogram skala - waktu.

Sedangkan ketelitian waktu metode CWT diperoleh menggunakan pendekatan yang ditunjukkan pada persamaan (3.10).

$$\Delta t = \frac{\text{selisih waktu}}{\text{sampling waktu}} \quad (3.10)$$

Keterangan : Δt adalah ketelitian waktu satuannya milidetik, selisih waktu merupakan perbandingan jarak antara waktu pada nada pertama dengan nada kedua dan sampling waktu merupakan panjang sampling waktu yang dihasilkan pada skalogram.

3.4.4 Perbandingan Ketelitian Metode STFT dan OSTFT terhadap CWT

Perbandingan ketelitian metode STFT dan OSTFT terhadap CWT dilakukan untuk mengetahui seberapa teliti metode CWT dalam mempertahankan sinyal musik Gong. Ketelitian sinyal yang dibandingkan hanya dilakukan pada resolusi waktu karena pada dasarnya resolusi frekuensi untuk setiap metode adalah sama. Ketelitian resolusi waktu diperoleh menggunakan pendekatan persamaan (3.10).

$$X = \frac{Fs \times (t_{2(STFT;OSTFT)} - t_{1(STFT;OSTFT)})}{t_{2(CWT)} - t_{1(CWT)}} \times \frac{1}{1000} \quad (3.11)$$

Keterangan : X merupakan ketelitian, $t_{2(STFT;OSTFT)} - t_{1(STFT;OSTFT)}$ diartikan sebagai selisih waktu antara not satu dengan not dua pada metode spektogram dan $t_{2(CWT)} - t_{1(CWT)}$ adalah selisih waktu antara not satu dengan not dua pada skalogram.

Semakin kecil nilai X maka semakin teliti metode CWT dalam mempertahankan sinyal musik Gong.

3.5 Evaluasi Kesalahan Hasil

Evaluasi kesalahan hasil dilakukan untuk mengetahui ketepatan pembagian jalur pada analisis waktu dari metode yang digunakan pada penelitian ini. Jika presentasi tingkat kesalahan yang dihasilkan kecil maka tingkat keakurasian metode yang digunakan semakin baik, dan sebaliknya jika presentasi tingkat kesalahan semakin besar maka tingkat keakurasian metode yang digunakan semakin buruk. Pengukuran kinerja dihitung menggunakan persamaan :

$$\text{NER} = 100 \% \times \frac{\text{insertion} + \text{deletion} + \text{substitution}}{\text{jumlah h note}} \quad (3.12)$$

Keterangan , *Insertion* = nada yang seharusnya tidak ada tetapi dikenali sebagai nada.

Deletion = nada tidak dikenali sehingga terhapus.

Substitution = nada yang dikenali salah.

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

BAB 4

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Pada percobaan ini, membandingkan kinerja metode *short time fourier transform* (STFT), *overlap short time fourier transform* (OSTFT) dan *continous wavelet transform* (CWT).

4.1 Data Penelitian

Data penelitian yang digunakan pada penelitian ini menggunakan satu buah instrumen Gong. Adapun rincian data penelitian dapat dilihat pada Tabel 4.1. Total data yang digunakan adalah 9 data dengan jumlah nada 17 buah yang dianalisis waktu-frekuensinya.

Tabel 4.1. Data Penelitian

No.	Data Nada	Jumlah Nada
1	Akustik tunggal (do)	1
2	Semi sintetik (do sol)	2
3	Semi sintetik (do mi)	2
4	Semi sintetik re sol)	2
5	Semi sintetik (re la)	2
6	Semi sintetik (do la)	2
7	Semi sintetik (sol do)	2
8	Semi sintetik (sol re)	2
9	Semi sintetik (la re)	2
Jumlah		17

4.2 Hasil Penelitian

Ketelitian waktu – frekuensi nada Gong yang dihasilkan pada penelitian ini dilakukan menggunakan metode *short time fourier transform* (STFT), *overlap short time fourier transform* (OSTFT) dan *continous wavelet transform*

(CWT) yang tahapan prosesnya telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Pengujian dilakukan terhadap satu nada gong dan dua nada gong. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan ketiga metode untuk identifikasi frekuensi sinyal musik Gong. Hasil pengujian ditampilkan dalam bentuk tabel, visual dan pembahasan. Secara rinci berikut diberikan uraian hasil pengujian analisis waktu – frekuensi ketiga metode yang digunakan dalam ketelitian identifikasi nada Gong .

4.2.1 Ketelitian Waktu – Frekuensi Musik Gong Menggunakan *Short Time Fourier Transform* (STFT)

Analisis waktu – frekuensi pada metode STFT dilakukan menggunakan tiga panjang jendela. Ketelitian waktu – frekuensi tiga panjang jendela ini ditunjukkan pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Ketelitian Waktu – Frekuensi STFT

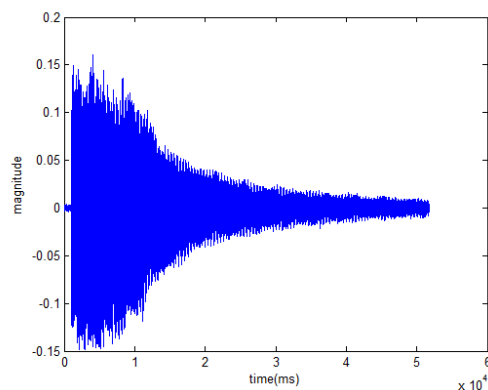
Panjang Jendela	Delta f	Delta t
8000	$\Delta f = 48000/8000$ = 6 Hz	$\Delta t = (8000 \times 1000)/48000$ = 166,67 ms
16000	$\Delta f = 48000/16000$ = 3 Hz	$\Delta t = (16000 \times 1000)/48000$ = 333,33 ms
24000	$\Delta f = 48000/24000$ = 2 Hz	$\Delta t = (24000 \times 1000)/48000$ = 500 ms

Delta frekuensi dan delta waktu pada tabel 4.2 menunjukkan kerapatan sinyal yang dihasilkan pada spektogram. Artinya, sinyal yang dihasilkan pada proses STFT memiliki ketelitian frekuensi dan ketelitian waktu yang tidak kurang dari delta t dan delta f yang ditunjukkan pada tabel 4.2. Semakin kecil delta f dan delta t maka semakin teliti sinyal yang dihasilkan. Dengan demikian pada metode STFT panjang jendela 8000 memiliki waktu yang lebih teliti. Sedangkan delta frekuensi yang teliti diberikan oleh panjang jendela 24000

namun ketelitian waktunya buruk. Untuk lebih jelasnya berikut diberikan perbandingan ketelitian hasil analisis yang dilakukan terhadap alat musik Gong.

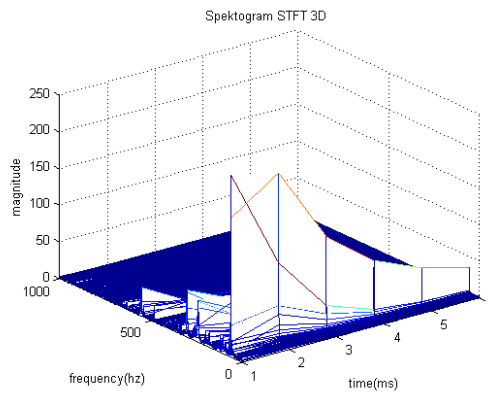
4.2.1.1 Ketelitian Waktu – Frekuensi Nada Gong Tunggal Pada Metode STFT

Pengujian nada Gong tunggal dilakukan pada sebuah nada Gong yang diperoleh dengan cara merekam. Nada Gong tersebut adalah nada do yang ditunjukkan pada gambar 4.1.

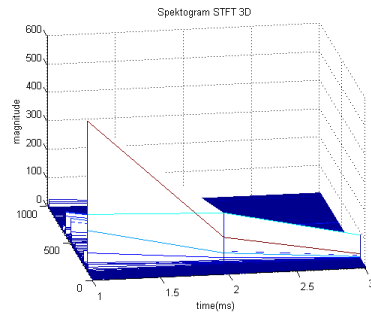


Gambar 4.1 Bentuk sinyal asli nada do dari alat musik Gong

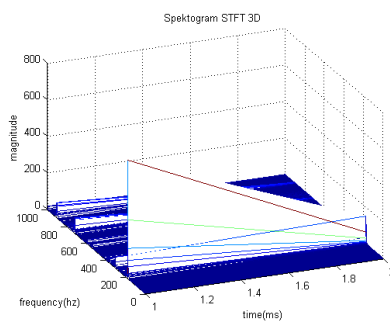
Sinyal waktu nada do pada gambar 4.1 kemudian diolah menggunakan metode STFT untuk masing – masing panjang jendela. Hasil olahan sinyal pada metode STFT berupa sinyal domain waktu – frekuensi yang ditampilkan menggunakan spektrogram tiga dimensi. Gambar 4.2, 4.3 dan 4.4 merupakan gambar spektrogram tiga dimensi untuk tiga panjang jendela yang digunakan.



Gambar 4.2 Spektrogram hasil STFT pada panjang jendela 8000 dari sinyal Gong untuk nada do



Gambar 4.3 Spektrogram hasil STFT pada panjang jendela 16000 dari sinyal Gong untuk nada do

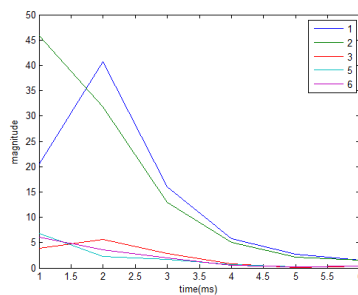


Gambar 4.4 Spektrogram hasil STFT pada panjang jendela 24000 dari sinyal Gong untuk nada do

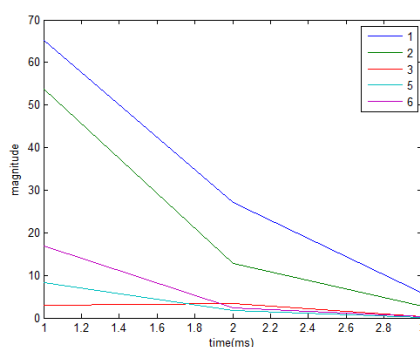
Dari keseluruhan spektrogram tiga dimensi yang dihasilkan membuktikan bahwa ketelitian waktu – frekuensi pada metode STFT mampu

mempertahankan frekuensi sinyal nada Gong yang berada pada suatu durasi. Ketelitian sinyal nada Gong yang lebih teliti dihasilkan pada panjang jendela 8000 (ditunjukkan pada gambar 4.2). Ketelitian ini ditunjukkan dengan kerapatan frekuensi sinyal yang dihasilkan lebih rapat karena dipengaruhi oleh durasi waktu yang pendek sehingga menghasilkan amplitudo yang lebih tinggi dibandingkan dengan metode STFT dengan panjang window 16000 dan 24000.

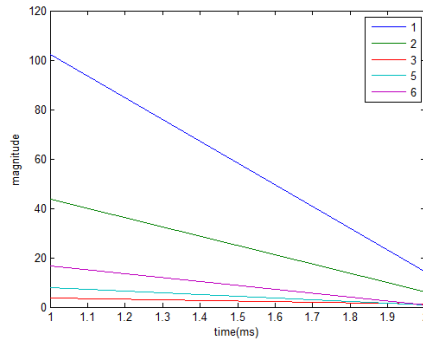
Sinyal nada pada spektogram kemudian di *filter* untuk mengetahui hasil pemisahan nada menurut jalurnya. Pembagian nada menurut jalurnya dimaksudkan untuk mengetahui ketelitian metode dalam mempertahankan frekuensi sinyal nada Gong pada proses pengenalan sinyal sesuai notasi asli sinyal inputan. Hasil *filtering* ditunjukkan pada gambar 4.5 untuk panjang jendela 8000, gambar 4.6 untuk panjang jendela 16000 dan gambar 4.7 untuk panjang jendela 24000 .



Gambar 4.5 Hasil *filtering* STFT pada panjang jendela 8000 dari sinyal Gong untuk nada do



Gambar 4.6 Hasil filtering STFT pada panjang jendela 16000 dari sinyal Gong untuk nada do

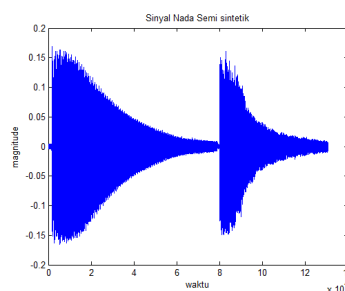


Gambar 4.7 Hasil filtering STFT pada panjang jendela 24000 dari sinyal Gong untuk nada do

Hasil *filtering* menunjukkan bahwa dalam mempertahankan frekuensi sinyal nada Gong pada proses pemisahan sinyal ke masing – masing jalur lebih tepat hasilnya pada panjang jendela yang kecil yaitu 8000. Pada panjang jendela yang lebih besar yaitu 16000 dan 24000 grafik sinyal hasil pemisahan tidak utuh frekuensinya. Sinyal yang tidak utuh frekuensinya ditunjukkan oleh bentuk amplitudo sinyal yang dihasilkan tidak menunjukkan keberadaan sinyal. Hal ini dipengaruhi oleh pembagian frame pada proses STFT dapat menyebabkan kehilangan frekuensi atau waktu dari sebuah sebuah sinyal.

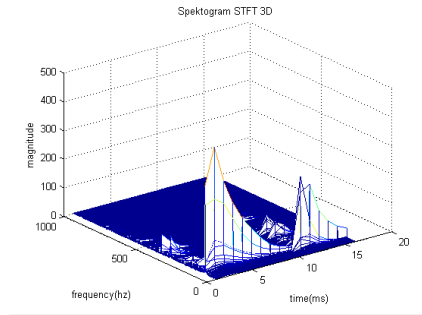
4.2.1.2 Ketelitian Waktu – Frekuensi Dua Nada Gong Pada Metode STFT

Sampel sinyal nada gong yang digunakan sebagai contoh dalam penjelasan ketelitian metode STFT adalah menggunakan nada Gong semi sintetis nada mi do. Bentuk sinyal semi sintetis nada mi do ditunjukkan oleh gambar 4.8.

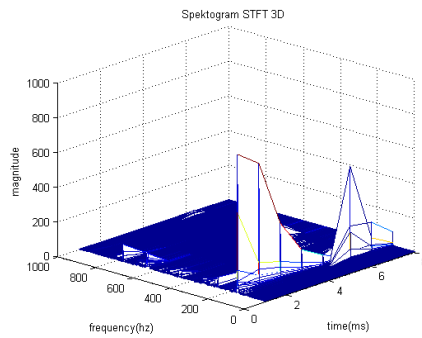


Gambar 4.8 Bentuk sinyal semi sintetis Gong nada mi do

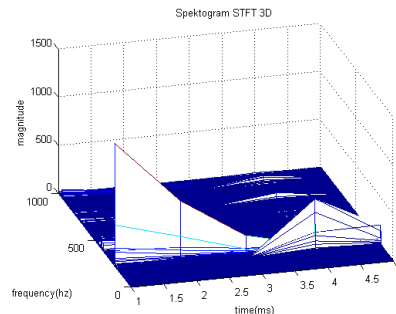
Sinyal nada semi sintetik pada gambar 4.8 setelah melalui proses pengolahan sinyal menggunakan metode STFT menghasilkan spektrogram tiga dimensi yang ditunjukkan pada gambar 4.9 untuk panjang window 8000, gambar 4.10 untuk panjang window 16000 dan gambar 4.11 untuk panjang window 24000.



Gambar 4.9 Spektrogram hasil STFT pada panjang jendela 8000 dari sinyal semi sintetik Gong pada nada mi do



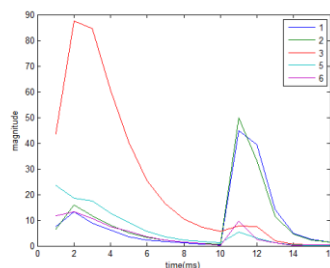
Gambar 4.10 Spektrogram hasil STFT pada panjang jendela 16000 dari sinyal semi sintetik Gong pada nada mi do



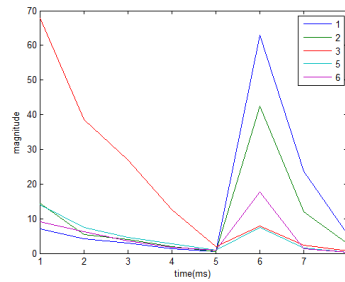
Gambar 4.11 Spektrogram hasil STFT pada panjang jendela 16000 dari sinyal semi sintetik Gong pada nada mi do

Spektrogram yang dihasilkan menunjukkan perbedaan amplitudo dan kerapatan sinyal yang dipengaruhi oleh ketelitian waktu metode STFT. Dari ketiga gambar memberikan perbandingan hasil yang cukup signifikan pada sampling waktu yang dihasilkan. Perbandingan ini ditandai dengan ketelitian sinyal pada sampling waktu berbanding terbalik dengan panjang sampling sinyal pada domain waktu. Sehingga jika ketelitian waktu yang dihasilkan besar maka panjang sampling sinyal waktu yang diperoleh semakin pendek. Sampling waktu yang pendek mempengaruhi kerapatan frekuensi, dimana kerapatan frekuensi semakin renggang pada waktu yang pendek. Dikawatirkan kerapatan frekuensi yang renggang dapat menghilangkan frekuensi yang dimiliki sinyal. Uraian di atas membuktikan salah satu sifat STFT yang memiliki waktu yang sama untuk semua frekuensi sehingga STFT buruk dalam resolusi waktu.

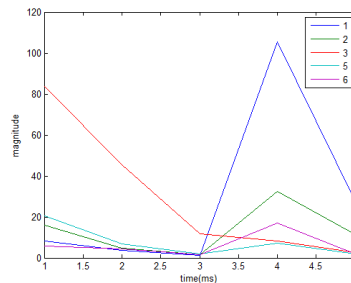
Dalam sinyal musik ketelitian sebuah metode pengolahan sinyal musik dikatakan dapat digunakan bila metode tersebut mampu mempertahankan frekuensi dan amplitudo nada musik pada proses pengenalan notasi atau yang disebut transkripsi. Oleh karena itu dilakukan sebuah proses filtering sinyal untuk mengetahui ketelitian metode STFT dalam mempertahankan frekuensi sinyal. Ketelitian yang diperoleh ditunjukkan pada gambar 4.12 untuk panjang jendela 8000, gambar 4.13 untuk panjang jendela 16000 dan gambar 4.14 untuk panjang jendela 24000.



Gambar 4.12 Hasil filtering STFT pada panjang jendela 8000 dari sinyal semi sintetik Gong untuk nada mi do



Gambar 4.13 Hasil filtering STFT pada panjang jendela 16000 dari sinyal semi sintetik Gong untuk nada do sol



Gambar 4.14 Hasil filtering STFT pada panjang jendela 24000 dari sinyal semi sintetik Gong untuk nada do sol

Hasil filtering sinyal menunjukkan hasil yang sama dengan hasil percobaan pada nada tunggal Gong. Sehingga pada proses pengolahan sinyal musik lebar jendela yang cocok untuk digunakan adalah lebar yang kecil seperti yang digunakan yaitu lebar jendela 8000. diperoleh hasil yang salah karena dipengaruhi oleh proses *framing* sinyal sehingga menyebabkan sinyal nada bergeser. Ini dipengaruhi oleh frekuensi sinyal nada yang rapat.

4.2.2 Ketelitian Waktu – Frekuensi Musik Gong Menggunakan *Overlap Short Time Fourier Transform (OSTFT)*

Pada dasarnya metode OSTFT memiliki ketelitian frekuensi yang sama dengan metode STFT. Perbedaannya ada pada ketelitian waktu. OSTFT memiliki ketelitian waktu yang lebih baik dibandingkan metode STFT, karena OSTFT menggunakan ukuran *hop* yang merupakan nilai dari 25% dari panjang jendela. Analisis waktu – frekuensi pada metode OSTFT dilakukan

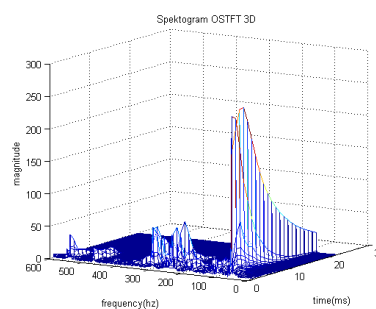
menggunakan tiga panjang jendela yang sama pada metode STFT. Ketelitian waktu – frekuensi tiga panjang jendela dan ukuran *hop* ditunjukkan pada tabel 4.4.

Tabel 4.4 Ketelitian Waktu – Frekuensi OSTFT

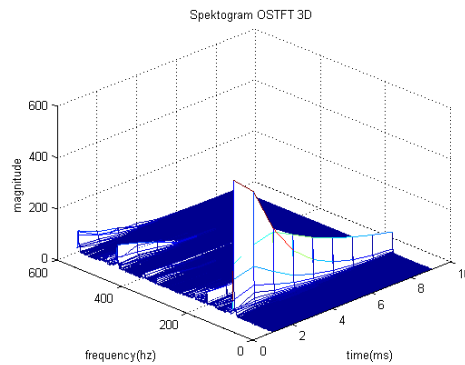
Panjang Window	Hop size	Delta f	Delta t
8000	2000	$\Delta f = 48000/8000$ = 6 Hz	$\Delta t = (2000 \times 1000)/48000$ = 41,67 ms
16000	4000	$\Delta f = 48000/16000$ = 3 Hz	$\Delta t = (4000 \times 1000)/48000$ = 83,33 ms
24000	6000	$\Delta f = 48000/24000$ = 2 Hz	$\Delta t = (6000 \times 1000)/48000$ = 500 ms

4.2.2.1 Ketelitian Waktu – Frekuensi Nada Gong Tunggal Pada Metode OSTFT

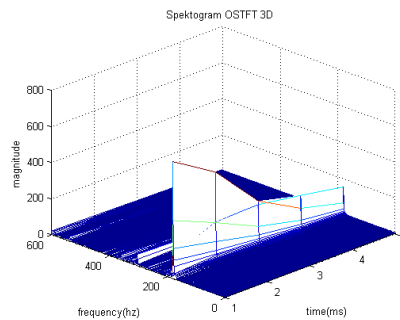
Sinyal nada tunggal yang digunakan pada proses OSTFT merupakan sinyal nada do seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.1. Hasil pengujian pada proses OSTFT ditampilkan menggunakan spektrogram tiga dimensi yang ditunjukkan pada gambar 4.15, 4.16 dan 4.17.



Gambar 4.15 Spektrogram hasil OSTFT pada panjang jendela 8000 dari sinyal Gong untuk nada do



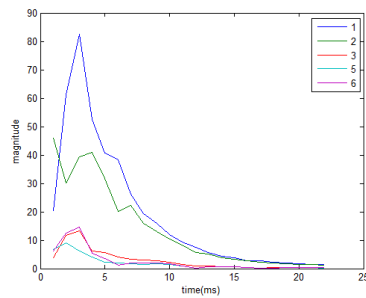
Gambar 4.16 Spektogram hasil OSTFT pada panjang jendela 16000 dari sinyal Gong untuk nada do



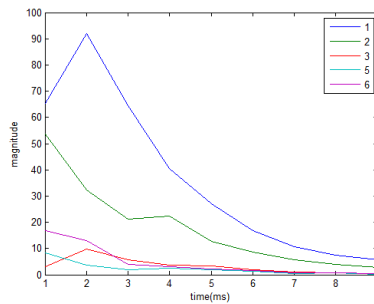
Gambar 4.17 Spektogram hasil OSTFT pada panjang jendela 24000 dari sinyal Gong untuk nada do

Hasil percobaan menunjukkan bahwa ketelitian waktu dan frekuensi pada metode OSTFT dihasilkan pada panjang jendela yang sama seperti yang dihasilkan metode STFT yaitu pada panjang jendela 8000. Namun, OSTFT memberikan ketelitian waktu yang lebih baik karena menghasilkan sinyal yang lebih rapat pada domain waktu. Kerapatan sinyal pada domain waktu dipengaruhi oleh ukuran *hop*. Ukuran *hop* memberikan panjang sampling sinyal yang lebih pendek pada domain waktu. Sedangkan ketelitian frekuensi pada STFT dan OSTFT adalah sama karena sama – sama dipengaruhi oleh panjang jendela.

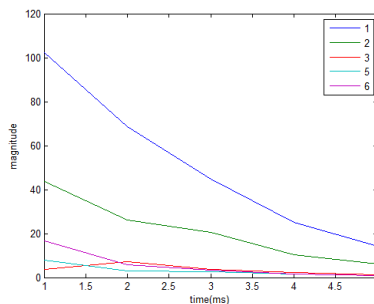
Ketelitian metode pada proses filtering sinyal ditunjukkan pada gambar 4.18 untuk panjang jendela 8000, gambar 4.19 untuk panjang jendela 16000 dan gambar 4.20 untuk panjang jendela 24000 .



Gambar 4.18 Hasil *filtering* OSTFT pada panjang jendela 8000 dari sinyal Gong untuk nada do



Gambar 4.19 Hasil *filtering* OSTFT pada panjang jendela 16000 dari sinyal Gong untuk nada do

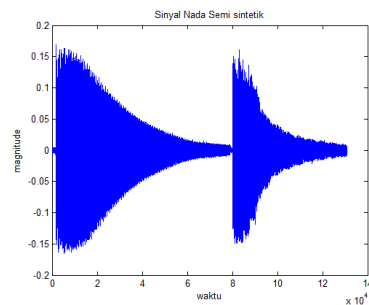


Gambar 4.20 Hasil *filtering* OSTFT pada panjang jendela 24000 dari sinyal Gong untuk nada do

Hasil *filtering* menunjukkan bahwa ketelitian metode OSTFT sama dengan metode STFT yaitu pada panjang window 8000. Perbedaannya adalah panjang sampling waktu yang dihasilkan OSTFT lebih panjang.

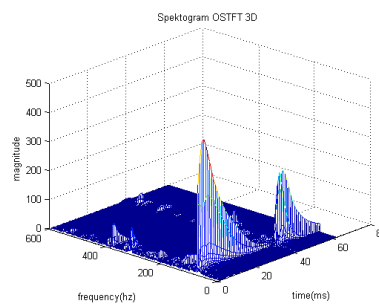
4.2.2.2 Analisis Time – Frekuensi Dua Nada Gong Pada Metode OSTFT

Sampel data yang digunakan adalah sama seperti pada metode STFT yaitu menggunakan data semi sintetik Gong nada mi do. Bentuk sinyal asli data semi sintetik Gong nada mi do ditunjukkan pada gambar 4.21.

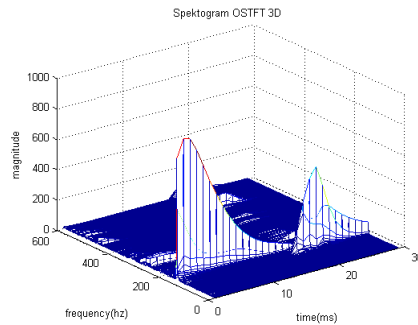


Gambar 4.21 Bentuk sinyal semi sintetik Gong nada mi do

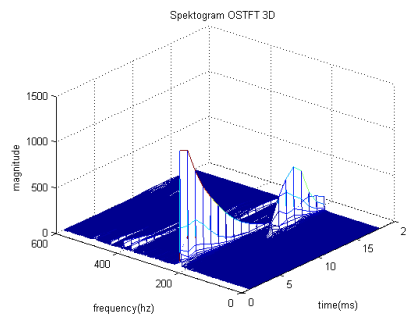
Setelah melalui proses OSTFT diperoleh spektrogram tiga dimensi dari sinyal nada semi sintetik pada gambar 4.21 yang ditunjukkan pada gambar 4.22 untuk panjang jendela 8000, gambar 4.23 untuk panjang jendela 16000 dan gambar 4.24 untuk panjang jendela 24000.



Gambar 4.22 Spektrogram hasil OSTFT pada panjang jendela 8000 dari sinyal semi sintetik Gong pada nada mi do



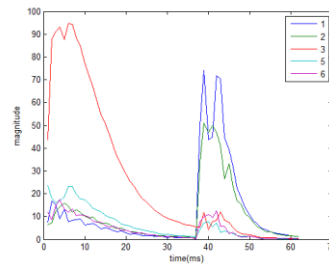
Gambar 4.23 Spektrogram hasil OSTFT pada panjang jendela 16000 dari sinyal semi sintetik Gong pada nada mi do



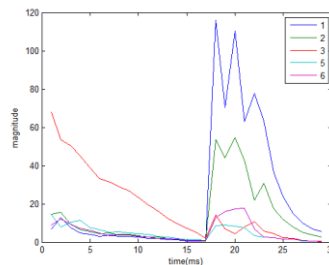
Gambar 4.24 Spektrogram hasil OSTFT pada panjang jendela 24000 dari sinyal semi sintetik Gong pada nada mi do

Spektrogram pada gambar 4.22, 4.23 dan 4.24 menunjukkan OSTFT memiliki ketelitian waktu yang lebih baik dibandingkan STFT. Sinyal yang lebih teliti waktunya dihasilkan pada panjang jendela 8000. Sinyal yang lebih teliti ditunjukkan dengan kerapatan sinyal yang dihasilkan yaitu pada panjang window 8000. Ini membuktikan bahwa pada metode OSTFT sinyal lebih teliti dihasilkan pada delta waktu terkecil.

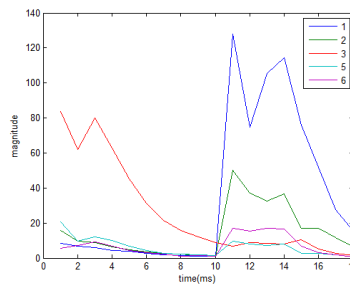
Ketelitian metode OSTFT dalam mempertahankan frekuensi sinyal pada proses pemisahan nada melalui proses filtering ditunjukkan pada gambar 4.25 untuk panjang jendela 8000, gambar 4.26 untuk panjang jendela 16000 dan gambar 4.27 untuk panjang jendela 24000.



Gambar 4.25 Hasil filtering OSTFT pada panjang jendela 8000 dari sinyal semi sintetik Gong untuk nada mi do



Gambar 4.26 Hasil filtering OSTFT pada panjang jendela 16000 dari sinyal semi sintetik Gong untuk nada mi do



Gambar 4.27 Hasil filtering OSTFT pada panjang jendela 24000 dari sinyal semi sintetik Gong untuk nada mi do

Ketelitian metode STFT pada proses filtering sinyal semi sintetik nada Gong dihasilkan pada panjang jendela 8000.

Hasil pemisahan nada sesuai jalur notasinya pada metode STFT dan OSTFT memberikan hasil yang sama. Ini membuktikan bahwa ketelitian frekuensi pada metode STFT dan OSTFT pada dasarnya adalah sama. Yang membedakannya adalah ketelitian waktu dimana pada metode OSTFT sinyal yang dihasilkan

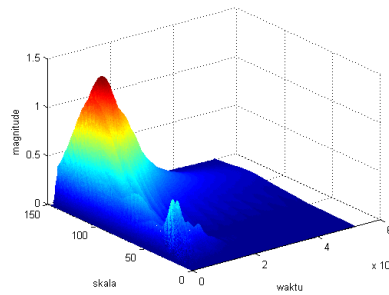
memiliki resolusi waktu yang lebih kecil. Ini menunjukkan ketelitian waktu yang baik. Ketelitian ini berpengaruh pada ketelitian frekuensi, dimana perbandingan resolusi frekuensi yang dihasilkan lebih rapat. Ini menunjukkan salah satu sifat OSTFT yaitu mempunyai jarak waktu pada setiap frekuensi adalah sama.

4.2.3 Analisis Waktu – Frekuensi Musik Gong Menggunakan *Continuous Wavelet Transform* (CWT)

Ekstraksi sinyal untuk analisis waktu – frekuensi sinyal musik gong pada metode CWT menggunakan skala 1 sampai 164. Induk wavelet yang digunakan adalah morlet *wavelet*. Morlet *wavelet* memiliki tingkat frekuensi yang signifikan dari $-4a$ sampai $+4a$. Jadi kita membutuhkan $8aFs$ untuk merepresentase *wavelet* ψ pada skala a . Skala 1 sampai 164 diartikan sebagai nilai skala dasar yang digunakan sebesar 1 dan delta skala 1 hingga 164 kali variasi nilai skala. Operasi CWT dimulai pada satu jenis nilai skala yang dilakukan pada setiap translasi hingga akhir durasi sinyal. Kemudian operasi tersebut diulang dengan nilai skala yang lebih besar hingga mencapai skala akhir yang memuat keseluruhan durasi sinyal yang dianalisa. Semakin besar nilai skala, maka hasil CWT yang dihasilkan merupakan representasi frekuensi sinyal yang semakin kecil. Penggunaan ke 164 variasi skala tersebut sudah dapat mewakili informasi keberadaan frekuensi pada sebuah sinyal nada musik gong.

4.2.3.1 Ketelitian Waktu – Frekuensi Nada Gong Tunggal Pada Metode CWT

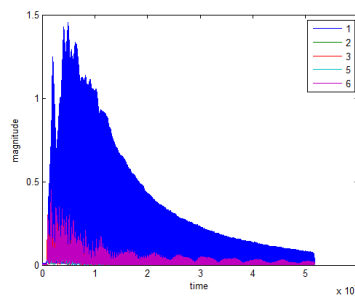
Nada tunggal yang digunakan adalah sampel nada do seperti yang digunakan pada metode STFT dan OSTFT. Nada tersebut pada metode CWT menghasilkan skalogram tiga dimensi yang ditunjukkan pada gambar 4.29.



Gambar 4.28 Skalogram tiga dimensi nada tunggal

Skalogram nada do pada gambar 4.28 menunjukkan bahwa koefisien frekuensi yang dihasilkan sangat rapat sehingga menghasilkan sinyal yang sangat halus. Kerapatan sinyal ini dipengaruhi oleh sampling waktu yang dihasilkan besar yaitu 50000. Nilai sampling waktu ini sama dengan nilai sampling waktu sinyal inputan (ditunjukkan pada gambar 4.1). Warna merah pada puncak sinyal menggambarkan frekuensi tertinggi. Frekuensi tinggi ini adalah frekuensi dari nada musik Gong nada do.

Sinyal skalogram kemudian dilakukan proses *filtering* untuk membagi nada ke jalur notasinya sesuai frekuensi nada tersebut. Hasil *filtering* nada yang diperoleh ditunjukkan pada gambar 4.29.



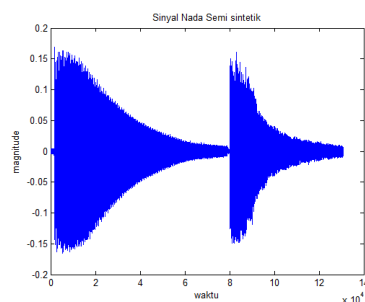
Gambar 4.29 Hasil filtering nada tunggal pada metode CWT

Gambar 4.29 menunjukkan hasil pemisahan nada menghasilkan nada yang sesuai dengan nada inputan yaitu nada do. Nada do yang diperoleh terletak pada sampling waktu 0 sampai 50000 sampling waktu. Nilai sampling waktu ini

sama dengan nilai sampling waktu yang memuat koefisien frekuensi yang dihasilkan pada skalogram. Dengan demikian metode CWT sangat teliti waktu dan frekuensinya. Ketelitian metode CWT ditandai dengan letak frekuensi nada yang diperoleh berada sepanjang sampling waktu karena salah satu sifat wavelet yang mampu melokalisir frekuensi di setiap waktu.

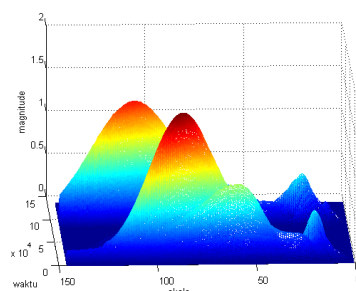
4.2.3.2 Analisis Time – Frekuensi Dua Nada Gong Pada Metode CWT

Sinyal nada gong yang digunakan dalam penjelasan ketelitian metode CWT adalah menggunakan nada gong semi sintetis nada mi do sama seperti pada metode STFT dan OSTFT. Bentuk sinyal semi sintetis do sol ditunjukkan oleh gambar 4.30.



Gambar 4.30 Bentuk Sinyal Semi Sintetik Gong Nada Mi Do

Sinyal nada mi do setelah melalui proses CWT menghasilkan skalogram seperti yang ditampilkan pada gambar 4.31.

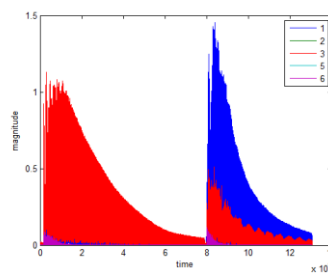


Gambar 4.31 Skalogram tiga dimensi nada mi do

Gambar 4.31 menunjukkan adanya dua puncak nada dengan bentuk sinyalnya sangat rapat. Selain itu sampling sinyal yang dihasilkan sama dengan

sampling sinyal inputan. Karakter sinyal pada skalogram yang dihasilkan menunjukkan ketelitian metode untuk proses pengolahan sinyal Gong sangat teliti.

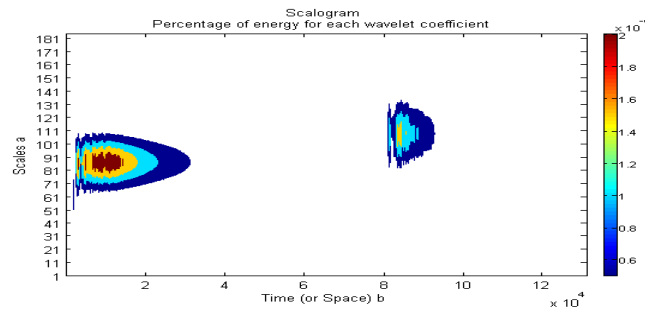
Skalogram sinyal yang dihasilkan kemudian dilakukan proses *filtering* untuk membagi nada ke jalurnya. Maksud pengujian ini adalah untuk mengetahui ketelitian sinyal dalam menerjemahkan sinyal ke notasinya. Hasil filtering nada ditunjukkan pada gambar 4.32.



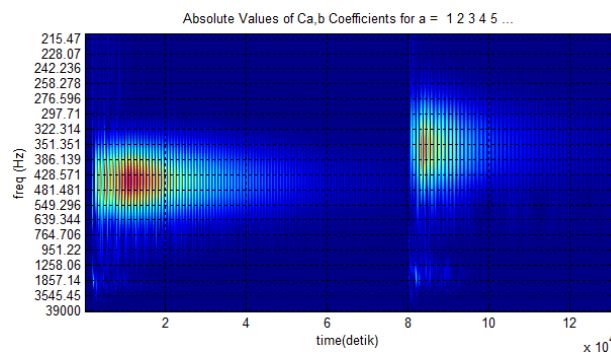
Gambar 4.32 Hasil filtering nada tunggal pada metode CWT

Hasil proses filter nada pada gambar 4.32 menunjukkan bahwa sinyal nada yang diperoleh sesuai dengan sinyal nada yang diinputkan yaitu nada mi dan do. Ketepatan pembagian sinyal ke masing – msing jalur ini menunjukkan bahwa metode CWT sangat teliti dalam proses pengolahan sinyal musik Gong.

Ketelitian waktu dan frekuensi yang dihasilkan pada metode CWT dapat diketahui dengan menghitung perbandingan skala dan frekuensi yang diperoleh. Untuk dapat menghitung perbandingan skala dan frekuensi berikut ditampilkan skalogram skala – waktu dan skalogram frekuensi – waktu yang ditunjukkan pada gambar 4.33 dan 4.34 sehingga dapat digunakan untuk mengamati nilai skala dan frekuensi yang diperoleh.



Gambar 4.33 Skalogram skala – waktu nada Gong mi do



Gambar 4.35 Skalogram frekuensi – waktu nada Gong mi do

Berdasarkan kedua skalogram diatas maka diperoleh ketelitian frekuensi yang diperoleh melalui perhitungan berikut.

$$\begin{aligned} \Delta f &= \frac{\text{selisih frekuensi}}{\text{selisih skala}} \\ &= \frac{163}{20} \\ &= 8.15 \end{aligned}$$

Ketelitian waktu diperoleh yang dihasilkan adalah :

$$\begin{aligned} \Delta f &= \frac{\text{selisih waktu}}{\text{sampling waktu}} \\ &= \frac{80000}{120000} \\ &= 0.666 \end{aligned}$$

Dengan demikian ketelitian frekuensi yang dihasilkan pada metode CWT kurang lebih sama dengan ketelitian frekuensi pada metode STFT dan OSTFT yaitu diperoleh 8.15 Hz. Namun ketelitian waktu metode CWT lebih teliti yaitu 0.666 ms dibandingkan metode STFT dan OSTF.

4.2.4 Perbandingan Ketelitian Analisis Waktu – Frekuensi Musik Gong Menggunakan Metode STFT, OSTFT dan CWT

Perbandingan ketelitian waktu yang ditampilkan adalah perbandingan ketelitian waktu terhadap hasil penelitian yang dipaparkan yaitu pada semi sintetis nada mi do. Perbandingan waktu dari data percobaan lain tidak ditampilkan karena pada dasarnya ketelitian waktu – frekuensi untuk masing – masing nada pada data percobaan adalah sama. Perbedaannya adalah metode yang digunakan. Ketelitian waktu diperoleh melalui perhitungan berikut.

$$X = \frac{Fs \times (t_{2(STFT;OSTFT)} - t_{1(STFT;OSTFT)})}{t_{2(CWT)} - t_{1(CWT)}} \times \frac{1}{1000}$$

Perbandingan dilakukan dengan membandingkan ketelitian metode CWT terhadap metode STFT dan OSTFT. Berdasarkan hasil pengamatan diperoleh perbandingan ketelitian waktu ketiga metode yang ditampilkan pada tabel 4.4.

Tabel 4.4 Perbandingan Ketelitian Waktu CWT Terhadap STFT dan OSTFT

STFT	OSTFT	CWT	Ketelitian (Delta t)	
			STFT/CWT	OSTFT/CWT
15 ms	23 ms	80000 ms	0.01	0.02
3.5 ms	12 ms	80000 ms	0.00289	0.0099
2 ms	6 ms	80000 ms	0.00165	0.00496

Keterangan tabel : STFT/CWT : perbandingan ketelitian CWT terhadap STFT.

OSTFT/CWT : perbandingan ketelitian CWT terhadap OSFT

Hasil perbandingan menunjukkan metode CWT memiliki ketelitian waktu yang baik yaitu < 1 . Tingkat ketelitian terkecil diperoleh pada perbandingan dengan metode STFT dan OSTFT yang memiliki durasi waktu terbesar.

4.3 Evaluasi Ketelitian Hasil

Evaluasi ketelitian hasil filtering dilakukan untuk mengetahui tingkat ketelitian metode dalam membagi sinyal ke masing – masing jalur notasinya. Evaluasi dilakukan menggunakan perhitungan *note error rate* (NER). Ketelitian terbaik dihasilkan oleh metode yang memiliki kesalahan terkecil.

Berdasarkan hasil pengamatan ketepatan pemisahan nada sesuai jalur masing – masing notasinya ditunjukkan pada tabel 4.5 untuk metode STFT, tabel 4.6 untuk metode OSTFT dan tabel 4.7 untuk metode CWT.

Tabel 4.5 Ketelitian metode STFT mempertahankan notasi nada berdasarkan hasil filtering

Sampel Data	N = 8000		N = 16000		N = 24000	
	Nada 1	Nada 2	Nada 1	Nada 2	Nada 1	Nada 2
Akustik tunggal (do)	b	-	b	-	b	-
Semi sintetik (do mi)	b	b	b	b	b	b
Semi sintetik (mi do)	b	b	b	b	b	b
Semi sintetik (re sol)	s	s	s	s	b	b
Semi sintetik (re la)	b	b	b	b	b	s
Semi sintetik (do la)	b	b	b	b	s	s
Semi sintetik (sol do)	s	s	s	s	s	s
Semi sintetik (sol re)	s	s	s	s	s	b
Semi sintetik (la re)	b	b	b	b	b	b
Jumlah	s = 6 , b = 11		s = 6, b = 11		s = 6, b = 11	

Keterangan : s = data yang dihasilkan salah.

b = data yang dihasilkan benar.

Tabel 4.6 Ketelitian metode OSTFT mempertahankan notasi nada berdasarkan hasil filtering

Sampel Data	N = 8000		N = 16000		N = 24000	
	Nada 1	Nada 2	Nada 1	Nada 2	Nada 1	Nada 2
Akustik Do	B		b		b	
Semi sintetik (do mi)	b	b	b	b	b	b
Semi sintetik (mi do)	b	b	b	b	b	b
Semi sintetik (re sol)	s	s	s	s	s	s
Semi sintetik (re la)	b	b	b	b	b	B
Semi sintetik (do la)	b	b	b	b	b	S
Semi sintetik (sol do)	s	s	s	s	s	S
Semi sintetik (sol re)	s	s	s	s	s	S
Semi sintetik (la re)	b	b	b	b	s	B
Jumlah	s = 6 , b = 11		s = 6 , b = 11		s = 8 , b = 9	

Keterangan : s = data yang dihasilkan salah.

b = data yang dihasilkan benar

Tabel 4.7 Ketelitian metode CWT mempertahankan nada berdasarkan hasil filtering

Sampel Data	Ketelitian	
	Nada 1	Nada 2
Akustik tunggal (do)	b	-
Semi sintetik (do mi)	b	b
Semi sintetik (mi do)	b	b
Semi sintetik (re sol)	b	b
Semi sintetik (re la)	b	b
Semi sintetik (do la)	b	b
Semi sintetik (sol do)	b	b
Semi sintetik (sol re)	s	b
Semi sintetik (la re)	b	b
Jumlah	s = 1, b = 16	

Keterangan : s = data yang dihasilkan salah.

b = data yang dihasilkan benar

Dengan menggunakan persamaan NER diperoleh hasil evaluasi kinerja yang ditunjukkan pada tabel 4.9. Tabel perbandingan dapat dilihat pada tabel 4.6.

$$\text{NER} = 100 \% \times \frac{\text{insertion} + \text{deletion} + \text{substitution}}{\text{jumlah h note}}$$

Keterangan , *Insertion* = nada yang seharusnya tidak ada tetapi dikenali sebagai nada.

Deletion = nada tidak dikenali sehingga terhapus.

Substitution = nada yang dikenali salah.

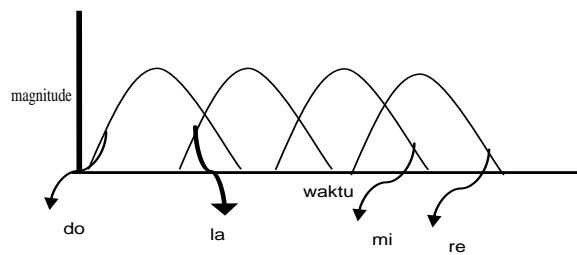
Tabel 4.8 Perbandingan ketelitian metode STFT, OSTFT dan CWT mempertahankan nada berdasarkan hasil filtering

Metode	NER (%)
STFT ($N = 24000$)	35.29 %
STFT ($N = 16000$)	35.29 %
STFT ($N = 8000$)	35.29 %
OSTFT ($N = 24000$)	47.05 %
OSTFT ($N = 16000$)	35.29 %
OSTFT ($N = 8000$)	35.29 %
CWT	5.88 %

Ketelitian yang diperoleh menunjukkan bahwa metode STFT memiliki nilai ketelitian yang sama untuk semua panjang jendela. Metode OSTF menghasilkan ketelitian terbaik pada panjang jendela 16000 dan 8000, sedangkan panjang jendela 24000 menghasilkan nilai ketelitian 47.05 %. Hal ini disebabkan oleh panjang jendela yang besar. panjang besar diketahui memberikan memberikan resolusi frekuensi rendah dan waktu yang panjang sehingga amplitudo sinyal melebar. Namun, dari ketiga metode yang digunakan CWT memberikan ketelitian yang terbaik yaitu sebesar 5.88 %.

4.4 Pengaruh Ketelitian Waktu – Frekuensi Terhadap Alat Musik Gong

Ketelitian waktu – frekuensi yang dihasilkan berbagai metode di atas sangat dibutuhkan dalam pengolahan sinyal musik Gong. Alasannya adalah alat musik Gong memiliki beberapa karakter yang mencakup keunikan pada aplikasi permainan instrumen Gong. Keunikan cara memainkan Gong adalah yaitu pada satu set Gong dimainkan oleh tiga orang secara bersama – sama. Permainan Gong yang dimainkan secara bersamaan menyebabkan adanya kerapatan pukulan yang berpengaruh pada aplikasi pengolahan sinyal khususnya pada deteksi onset. Deteksi onset diperlukan untuk transkripsi musik. Kerapatan pukul pada alat musik Gong ditunjukkan seperti pada gambar 4.36.



Gambar 4.36 Kerapatan pukulan pada instrumen Gong

Berdasarkan karakter Gong pada gambar 4.36 maka metode CWT cocok untuk digunakan pada pengolahan sinyal musik Gong karena ketelitian waktu yang dimiliki CWT sangat teliti. Selain itu ketepatan pembagian sinyal ke masing – masing jalur notasi juga menunjukkan metode CWT menghasilkan pembagian nada yang lebih akurat. Dengan demikian metode CWT merupakan metode yang tepat untuk digunakan pada proses analisis sinyal pada musik Gong.

BAB 5

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan keseluruhan hasil penelitian dengan melakukan analisis perbandingan waktu – frekuensi untuk dua nada Gong Timor menggunakan metode *short time fourier transform* (STFT), *overlap short time fourier transform* (OSTFT) dan *continous wavelet transform* (CWT) menunjukkan bahwa proses untuk mendapatkan metode yang dapat merepresentasikan sinyal nada Gong pada waktu – frekuensi yang lebih presisi dilakukan melalui proses pengolahan sinyal untuk merepresentasikan sinyal dalam domain waktu – frekuensi secara bersamaan kemudian dilakukan proses filtering untuk memisahkan nada ke masing – masing jalur notasinya agar kedua nada tersebut dapat dibedakan.

Percobaan yang dilakukan untuk 9 data diperoleh hasil pemisahan nada dari representasi sinyal domain waktu – frekuensi dengan tingkat ketelitian terbaik dihasilkan oleh CWT dengan menghasilkan kesalahan sebesar 5.88 %. Dengan demikian metode CWT lebih tepat digunakan dalam merepresentasikan sinyal nada Gong domain waktu – frekuensi untuk membedakan nada gong yang satu dengan nada gong yang lainnya sehingga dapat dilakukan pengembangan aplikasi pengolahan sinyal musik Gong seperti deteksi onsets, pengenalan notasi atau yang disebut dengan transkripsi musik dan lain - lain.

5.2 Saran

Dari keseluruhan hasil pengujian baik itu pada metode STFT, OSTFT maupun CWT menunjukkan sinyal yang masih mengandung banyak *noise*. Ini diakibatkan oleh tempat pengambilan data dan cara pengambilan data yang kurang tepat sehingga disarankan sebaiknya pengambilan data dilakukan oleh orang yang profesional.

Penelitian ini baru merupakan teknik proses ekstraksi sinyal untuk analisa ketelitian sinyal Gong dan *filtering* sinyal untuk memisahkan dua nada

yang ada dalam sebuah sinyal ke masing-masing jalur notasi nada Gong, sehingga dibutuhkan penelitian lanjutan untuk deteksi onset dan deteksi *beat* yang dapat digunakan untuk keperluan transkripsi musik Gong.

DAFTAR PUSTAKA

- Alat Musik Daerah. Web Pemerintahan Propinsi Nusa Tenggara Timur (<http://nttprov.go.id/site/index/.php/2013-07-22-06-19-20/pesona-budaya/116-alat-musik-daerah#19-gong>) [diunduh : 4 Januari 2014]
- Bello, J. P., Daudet, L., Abdallah, S., Duxbury, C., Davies, M., dan Sandler, M. B. (2005), "A Tutorial on Onset Detection in Music Signals," *IEEE Trans. on Speech and Audio Process.*, vol. 13, no. 5, hal. 1035-1047.
- Haruhiro Katavose, Hasakazu Ihal And Sei Ji Inokuchi., (1988) "Sentiment Extraction in Music", *IEEE CH2614-6/88/0000/1083\$01.00 0*.
- Klapuri, A. P., Eronen, A. J., dan Astola, J. T. (2006), "Analysis of the Meter of Acoustic Musical Signals," *IEEE Trans. on Audio, Speech, and Language Processing*, vol. 14, no. 1, hal. 342-355.
- Martinus Taeki. (2015). Nara sumber. Jumat, 19 Juni 2015. Jam 07.00 WIT, di Napan – Timor Tengah Utara, Kupang – Nusa Tenggara Timur, Indonesia. (No Telp. 081246598829)
- Muller, M., Ellis, D. P. W., Klapuri, A., dan Richard, G. (2011), "Signal Processing for Music Analysis," *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing*, vol. 5, no. 6, hal. 1088-1110.
- Paradzinets A, Hadi Harb, Liming Chen, "Use of Continuous Wavelet-like Transform in Automated Music Transcription". *IEEE Signal Processing Letters*, Vol. 11, No. 6, Hal. 4.
- Peter de Gersem, Bart De Moor, Mark Miorieri, (1977). "Application of The Continuous Wavelet Transform in The Processing of Musical Signal". *IEEE*
- Polikar Robby, (1996), "The Wavelet Tutorial Part III : Multiresolution Analysis and The Continuous Wavelet Transform", 2nd.
- Suprpto, Y. K. (2010), "Ekstraksi Suara Saron Berbasis Spectral-Density Menggunakan Filter Multidimensi," Disertasi Doktor, Jurusan Teknik Elektro ITS.

- Tjahyanto Aris, Diah Puspito Wulandari, Yoyon K Suprpto (2013). "Time-Frequency Analysis of Gamelan Sound Signals using Continuous Wavelet Transform" Proc. Sem. Nas. Aplikasi Teknologi Informasi. SNATI. Yogyakarta: JTI UII
- Widiastuti Yosefine, (2012), "Gamelan Music Onset Detection Using Hidden Markov Model". Article of Journal of Electrical and Electronics Engineering, Volume 7, Number 2.

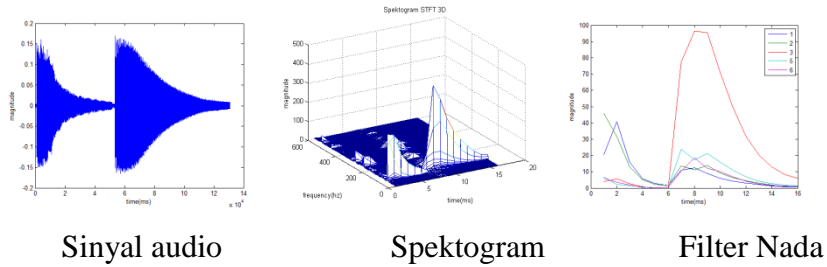
LAMPIRAN 1

Hasil Analisis dan Filtering Waktu – Frekuensi Nada Gong

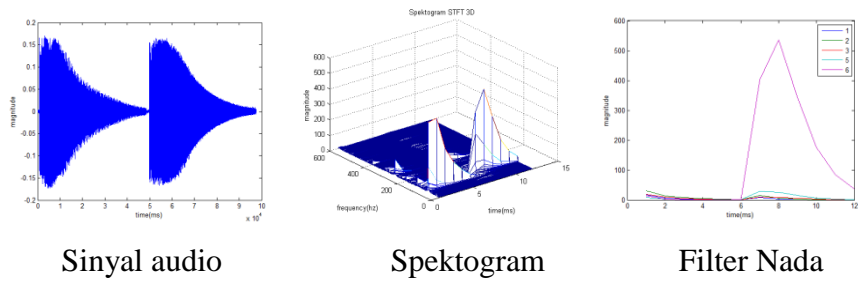
Metode STFT

STFT (Panjang Jendela 8000)

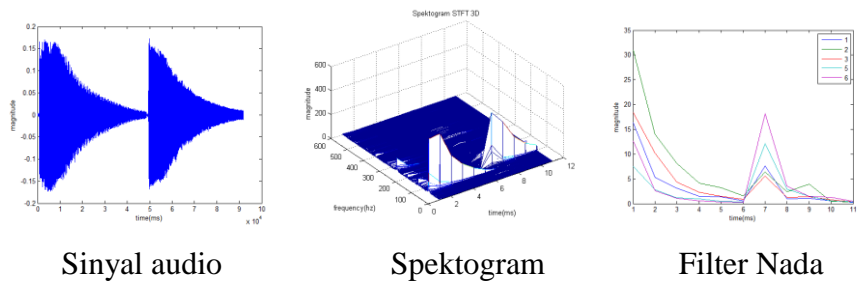
Nada do mi



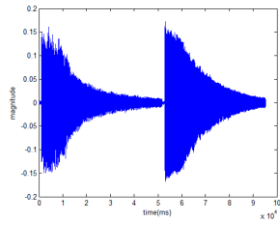
Nada re sol



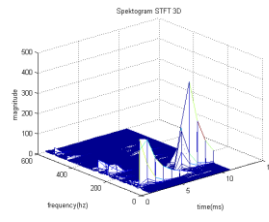
Nada Re la



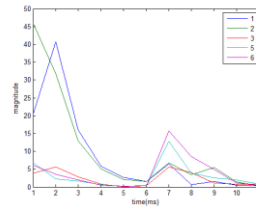
Nada do la



Sinyal audio

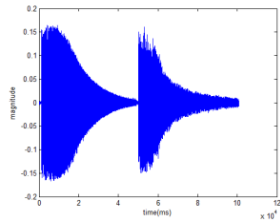


Spektrogram

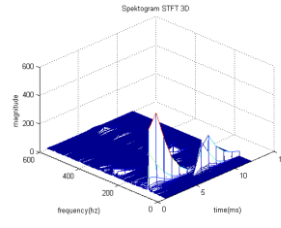


Filter Nada

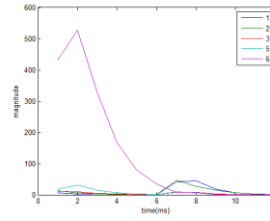
Nada sol do



Sinyal audio

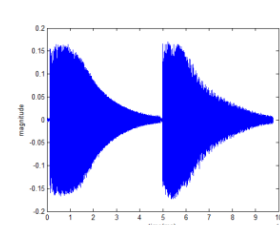


Spektrogram

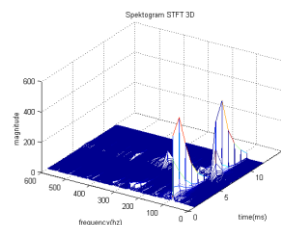


Filter Nada

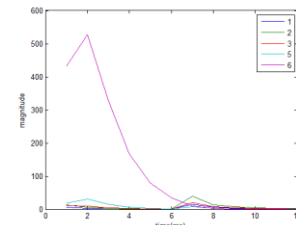
Nada sol re



Sinyal audio

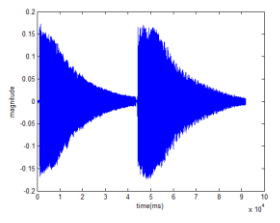


Spektrogram

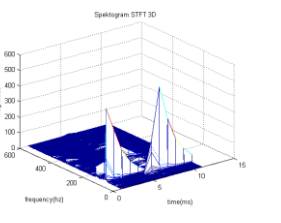


Filter Nada

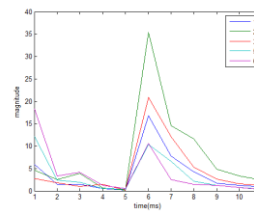
Nada la re



Sinyal audio



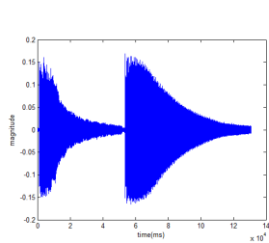
Spektrogram



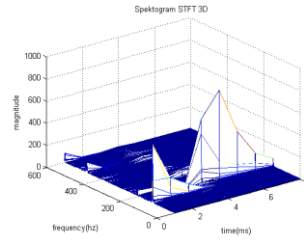
Filter Nada

STFT (Panjang Jendela 16000)

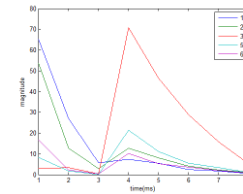
Nada do mi



Sinyal audio

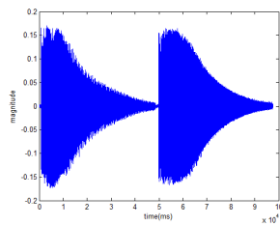


Spektrogram

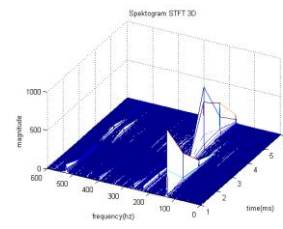


Filter Nada

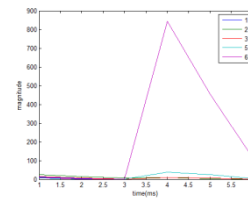
Nada re sol



Sinyal audio

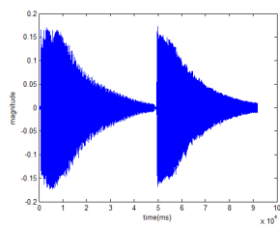


Spektrogram

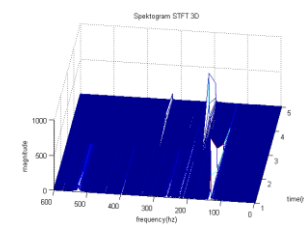


Filter Nada

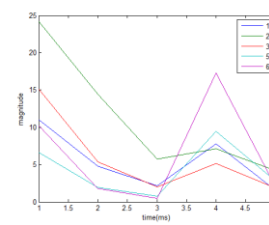
Nada Re la



Sinyal audio

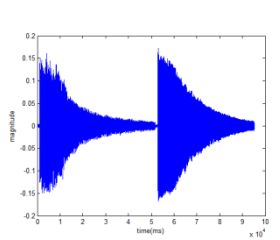


Spektrogram

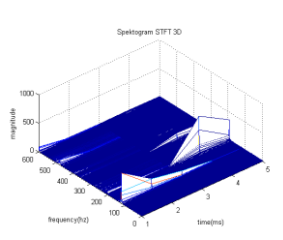


Filter Nada

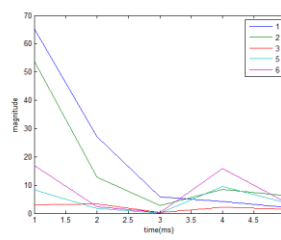
Nada do la



Sinyal audio

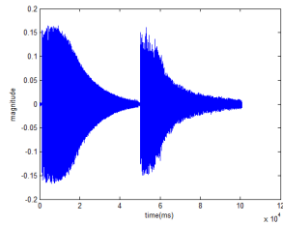


Spektrogram

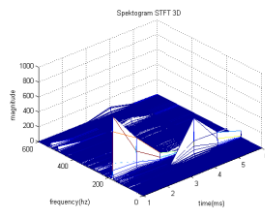


Filter Nada

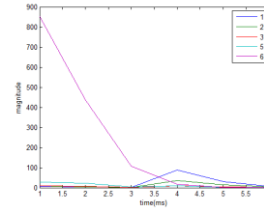
Nada sol do



Sinyal audio

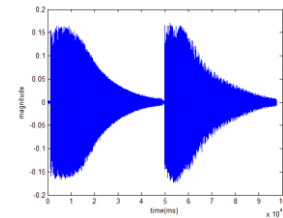


Spektogram

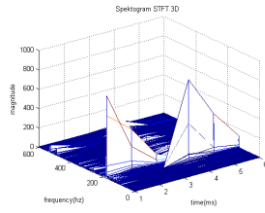


Filter Nada

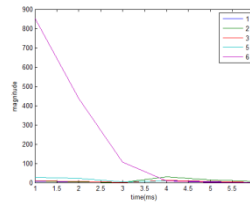
Nada sol re



Sinyal audio

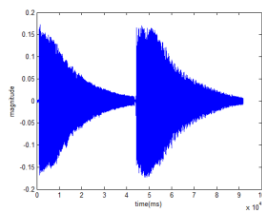


Spektogram

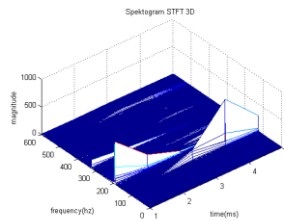


Filter Nada

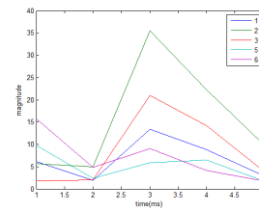
Nada la re



Sinyal audio



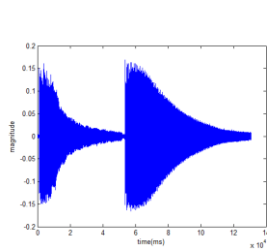
Spektogram



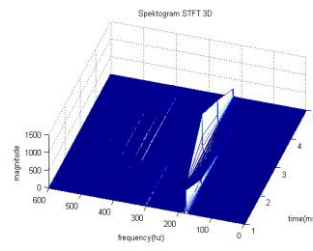
Filter Nada

STFT (Panjang Jendela 24000)

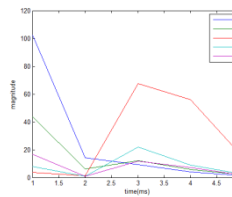
Nada do mi



Sinyal audio

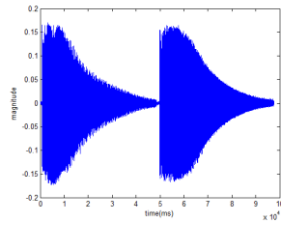


Spektogram

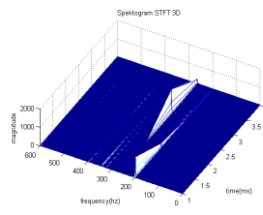


Filter Nada

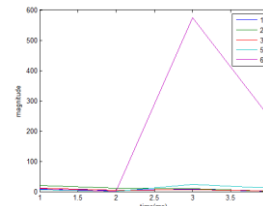
Nada re sol



Sinyal audio

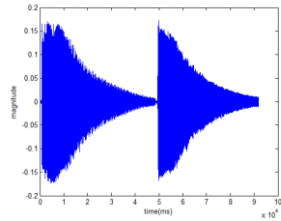


Spektogram

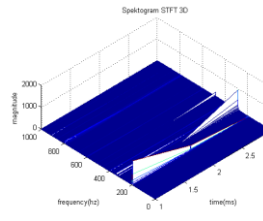


Filter Nada

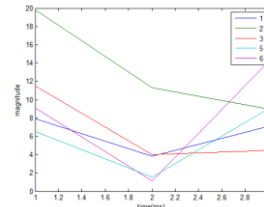
Nada Re la



Sinyal audio

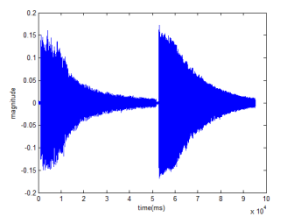


Spektogram

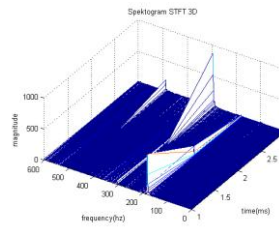


Filter Nada

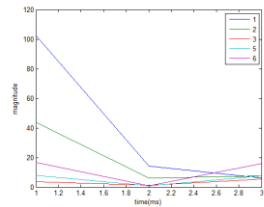
Nada do la



Sinyal audio

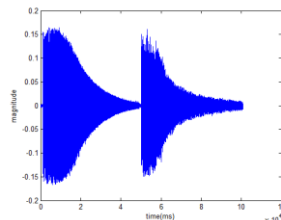


Spektogram

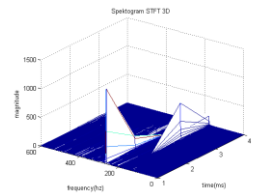


Filter Nada

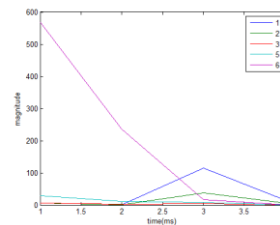
Nada sol do



Sinyal audio

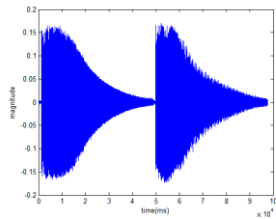


Spektogram

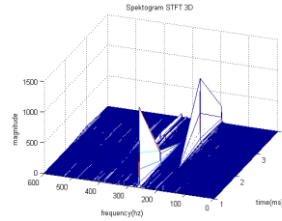


Filter Nada

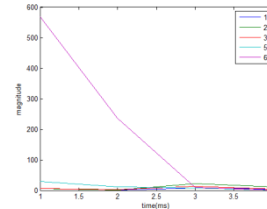
Nada sol re



Sinyal audio

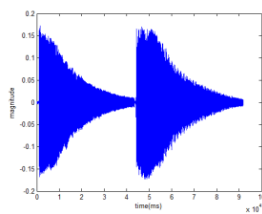


Spektrogram

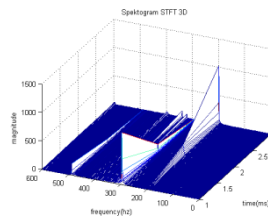


Filter Nada

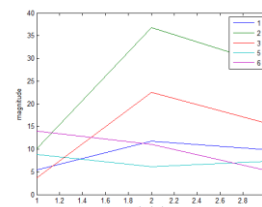
Nada la re



Sinyal audio



Spektrogram

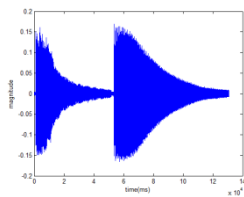


Filter Nada

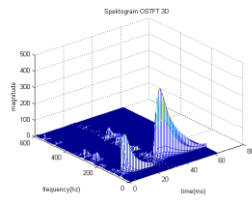
Metode OSTFT

STFT (Panjang Jendela 8000)

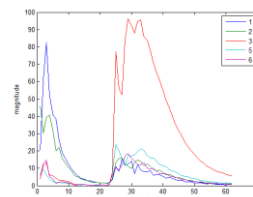
Nada do mi



Sinyal audio

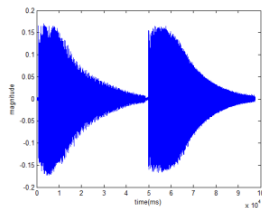


Spektrogram

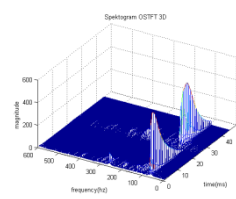


Filter Nada

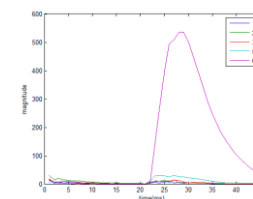
Nada re sol



Sinyal audio

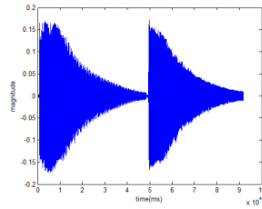


Spektrogram

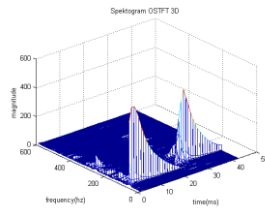


Filter Nada

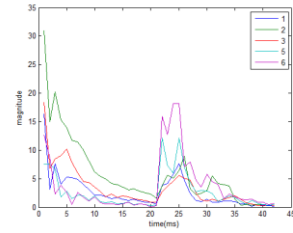
Nada Re la



Sinyal audio

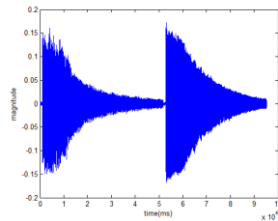


Spektrogram

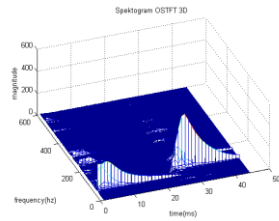


Filter Nada

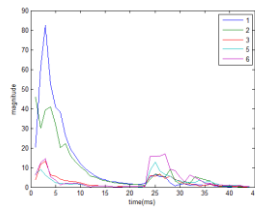
Nada do la



Sinyal audio

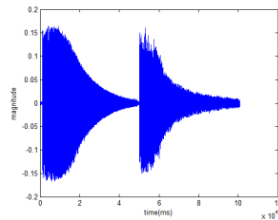


Spektrogram

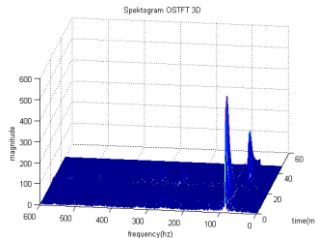


Filter Nada

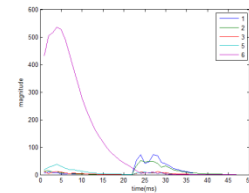
Nada sol do



Sinyal audio

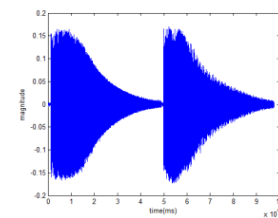


Spektrogram

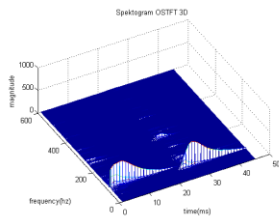


Filter Nada

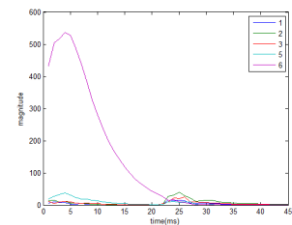
Nada sol re



Sinyal audio

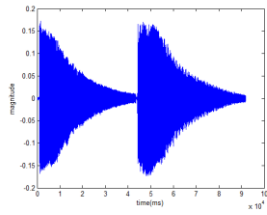


Spektrogram

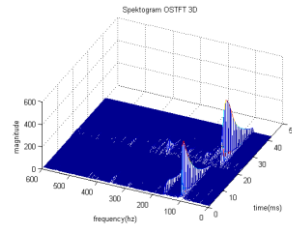


Filter Nada

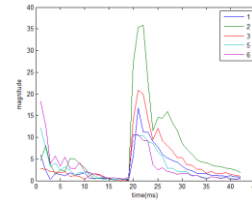
Nada la re



Sinyal audio



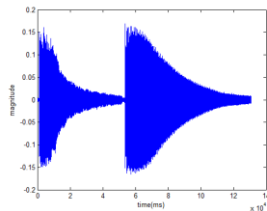
Spektrogram



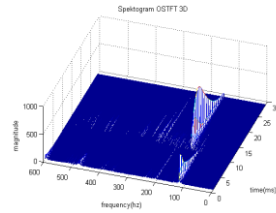
Filter Nada

STFT (Panjang Jendela 16000)

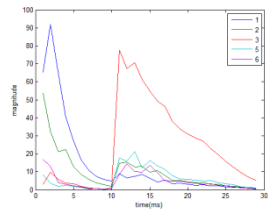
Nada do mi



Sinyal audio

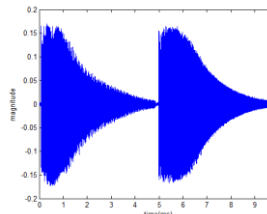


Spektrogram

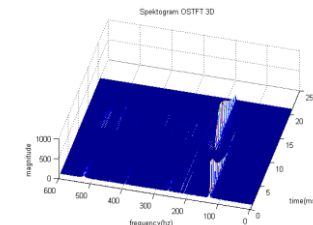


Filter Nada

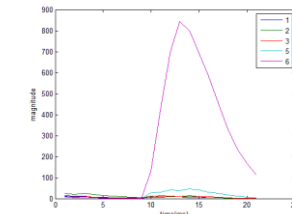
Nada re sol



Sinyal audio

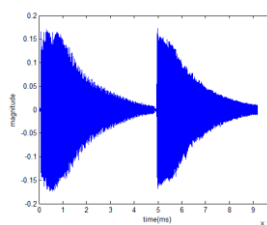


Spektrogram

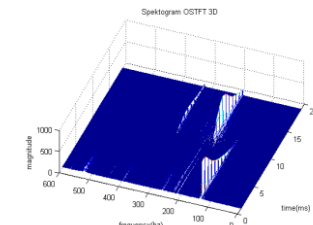


Filter Nada

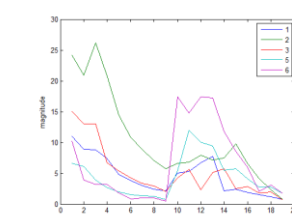
Nada Re la



Sinyal audio

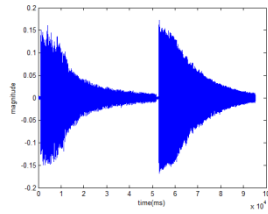


Spektrogram

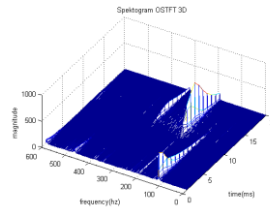


Filter Nada

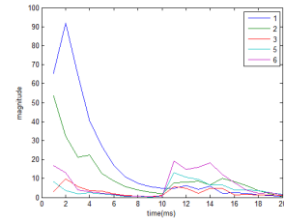
Nada do la



Sinyal audio

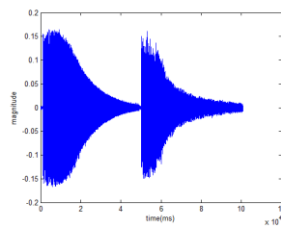


Spektogram

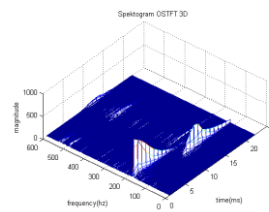


Filter Nada

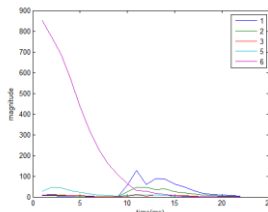
Nada sol do



Sinyal audio

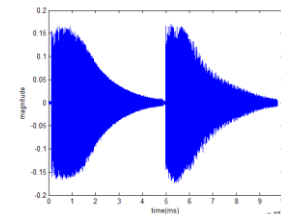


Spektogram

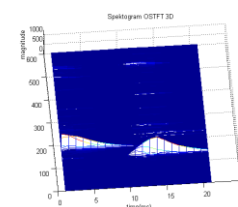


Filter Nada

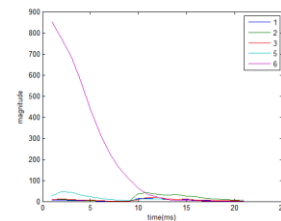
Nada sol re



Sinyal audio

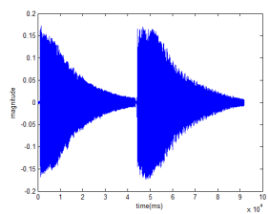


Spektogram

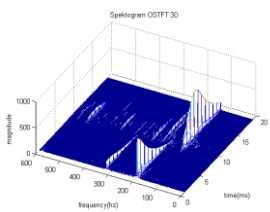


Filter Nada

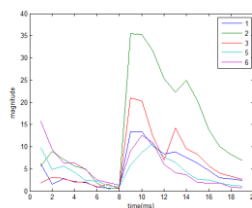
Nada la re



Sinyal audio



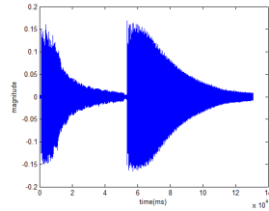
Spektogram



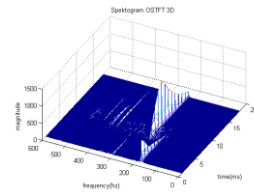
Filter Nada

STFT (Panjang Jendela 24000)

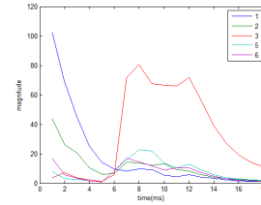
Nada do mi



Sinyal audio

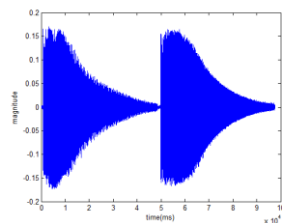


Spektrogram

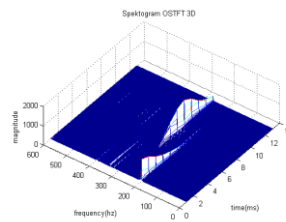


Filter Nada

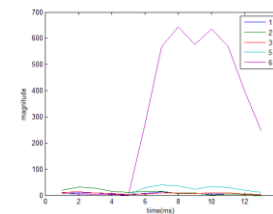
Nada re sol



Sinyal audio

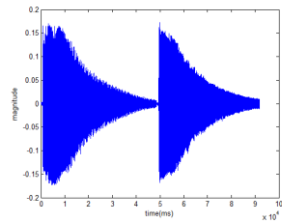


Spektrogram

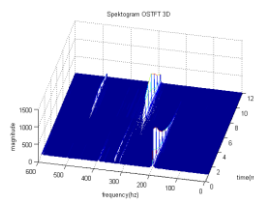


Filter Nada

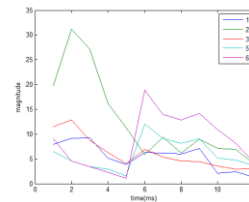
Nada Re la



Sinyal audio

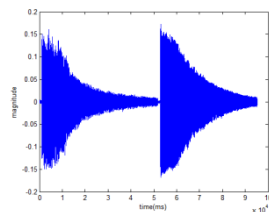


Spektrogram

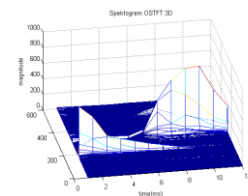


Filter Nada

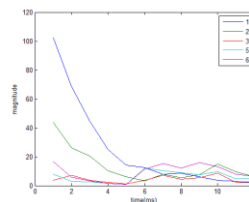
Nada do la



Sinyal audio

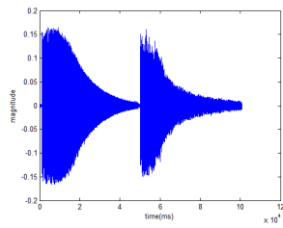


Spektrogram

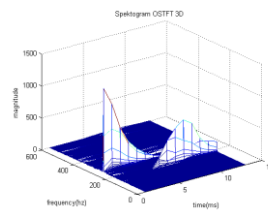


Filter Nada

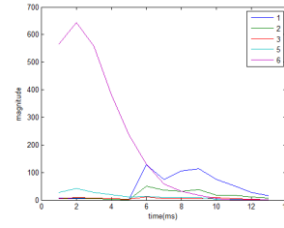
Nada sol do



Sinyal audio

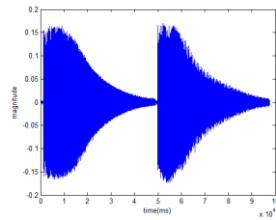


Spektrogram

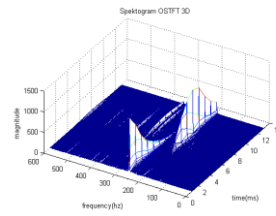


Filter Nada

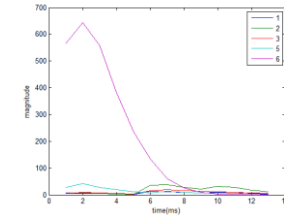
Nada sol re



Sinyal audio

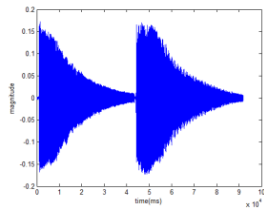


Spektrogram

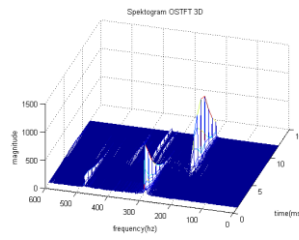


Filter Nada

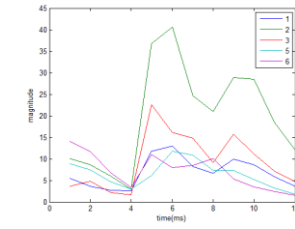
Nada la re



Sinyal audio



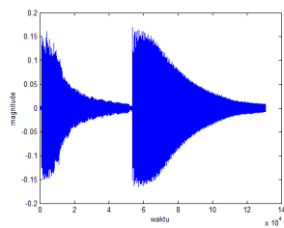
Spektrogram



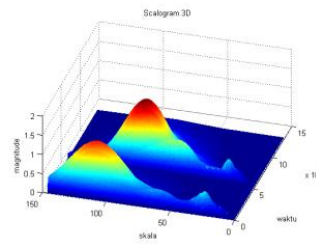
Filter Nada

Metode CWT

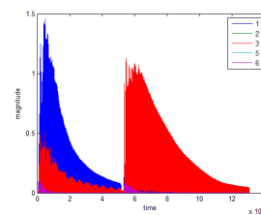
Nada do mi



Sinyal audio

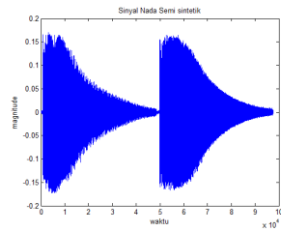


Skalogram 3D

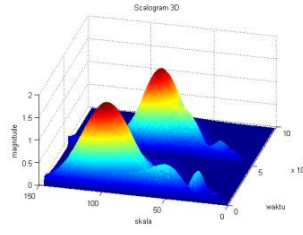


Filtering nada

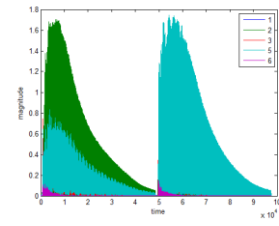
Nada re sol



Sinyal audio

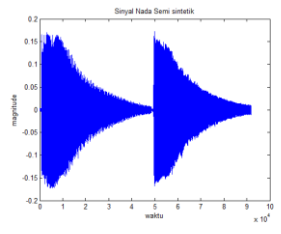


Skalogram 3D

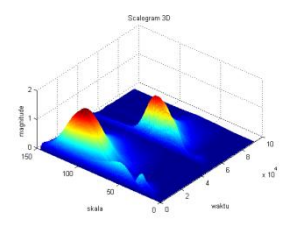


Filtering nada

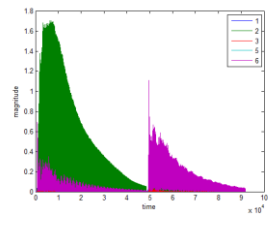
Nada re la



Sinyal audio

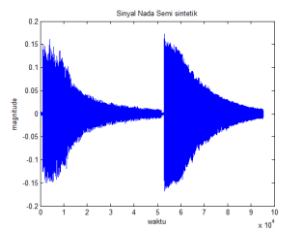


Skalogram 3D

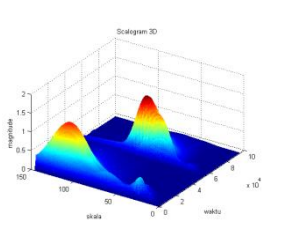


Filtering nada

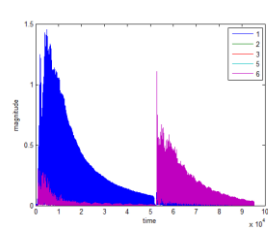
Nada do la



Sinyal audio

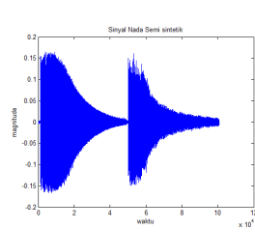


Skalogram 3D

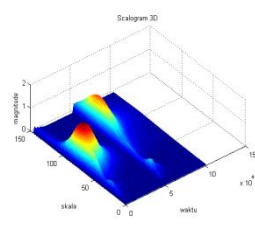


Filtering nada

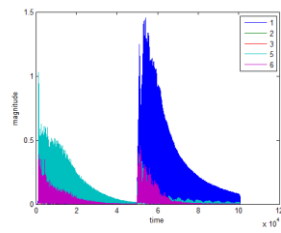
Nada sol do



Sinyal audio

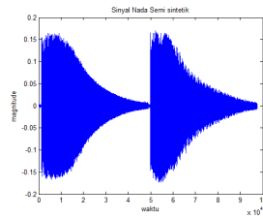


Skalogram 3D

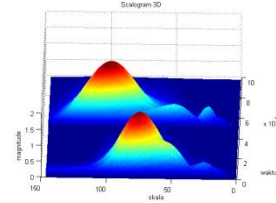


Filtering nada

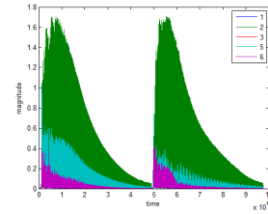
Nada sol re



Sinyal audio

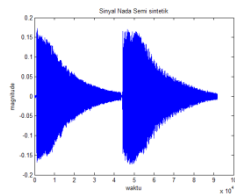


Skalogram 3D

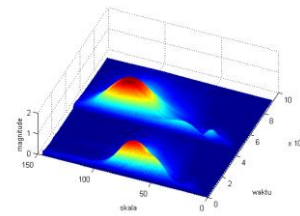


Filtering nada

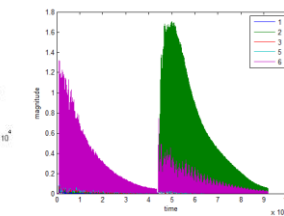
Nada la re



Sinyal audio



Skalogram 3D



Filtering nada

BIODATA PENULIS



Yovinia Carmeneja Hoar Siki lahir pada tanggal 5 Mei 1988 di Oenunu. Penulis merupakan anak bungsu dari tiga bersaudara. Penulis menamatkan studi S1 di Jurusan Teknik Elektro Universitas Nusa Cendana pada tahun 2012 dengan judul Tugas Akhir “Desain Sistem Informasi Terintegrasi Berbasis Web dan *Short Message Service* (SMS) *Gateway* untuk Pemesanan Tenunan Adat Lokal Belu dan Timor Tengah Utara”. Pada tahun 2013, penulis melanjutkan studi S2 di Jurusan Teknik Elektro ITS. Tesis ini disusun sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Magister Teknik untuk periode wisuda September 2015. Terkait dengan penelitian tesis ini, penulis bisa dihubungi melalui alamat email **cyovinia@yahoo.com**.

