



TESIS – TE - 142599

ANALISA SINYAL POLYPHONIC MENGGUNAKAN CROSS-CORRELATION PADA SASANDO

LOUIS FERDINAND BOESDAY
2213 206 001

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
2016



TESIS – TE - 142599

POLYPHONIC SIGNAL ANALYSIS USING CROSS-CORRELATION ON SASANDO

LOUIS FERDINAND BOESDAY
2213 206 001

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

MAGISTER PROGRAM
FIELD OF STUDY TELEMATICS
MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
INSTITUTE OF TECHNOLOGY SEPULUH NOPEMBR
SURABAYA
2016

Thesis telah disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (MT)
Di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :
Louis Ferdinand Boesday
NRP : 2213206001

Tanggal Ujian : 7 Januari 2016
Periode Wisuda : Maret 2016


Disetujui oleh:



1. Dr. Ir. Yoyon K. Suprpto, M.Sc. (Pembimbing I)
NIP. 19540925 197803 1 001


2. Dr. Ir. Achmad Affandi, DEA (Penguji)
NIP. 196510141990021001


3. Dr. Adhi Dharmawibawa, ST., MT. (Penguji)
NIP. 19760505 200812 1003


4. Dr. Ir. Wirawan, DEA (Penguji)
NIP. 19631109 198903 1 011


5. Eko Setijadi, ST., MT., Ph.D. (Penguji)
NIP. 19721001 200312 1 002


6. Dr. Surya Sumpeno, ST., M.Sc. (Penguji)
NIP. 196906131997021003



Direktur Program Pasca Sarjana,


Prof. Dr. Djauhar Manfaat, M.Sc, Ph.D
NIP. 19601202 198701 1 001

ANALISA SINYAL POLYPHONIC MENGGUNAKAN CROSS-CORRELATION PADA SASANDO

Nama mahasiswa : Louis Ferdinand Boesday
NRP : 2213 206 001
Pembimbing : Dr. Ir. Yoyon Kusnendar Suprpto, M.Sc.

ABSTRAK

Proses analisa sinyal *polyphonic* merupakan dasar dari topik analisa sinyal. Pada penelitian ini juga dibahas proses analisa terhadap sinyal musik. Instrumen alat musik yang digunakan dalam penelitian ini ialah sasando. Sasando dipilih bukan hanya karena keunikannya dan karakteristiknya sebagai alat musi tradisional namun juga bertujuan dalam proses pelestarian. Proses pelestarian terhadap alat musik sasando menjadi penting mengingat semakin berkurangnya minat masyarakat untuk memainkan alat musik tradisional ini.

Penelitian ini menggunakan metode *correlation*. Metode ini membandingkan dua buah sinyal untuk mencari kesamaan diantara kedua sinyal yang dibandingkan. Pada penelitian ini dilakukan perbandingan terhadap sinyal *polyphonic*. Sinyal *polyphonic* yang dimaksud ialah *chord*. Nilai kesamaan antara dua sinyal yang dibandingkan dapat dilihat dari karakteristik sinyal hasil *correlation*. Karakteristik yang dimaksud berupa nilai amplitudo maksimum dan bentuk sinyal hasil *correlation*.

Kata kunci : *Polyphonic, correlation, chord, sasando*

POLYPHONIC SIGNAL ANALYSIS USING CROSS-CORRELATION ON SASANDO

By : Louis Ferdinand Boesday
Student Number : 2213 206 001
Supervisor : Dr. Ir. Yoyon Kusnendar Suprpto, M.Sc.

ABSTRACT

Polyphonic signal analyzing process becomes the basic topic of signal analysis currently. Furthermore, analysis on the signal of music is also becomes the part of this topic. The main chosen instrument is sasando. As the matter of fact, this is not only about its characteristic of sound but also because of the need for the preservation of this musical instrument which is about getting to be abandoned.

This research will apply cross correlation method. Cross correlation method will done through signal comparing. We compare polyphonic signal (chord), which having multiple fundamental frequencies. The compatibility can be obtained from amplitude score and signal form characteristic as the result of cross-correlation process.

Keywords : : Polyphonic, correlation, chord, sasando

KATA PENGANTAR

Puji syukur dipanjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena hanya oleh hikmat dari-Nya maka proses penelitian ini dapat terselesaikan.

Buku ini hanya membahas sebagian kecil dari pengetahuan mengenai proses analisa sinyal. Berbagai penelitian lanjutan sangat penting untuk terus mengembangkan pengetahuan di konsentrasi bidang pengolahan sinyal. Ketertarikan untuk membahas sinyal musik pada alat musik sasando dilandasi oleh kecintaan terhadap alat musik tradisional. Namun salah satu alasan terkuat ialah adanya keprihatinan terhadap kondisi dari keberadaan alat musik sasando yang perlu dilestarikan. Hal ini dikarenakan masyarakat setempat yang lebih memilih menggunakan alat musik barat dibandingkan dengan sasando. Bila hal ini terus berlanjut maka dapat mengancam kelestarian alat musik ini. Oleh karena itu, melalui penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan bagi para pemusik terutama pemusik sasando dalam proses pembelajaran dan pelestarian kedepan.

Ucapan terima kasih diberikan kepada semua pihak yang telah membantu penyelesaian penelitian ini terutama kepada Dosen Pembimbing Bapak Dr. Ir. Yoyon Kusnendar Suprpto, M.Sc., atas waktu dan arahan ilmu pengetahuan yang sangat membantu selama proses penelitian. Penulis menyadari tanpa Beliau maka penelitian ini tidak dapat terselesaikan. 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.

Penulis berharap hasil penelitian ini dapat bermanfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan serta pelestarian kebudayaan terhadap alat musik tradisional Indonesia terutama sasando.

Surabaya, 8 Desember 2015

Penulis

DAFTAR ISI

Lembar Pengesahan	i
Pernyataan Keaslian Thesis.....	iii
Abstrak	v
Kata Pengantar	vii
Daftar Isi	ix
Daftar Gambar	xv
Daftar Tabel	xxi
Daftar Istilah dan Variabel.....	xxiii
Bab 1. Pendahuluan	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian	3
Bab 2. Tinjauan Pustaka	5
2.1 Teori Penunjang	5
2.1.1 Sasando	5
2.1.1.1. Sejarah sasando.....	5
2.1.1.2. Jenis Sasando	6
2.1.1.3. Teknik Permainan	8
2.1.1.4. Pembuatan sasando	9
2.1.1.5. Fungsi sasando dalam kehidupan masyarakat	10
2.1.1.6. Tangga nada sasando	10
2.1.2 Tangga nada.....	11

2.1.3 Pengolahan sinyal dan transformasi Fourier.....	14
2.1.3.1 Frekuensi sampling (<i>sampling frequency</i>).....	14
2.1.3.2 <i>Aliasing</i>	15
2.1.3.3 Transformasi Fourier	18
2.1.3.4 <i>Short-Time Fourier Transform (STFT)</i>	20
2.1.4 Pengolahan sinyal <i>monophonic</i> dan <i>polyphonic</i>	22
2.1.5 <i>Cross-correlation</i> dan <i>autocorrelation</i>	23
Bab 3. Metode Penelitian.....	31
3.1 Data Penelitian	31
3.2 <i>Chord</i>	31
3.3 Karakteristik mikrofon kondenser Behringer B1	32
3.4 Metode penelitian.....	35
Bab 4. Hasil Penelitian dan Pembahasan.....	45
4.1 Proses pengambilan data.....	45
4.2 Teknik perekaman data	49
4.3 Data Percobaan.....	51
4.4 Hasil penelitian.....	55
4.4.1 Perbandingan sinyal <i>monophonic</i>	55
4.4.2 Perbandingan <i>chord</i> (3 nada penyusun) dengan <i>chord</i> (3 nada penyusun) pada tempo yang sama	61
4.4.3 Perbandingan <i>chord</i> (3 nada penyusun) dengan <i>chord</i> (3 nada penyusun) pada tempo yang berbeda.....	66
4.4.4 Perbandingan <i>chord</i> (4 nada penyusun) dengan <i>chord</i> (4 nada penyusun) pada tempo yang sama	72

4.4.5 Perbandingan <i>chord</i> (4 nada penyusun) dengan <i>chord</i> (4 nada penyusun) pada tempo yang berbeda.....	77
4.4.6 Perbandingan <i>chord</i> (3 nada penyusun) dengan <i>chord</i> (4 nada penyusun) pada tempo yang sama	83
4.4.7 Perbandingan <i>chord</i> (3 nada penyusun) dengan <i>chord</i> (2 nada penyusun) pada tempo yang berbeda.....	87
4.4.8 Perbandingan <i>chord</i> (3 nada penyusun) dengan <i>chord</i> tunggal	92
4.4.9 Pengklasifikasian nilai ambang (<i>threshold</i>) amplitudo dari masing-masing jenis data <i>chord</i> sasando.....	97
Bab 5. Kesimpulan dan Saran.....	107
5.1 Kesimpulan	107
5.2 Saran.....	108
Daftar Pustaka.....	109
Biografi Penulis.....	111

DAFTAR GAMBAR

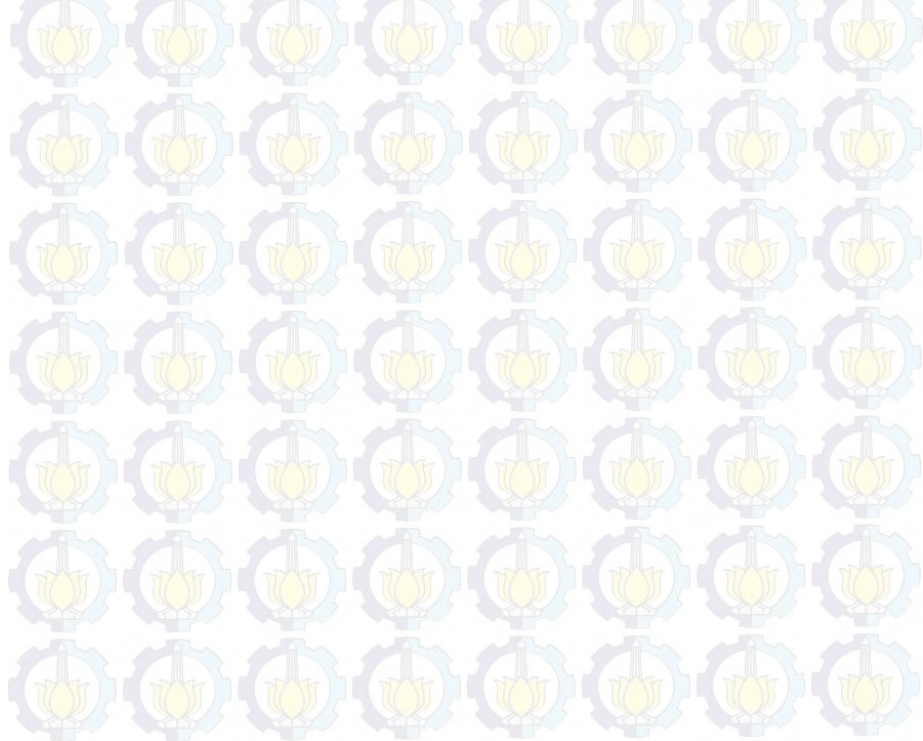
Gambar 2.1 Jenis Sasando	6
Gambar 2.2 Sistem penelaan alat musik sasando gong	7
Gambar 2.3 Teknik penjarian pada sasando biola	8
Gambar 2.4 Bagian-bagian sasando.....	9
Gambar 2.5 Tangga nada diatonis	11
Gambar 2.6 Tangga nada diatonis mayor	12
Gambar 2.7 Tangga nada diatonis minor.....	13
Gambar 2.8 Tangga nada pentatonis.....	13
Gambar 2.9 Tangga nada kromatik.....	14
Gambar 2.10 Gelombang sinus pada frekuensi $f=1\text{Hz}$ dan $f_s = 100\text{Hz}$	16
Gambar 2.11 Gelombang sinus pada frekuensi $f=20\text{Hz}$ dan $f_s = 100\text{Hz}$	17
Gambar 2.12 Gelomban sinus pada frekuensi $f=95\text{Hz}$ dan $f_s = 100\text{Hz}$	17
Gambar 2.13 Bagan proses transformasi Fourier	19
Gambar 2.14 Sinyal $x(n)$ dengan 1536 sampel	19
Gambar 2.15 Proses transformasi fourier	20
Gambar 2.16 Proses <i>Short-Time Fourier Transform (STFT)</i>	21
Gambar 2.17 Spektogram sinyal nada C.....	22
Gambar 2.18 Spektogram <i>chord</i> C Mayor Triad.....	22
Gambar 2.19 <i>Convolution, cross-correlation</i> dan <i>autocorrelation</i>	24
Gambar 2.20 Komponen penyusun dari sinyal $x(n)$ yang dapat digeser sejauh panjang nilai l 25	
Gambar 2.21 Proses perbandingan sinyal dengan <i>cross-correlation</i>	27
Gambar 2.22 Spektogram <i>chord</i> C pada <i>arpeggio</i> 3 penyusun	27
Gambar 2.23 Bentuk sinyal hasil <i>autocorrelation</i>	29

Gambar 2.24 Sinyal hasil <i>cross-correlation</i>	29
Gambar 3.1 Diagram kerja mikrofon kondenser	33
Gambar 3.2 Arah sensitivitas tangkapan suara mikrofon	33
Gambar 3.3 Arah sensitivitas tangkapan suara mikrofon Behringer B-1	34
Gambar 3.10 Diagram alir metode penelitian.....	36
Gambar 3.11 Blok diagram proses <i>correlation</i>	38
Gambar 3.12 Proses perbandingan antar <i>chord</i>	39
Gambar 3.13 Ilustrasi perbandingan <i>chord</i> dengan <i>arpeggio</i> 3 nada	39
Gambar 3.14 Ilustrasi perbandingan <i>chord</i> dengan <i>arpeggio</i> 4 nada	40
Gambar 3.15 Ilustrasi perbandingan <i>chord</i> pada <i>arpeggio</i> 3 nada terhadap 4 nada..	41
Gambar 3.16 Ilustrasi perbandingan <i>chord</i> pada <i>arpeggio</i> 3 nada terhadap 2 nada..	41
Gambar 3.17 Ilustrasi perbandingan <i>chord</i> pada <i>arpeggio</i> 3 nada terhadap nada tunggal	42
Gambar 4.1 Mikrofon kondenser tipe Behringer B-1	45
Gambar 4.2 Perangkat <i>audio mixer</i> tipe Behringer XENYX QX1002USB	46
Gambar 4.3 Perangkat laptop Asus X450C	47
Gambar 4.4 Posisi nada pada perangkat sasando biola 32 senar (diatonik)	48
Gambar 4.5 Alur proses pengambilan data.....	48
Gambar 4.6 Teknik penyusun <i>arpeggio</i> pada <i>chord</i> C	50
Gambar 4.7 Teknik Arpeggio pada <i>chord</i> C dengan ketukan $\frac{3}{4}$	51
Gambar 4.8 Teknik Arpeggio pada <i>chord</i> C dengan ketukan $\frac{4}{4}$	51
Gambar 4.9 Hasil <i>cross-correlation</i> pada nada C4 dengan wilayah frekuensi yang berbeda	56
Gambar 4.10 Grafik akurasi <i>cross-correlation</i> pada nada tunggal.....	60
Gambar 4.11 Spektogram <i>chord</i> C pada skenario 3 petikan tempo 60	61

Gambar 4.12 <i>Auto-correlation chord C</i> pada skenario 3 petikan tempo 60.....	62
Gambar 4.13 Spektogram <i>chord G</i> pada skenario 3 penyusun dengan tempo 60 .	63
Gambar 4.14 <i>Cross-correlation</i> antara <i>chord C</i> dan <i>G</i> pada skenario 3 penyusun dengan tempo 60	63
Gambar 4.15 Spektogram <i>chord D</i> pada skenario 3 penyusun pada temp 60	64
Gambar 4.16 <i>Cross-correlation</i> antara <i>chord C</i> dan <i>D</i> pada skenario 3 penyusun pada tempo 60	65
Gambar 4.17 Spektogram <i>chord C</i> pada skenario 3 penyusun pada tempo 90.	66
Gambar 4.18 <i>Cross-correlation</i> antara <i>chord C</i> pada skenario 3 penyusun pada tempo 60 dan 90	67
Gambar 4.19 Spektogram <i>chord G</i> pada skenario 3 penyusun pada tempo 90	68
Gambar 4.20 Teknik <i>Cross-correlation</i> antara <i>chord C</i> (tempo 60) dan <i>G</i> (tempo 90) pada skenario 3 penyusun.....	69
Gambar 4.21 Spektogram <i>chord D</i> pada skenario 3 penyusun pada tempo 90	70
Gambar 4.22 <i>Cross-correlation</i> antara <i>chord C</i> (tempo 60) dan <i>D</i> (tempo 90) pada skenario 3 penyusun	71
Gambar 4.23 Spektogram <i>chord C</i> pada skenario 4 penyusun pada tempo 60	72
Gambar 4.24 <i>Auto-correlation chord C</i> pada skenario 4 penyusun tempo 60	73
Gambar 4.25 Spektogram <i>chord G</i> pada skenario 4 penyusun pada tempo 60	74
Gambar 4.26 <i>Cross-correlation</i> antara <i>chord C</i> dan <i>G</i> pada skenario 4 penyusun pada tempo 60	75
Gambar 4.27 Spektogram <i>chord D</i> pada skenario 4 penyusun pada tempo 60	76
Gambar 4.28 <i>Cross-correlation</i> antara <i>chord C</i> dan <i>D</i> pada skenario 4 penyusun pada tempo 60	77
Gambar 4.29 Spektogram <i>chord C</i> pada skenario 4 penyusun pada tempo 90	78
Gambar 4.30 <i>Cross-correlation chord C</i> pada tempo 60 dan 90 pada skenario 4 penyusun	79
Gambar 4.31 Spektogram <i>chord G</i> pada skenario 4 penyusun pada tempo 90	80

Gambar 4.32 <i>Cross-correlation</i> antara <i>chord</i> C(tempo 60) dan <i>chord</i> G(tempo 90) pada skenario 4 penyusun	81
Gambar 4.33 Spektogram <i>chord</i> D pada skenario 4 penyusun pada tempo 90	82
Gambar 4.34 <i>Cross-correlation</i> antara <i>chord</i> C (tempo 60) dan <i>chord</i> D (tempo 90) pada skenario 4 penyusun	83
Gambar 4.35 <i>Cross-correlation chord</i> C pada skenario 3 penyusun dan 4 penyusun pada tempo 60	84
Gambar 4.36 <i>Cross-correlation</i> antara <i>chord</i> C (3 penyusun) dan <i>chord</i> G (4 penyusun) pada tempo 60.....	85
Gambar 4.37 <i>Cross-correlation</i> antara <i>chord</i> C (3 penyusun) dan <i>chord</i> D (4 penyusun) pada tempo 60.....	86
Gambar 4.38 Spektogram <i>chord</i> C pada skenario 2 penyusun pada tempo 60	87
Gambar 4.39 <i>Cross-correlation</i> antara <i>chord</i> C (3 penyusun) dan <i>chord</i> C (2 penyusun) pada tempo 60.....	88
Gambar 4.40 Spektogram <i>chord</i> G pada skenario 2 penyusun pada tempo 60	89
Gambar 4.41 <i>Cross-correlation</i> antara <i>chord</i> C (3 penyusun) dan <i>chord</i> G (2 penyusun) pada tempo 60.....	90
Gambar 4.42 Spektogram <i>chord</i> D pada skenario 2 penyusun pada tempo 60	91
Gambar 4.43 <i>Cross-correlation</i> antara <i>chord</i> C (3 penyusun) dan <i>chord</i> D (2 penyusun) pada tempo 60.....	91
Gambar 4.44 Spektogram nada tunggal C	92
Gambar 4.45 Hasil <i>cross-correlation</i> antara <i>chord</i> C dengan nada C.....	93
Gambar 4.46 Spektogram nada tunggal F#.....	94
Gambar 4.47 Hasil <i>cross-correlation</i> antara <i>chord</i> C dengan nada tunggal F#	94
Gambar 4.48 Nilai rata-rata amplitudo maksimum dari sinyal hasil <i>cross-correlation</i> terhadap <i>chord</i> referensi C Mayor	101

Gambar 4.49 Nilai rata-rata amplitudo maksimum dari sinyal hasil <i>cross-correlation</i> terhadap <i>chord</i> referensi D Mayor.....	101
Gambar 4.50 Nilai rata-rata amplitudo maksimum dari sinyal hasil <i>cross-correlation</i> terhadap <i>chord</i> referensi E Minor.....	102
Gambar 4.51 Nilai rata-rata amplitudo maksimum dari sinyal hasil <i>cross-correlation</i> terhadap <i>chord</i> referensi F Mayor.....	102
Gambar 4.52 Nilai rata-rata amplitudo maksimum dari sinyal hasil <i>cross-correlation</i> terhadap <i>chord</i> referensi G Mayor.....	103
Gambar 4.53 Nilai rata-rata amplitudo maksimum dari sinyal hasil <i>cross-correlation</i> terhadap <i>chord</i> referensi A Minor.....	103
Gambar 4.54 Nilai rata-rata amplitudo maksimum dari sinyal hasil <i>cross-correlation</i> terhadap <i>chord</i> referensi B Minor.....	104
Gambar 4.55 Nilai rata-rata amplitudo maksimum dari sinyal hasil <i>cross-correlation</i> terhadap <i>chord</i> referensi D Minor.....	104



DAFTAR TABEL

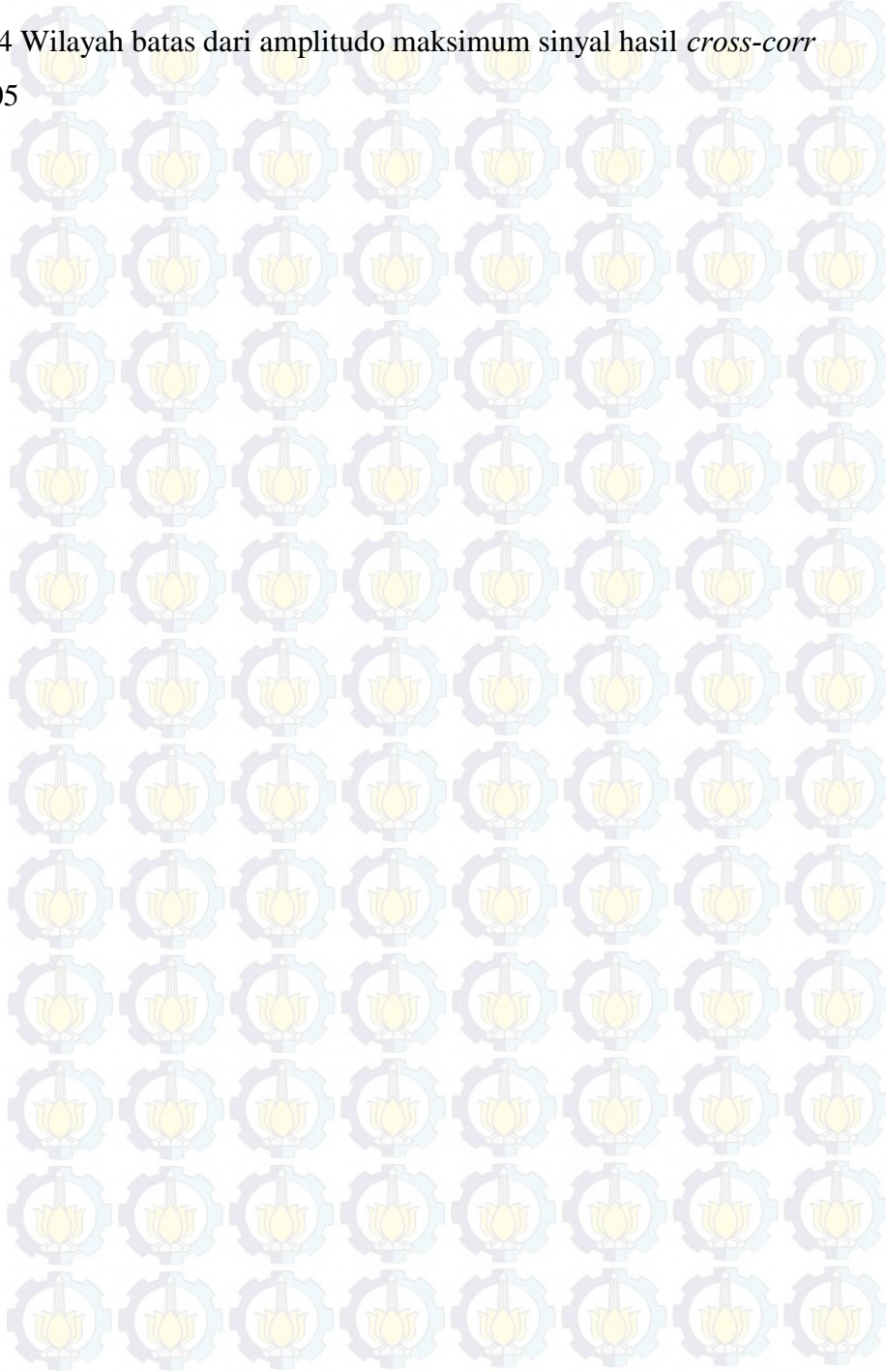
Tabel 3.1 Formasi <i>chord</i> pada tangga nada C.....	26
Tabel 3.2 Karakteristik mikrofon kondenser Behringer B1	30
Tabel 4.1 Data sinyal <i>Monophonic</i> (nada tunggal)	42
Tabel 4.2 Data sinyal <i>Polyphonic</i> (<i>chord</i>)	42
Tabel 4.3 Data penelitian	53
Tabel 4.4 <i>Autocorrelation</i> pada nada tunggal (<i>monophonic</i>).....	57
Tabel 4.5 Jumlah kecocokkan antara 10 buah data sinyal uji terhadap sinyal referensi pada nilai amplitudo maksimum ≥ 5	57
Tabel 4.6 Jumlah kecocokkan antara 10 buah data sinyal uji terhadap sinyal referensi pada nilai amplitudo maksimum ≥ 10	58
Tabel 4.7 Jumlah kecocokkan antara 10 buah data sinyal uji terhadap sinyal referensi pada nilai amplitudo maksimum ≥ 25	59
Tabel 4.8 Jumlah kecocokkan antara 10 buah data sinyal uji terhadap sinyal referensi pada nilai amplitudo maksimum ≥ 50	59
Tabel 4.9 Jumlah kecocokkan antara 10 buah data sinyal uji terhadap sinyal referensi pada nilai amplitudo maksimum ≥ 75	59
Tabel 4.10 Rangkuman percobaan.....	96
Tabel 4.11 Wilayah ambang batas dari amplitudo maksimal sinyal hasil <i>cross-correlation</i> pada <i>chord</i> referensi C,D dan Em	98
Tabel 4.12 Wilayah ambang batas dari amplitudo maksimal sinyal hasil <i>cross-correlation</i> pada <i>chord</i> referensi F,G dan Am	99

Tabel 4.13 Wilayah ambang batas dari amplitudo maksimal sinyal hasil *cross-correlation* pada *chord* referensi Bm dan Dm

100

Tabel 4.14 Wilayah batas dari amplitudo maksimum sinyal hasil *cross-corr*

105



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pemilihan alat musik sasando sebagai media pembelajaran merupakan hal baru dalam penelitian serupa. Beberapa pendekatan sebelumnya menggunakan alat musik barat seperti piano, biola, cello dan sebagainya (Haning, 2009). Selain itu, alat musik sasando yang termasuk dalam jenis alat musik petik, memiliki keunikan tersendiri bila dilihat dari warna suara yang dihasilkan.

Alat musik sasando merupakan salah satu jenis alat musik petik tradisional Indonesia yang berasal dari Pulau Rote, Provinsi Nusa Tenggara Timur (NTT), Indonesia. Sasando terdiri atas 2 jenis yaitu sasando gong (bernada pentatonik, 7 atau 11 senar) dan sasando biola (bernada diatonic, maksimum 36 senar). Alat musik ini biasa digunakan untuk kepentingan upacara adat, menghibur orang yang sedang berduka maupun penyambutan tamu.

Sasando dimainkan dengan cara dipetik menggunakan kedua tangan dimana tangan kiri biasanya memainkan melodi sedangkan tangan kanan digunakan untuk memainkan ritme. Proses pembentukan chord pada alat musik sasando dilakukan dengan memetik nada-nada pembentuk chord secara berurutan dengan menggunakan tangan kanan.

Kendala yang ada saat ini adalah semakin berkurangnya minat masyarakat Nusa Tenggara Timur untuk mengenal dan mempelajari alat musik sasando. Generasi muda Nusa Tenggara Timur saat ini lebih tertarik untuk mempelajari alat musik barat dibanding alat musik sasando karena berbagai alasan. Kurangnya sosialisasi merupakan salah satu alasan utama mengapa alat musik ini belum bisa menarik perhatian masyarakat Nusa Tenggara Timur. Hal ini dikarenakan proses pengenalan alat musik sasando yang hanya dilakukan seadanya melalui proses lisan sehari-hari. Selain itu, kurangnya literatur yang membahas alat musik ini juga menjadi kendala utama dalam proses sosialisasi. Faktor lain yang mempengaruhi ialah kurangnya rasa bangga terhadap hasil kreasi daerah sendiri sehingga masyarakat Nusa Tenggara Timur lebih membanggakan alat musik barat

dibanding alat musik sasando. Berdasarkan fakta tersebut maka kelestarian dari alat musik ini akan semakin terancam jika tidak ada upaya lebih untuk melestarikannya. Melalui penelitian ini diharapkan mampu membantu proses pelestarian alat musik sasando yaitu dengan menambah bahan literatur yang membahas mengenai alat musik ini sehingga banyak orang yang membacanya dapat mengenal dan mencintai alat musik ini.

Metode yang digunakan dalam penelitian kali ini adalah metode *cross-correlation*. Metode *cross-correlation* membandingkan sinyal referensi dan sinyal yang akan diuji untuk mengetahui tingkat kecocokkan dari kedua sinyal tersebut. Sinyal referensi dan sinyal yang diuji dikatakan saling berhubungan jika memiliki nilai amplitude paling maksimum. Selain itu juga terdapat metode *auto-correlation* dimana sebuah sinyal akan dibandingkan dengan dirinya sendiri.

Susunan penulisan terdiri dari beberapa bab dimana bab II berbicara mengenai teori penunjang yang meliputi teori *cross-correlation*, pengolahan sinyal waktu dan frekuensi maupun teori musik. Adapaun Bab III memaparkan penjelasan mengenai metode yang digunakan dalam penelitian kali ini berupa penerapan metode *cross-correlation* dalam proses deteksi chord. Bab IV menjelaskan eksperimen yang sedang dilakukan dengan menggunakan beberapa skenario. Adapun Bab V merupakan kesimpulan dari penulisan yang dilakukan dalam penelitian kali ini.

1.2. Rumusan Masalah

Untuk mendapatkan hasil analisa *chord (polyphonic)* yang teliti dengan melihat tingkat kesamaan antara dua buah *chord triad* yang saling dibandingkan dengan menggunakan metode *correlation* pada sinyal suara dari *chord* yang dihasilkan oleh alat musik sasando.

1.3. Batasan Masalah

1. Sinyal musik yang digunakan merupakan sinyal musik *polyphonic* berupa *chord* yang dibatasi hanya pada *chord* dengan sistem *triad* yang diperoleh dari hasil rekaman langsung terhadap suara yang dihasilkan oleh alat musik sasando.

2. Jenis *chord* yang digunakan dibatasi pada wilayah tangga nada C dan G.
3. Data yang diambil hanya dilakukan pada tempo 60(sedang) dan 90(cepat).
4. Data *chord* diambil dengan menggunakan sistem penyusun nada tunggal (*arpeggio*).

1.4. Tujuan dan Manfaat Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan hasil analisa *chord* dengan melihat tingkat kesamaan antara dua jenis *chord* yang saling dibandingkan dengan menggunakan metode *cross-correlation* terhadap sinyal suara yang dihasilkan oleh alat musik sasando.

Manfaat dari penelitian ini ialah dapat dijadikan acuan dalam proses pembelajaran alat musik sasando dan juga dapat dijadikan referensi yang dapat membantu dalam proses transkripsi musik.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Teori Penunjang

2.1.1. Sasando

2.1.1.1. Sejarah sasando

Sebagai salah satu jenis alat musik tradisional, sasando memiliki banyak versi dalam sejarahnya. Banyaknya versi tersebut dikarenakan adanya hubungan yang erat antara alat musik sasando dengan kehidupan tradisional masyarakat Suku Rote, Nusa Tenggara-Timur. Beberapa tokoh adat dan budayawan asli suku Rote seperti Samuel Ndun alias Sembe Feok (meninggal pada tahun 1990 pada usia 93 tahun) dan Merukh (meninggal pada tahun 1956 pada usia 81 tahun) bahwa pada mulanya sasando diciptakan oleh seorang yang bernama Pupuk Soroba (abad ke-13 Masehi). Pupuk Soroba menciptakan alat musik sasando karena memperoleh inspirasi ketika melihat seekor laba-laba sedang asik memainkan jaringnya sehingga terdengar bunyi yang indah [1]. Berdasarkan cerita yang berkembang mengatakan bahwa bahan dasar utama yang digunakan oleh Pupuk Soroba dalam membuat sasando adalah serutan lidi dari daun gawang namun karena bunyi yang dihasilkan dirasa kurang maksimal maka Pupuk Soroba pun melakukan beberapa percobaan hingga akhirnya digunakanlah serabut akar pohon beringin sebagai dawai dari alat musik sasando pada saat itu. Adapun kisah lainnya dikisahkan oleh Yusuf Nggebu. Beliau merupakan salah seorang budayawan asal Nusa Tenggara Timur. Menurut Yusuf, penemu alat musik sasando adalah seorang yang bernama Sangguana Nale yang berasal dari suku Thie (salah satu suku di Pulau Rote). Dikisahkan bahwa Sangguana memiliki seorang teman bernama Manukoa yang berasal dari suku Delha (salah satu suku di Pulau Rote). Pada suatu saat mereka hendak berangkat ke sebuah daerah yang bernama Ndana. Sesampainya di Ndana, Sangguana langsung jatuh cinta dengan putri raja Ndana. Namun untuk menerima cinta dari Sangguana harus memenuhi syarat dari tuan puteri yang mengharuskannya untuk membuat sebuah alat hiburan yang tidak pernah ada sebelumnya. Akhirnya Sangguana pun memenuhi persyaratan tersebut dan membuat alat musik sasando. Ide untuk membuat alat musik sasandopun didapatinya melalui sebuah mimpi. Selain kedua kisah tersebut masih terdapat berbagai macam kisah lainnya yang menceritakan asal mula terciptanya alat musik sasando. Kata Sasando sendiri sebenarnya berasal dari kata *sasando*. Kata *sasando* merupakan bentuk jamak

dari kata *sandu* yang memiliki arti beresonansi. Sehingga kata *sasando* memiliki arti resonansi yang berulang-ulang.

2.1.1.2. Jenis Sasando

Sasando terdiri dari 2 jenis yaitu sasando gong dan sasando biola. Perbedaan mendasar dari masing-masing jenis terletak pada jumlah senar dan wilayah nada yang dimiliki. Jenis dari sasando dapat dilihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1. Jenis sasando

Sumber: <http://kebudayaanindonesia.net>

Sasando tradisional yang digunakan pertama kali oleh masyarakat adat setempat merupakan sasando gong yang memiliki jumlah senar sebanyak 7 buah. Hal ini dikarenakan nada dari sasando yang disesuaikan dengan nada gong Rote yang terdiri dari 7 buah nada. Atas dasar itulah maka sasando tradisional yang biasa digunakan oleh masyarakat setempat dinamakan sasando gong. Secara keseluruhan jumlah senar sasando gong terdiri dari 7, 9 dan 10 buah. Jumlah senar tersebut juga melambangkan filosofi yang diyakini oleh masyarakat Rote. Masyarakat Rote meyakini bahwa angka 7 dan 9 merupakan lambang siklus kehidupan manusia. Mereka meyakini bahwa janin menjadi sempurna secara fisik dalam rahim seorang ibu pada usia 7 bulan dan akan berpindah ke dunia yang nyata pada usia 9 bulan. Sedangkan angka 10 diyakini

merupakan angka tertinggi yang melambangkan kemahakuasaan Tuhan. Secara keseluruhan, nada alat musik sasando gong bila diurutkan dari yang terendah adalah sebagai berikut: *Ina Makamu (Mi)*, *Ina Taladak (Sol)*, *Ina Tataik (La)*, *Nggasa Laik (Do)*, *Nggasa Daek (Re)*, *Leko Laik (Mi)*, *Leko Daek/Paisele (Sol)*, *Ana Laik (La)*, *Ana Daek (Do)* dan *Ana do'o Deak (Re)*. Adapun sistem penelaan dari alat musik sasando gong dapat dibagi menjadi 2 jenis yaitu sistem rendah dan sistem tinggi (Gambar 2.1.). Pada sistem rendah, nada **B** dan **E** memiliki nilai frekuensi yang lebih rendah dibanding dengan standar pada nada barat. Sedangkan pada sistem nada tinggi, nada **B** memiliki nilai frekuensi yang lebih rendah sedangkan nada **F** memiliki nilai frekuensi yang lebih tinggi dibanding dengan standar pada nada barat.

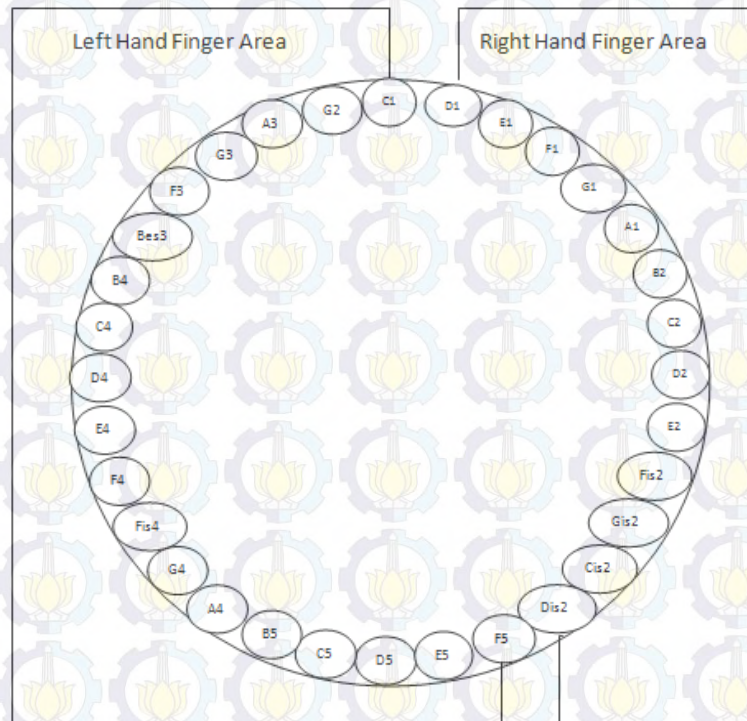


Gambar 2.2. Sistem penelaan alat musik sasando gong

Alat musik sasando terus berkembang baik dari bentuk maupun jumlah senar. Sasando yang biasa digunakan saat ini merupakan sasando jenis biola yang memiliki jumlah senar di atas 30 buah. Inspirasi pembuatan sasando biola dipengaruhi oleh alat musik biola yang dibawa oleh penjajah Portugis ke Pulau Rote. Nada sasando biola disesuaikan dengan standar nada barat yang berjenis diatonik (Gambar 2.3.). Umumnya nada yang digunakan pada sasando biola terdiri dari 32 senar. Jumlah senar tersebut mewakili semua nada diatonik dari beberapa oktaf dan dapat digunakan untuk mengiringi berbagai jenis lagu (Haning, 2009).

2.1.1.3. Teknik Permainan

Sasando dimainkan dengan menggunakan 2 tangan sekaligus. Jari pada tangan kiri berfungsi untuk memainkan melodi sedangkan jari pada tangan kanan digunakan untuk memainkan accord maupun bass (gambar 2.3.). Keunikan dari alat musik sasando adalah suara yang dihasilkan dapat mewakili melodi, accord dan bass sekaligus.



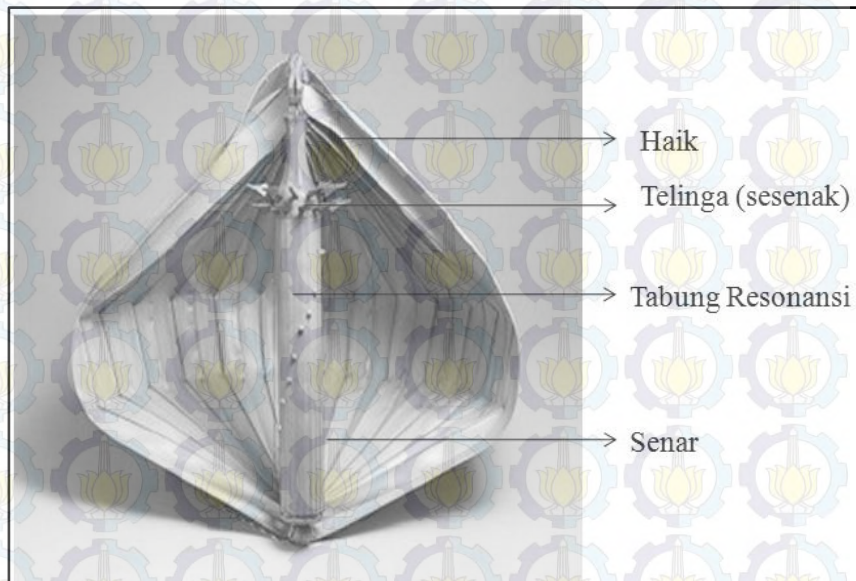
Gambar 2.3. Teknik penjarian pada sasando biola

2.1.1.4. Pembuatan Sasando

Bahan pembuatan sasando pada dasarnya diambil dari bahan-bahan tradisional. Bahan yang dimaksud ialah daun lontar dan bambu. Bagian fisik dari sasando terdiri dari 3 bagian utama yaitu Haik, telinga, senar dan tabung resonansi. Bagian dari sasando dapat dilihat pada gambar 2.4.

- **Haik**, terbuat dari lembaran daun lontar yang digabungkan hingga membentuk setengah bola. Haik digunakan untuk membuat ruang resonansi sehingga suara yang dihasilkan dapat lebih keras.
- **Tabung Resonansi**, terbuat dari bambu berongga. Fungsi dari tabung resonansi sama dengan haik yaitu sebagai ruang resonansi agar suara yang dihasilkan bisa lebih keras.

- **Telinga (sesenak)**, terbuat dari kayu atau besi yang ditempelkan pada tabung resonansi sebagai tempat untuk mengikat senar.
- **Senar**, yang digunakan saat ini merupakan senar yang mirip dengan senar gitar. Namun berdasarkan cerita masyarakat setempat mengatakan bahwa pada mulanya sasando menggunakan berbagai jenis senar seperti serutan kulit bambu, akar pohon beringin, usus musang hingga kawat yang disebut juga *loa*.



Gambar 2.4. Bagian-bagian sasando

Sumber : <http://bogem.net>

2.1.1.5. Fungsi alat musik sasando dalam kehidupan masyarakat

Alat musik sasando merupakan salah satu jenis alat musik tradisional yang berasal dari Pulau Rote, Nusa Tenggara Timur. Sebagai alat musik tradisional, sasando memiliki banyak peranan dalam kehidupan masyarakat Pulau Rote. Sasando sebagai sebuah alat musik petik dapat menghasilkan bunyi/irama yang dapat membangkitkan semangat dan menggetarkan hati serta membawa hiburan, tetapi sebaliknya juga dapat membuat batin menjadi syahdu (Haning, 2009). Pada dasarnya, alat musik sasando biasa dimainkan pada berbagai kegiatan kemasyarakatan seperti kematian, pernikahan, hari raya, kegiatan keagamaan maupun upacara-upacara adat dari masyarakat setempat. Sasando biasanya selalu dipasangkan dengan gong rote ketika dimainkan. Sebagai contoh, sasando dan gong rote biasanya dimainkan pada saat jenazah diusung untuk

dibawa ke tempat pekuburan. Selain itu, berbagai tarian adat setempat juga selalu diiringi oleh kedua jenis alat musik tersebut

2.1.1.6. Tangga Nada Sasando

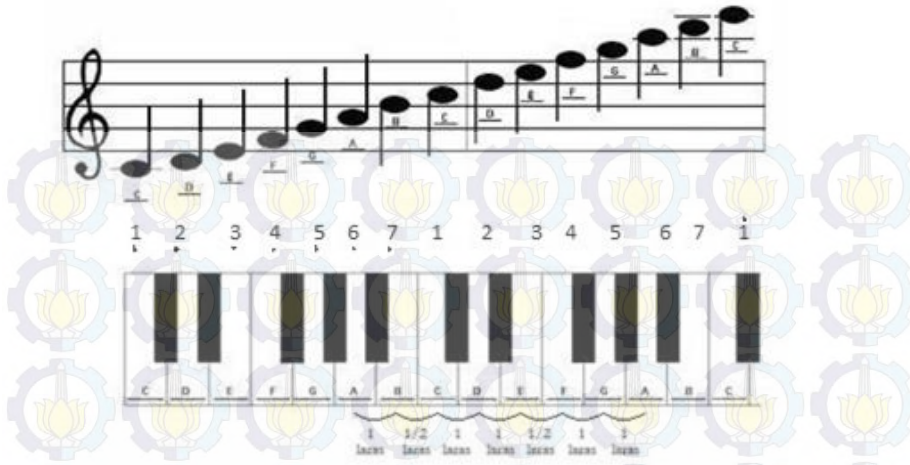
Wilayah tangga nada dari alat musik sasando dapat dibagi menjadi 2 jenis sesuai dengan jenis sasando yang digunakan. Sasando gong menggunakan tangga nada pentatonik (do – re – mi – sol – la) sedangkan sasando biola menggunakan tangga nada diatonik (do – re – mi – fa – sol – la – si – do). Tangga nada pada sasando gong memiliki nada dasar C. Namun keunikan dari sasando gong terletak pada sistem nada yang mengikuti nada gong rote dan bukan sistem barat. Keunikan yang dimaksud ialah adanya frekuensi nada B dan E yang lebih rendah serta nada F yang memiliki frekuensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan sistem nada musik barat. Adapun sasando biola merupakan pengembangan dari sasando gong dan telah mengikuti sistem nada musik barat. Pada dasarnya sasando biola terdiri dari 32 buah senar. Namun saat ini, jumlah senar dari sasando biola telah banyak mengalami variasi. Sasando biola 32 senar biasanya memiliki cakupan nada dasar yang lebih banyak dibandingkan sasando gong. Nada dasar yang bisa dimainkan oleh sasando biola 32 senar pada umumnya ialah nada dasar C dan G. Variasi nada dasar juga dapat dilakukan sesuai dengan sistem nada yang ingin digunakan. Adapun wilayah nada dari sasando yang digunakan dalam penelitian dapat dilihat pada gambar 2.3.

2.1.2. Tangga Nada

Dalam teori musik barat, tangga nada merupakan urutan nada-nada dengan jarak interval tertentu yang diurutkan dari nada dasar hingga nada oktaf. Jarak interval dalam teori musik barat dapat dibagi menjadi 2 jenis, yaitu *whole step* dan *half step*. Yang dimaksud dengan *step* ialah jarak antara nada yang satu dengan nada yang lainnya. Jarak *half step* merupakan jarak setengah nada (#) antara nada yang satu dengan nada yang lainnya (contoh: jarak antara C-C#, E-F, F-F# dan sebagainya). Sedangkan *whole step* merupakan jarak nada penuh (2#) seperti yang ditemukan pada jarak antara *chord* C-D, C#-D# maupun E-F#. Dalam teori musik barat dikenal berbagai jenis tangga nada. Beberapa diantaranya ialah sebagai berikut:

- Tangga nada Diatonis

Tangga nada diatonis merupakan jenis tangga nada yang memiliki 7 buah nada. Nada yang dimaksud ialah do – re – mi – fa – sol – la – si . Contoh dari tangga nada diatonik dapat dilihat pada gambar 2.4. berikut:



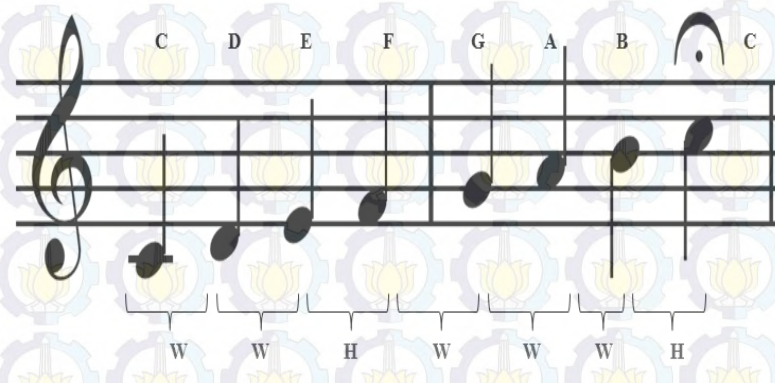
Gambar 2.5. Tangga nada diatonis

Sumber: <http://blog.cantatechoir.org>

Berdasarkan gambar 2.5., dapat dilihat bahwa tangga nada diatonis terdiri dari 7 buah nada utama yang akan berulang kembali pada nada berikutnya (oktaf). Berdasarkan formasi interval, maka tangga nada diatonis dapat dibagi menjadi 2 jenis, yaitu:

1) Tangga nada diatonis mayor

Tangga nada diatonis mayor memiliki formasi interval *W-W-H-W-W-W-H*. Dimana *W* merupakan singkatan dari *whole step* dan *H* ialah *half step*. Bentuk notasi dari tangga nada diatonis mayor ditunjukkan pada gambar 2.6.

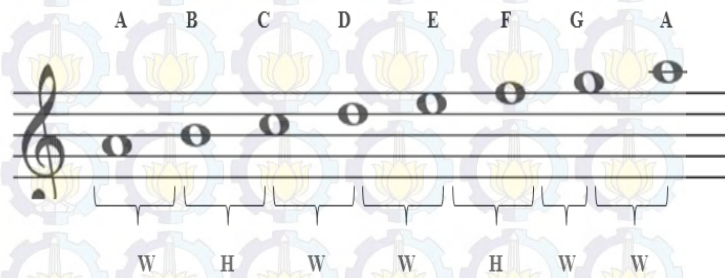


Gambar 2.6. Tangga nada diatonis mayor

Gambar 2.6., menggunakan nada C sebagai nada dasar. Oleh karena alasan tersebut maka tangga nada pada gambar 2.6. dapat disebut sebagai tangga nada C mayor.

2) Tangga nada diatonis minor

Tangga nada diatonis minor memiliki formasi interval *W-H-W-W-H-W-W*. Dimana *W* merupakan singkatan dari *whole step* dan *H* ialah *half step*. Notasi dari tangga nada diatonis minor ditunjukkan pada gambar 2.7.

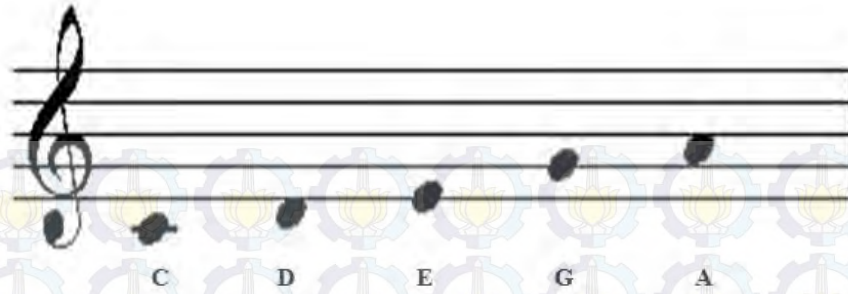


Gambar 2.7. Tangga nada diatonis minor

Gambar 2.7., menggunakan nada A sebagai nada dasar. Oleh karena alasan tersebut maka tangga nada pada gambar 2.7. dapat disebut sebagai tangga nada A minor.

- Tangga nada Pentatonis

Tangga nada pentatonic ialah tangga nada yang terdiri dari 5 buah nada penyusun. Nada penyusun pada tangga nada pentatonik ialah do – re – mi – sol – la. Bentuk notasi dari tangga nada pentatonis ialah sebagai berikut:



Gambar 2.8. Tangga nada pentatonis

Tangga nada pada gambar 2.8. menggunakan nada C sebagai acuan sehingga dapat disebut sebagai tangga nada C pentatonis. Tangga nada pentatonis memiliki ciri khas yaitu tidak adanya notasi **fa** dan **si** dalam susunan tangga nada. Tangga nada ini biasa digunakan dalam jenis musik *blues*.

- Tangga nada kromatik

Tangga nada kromatik merupakan tangga nada yang memiliki jarak interval setengah nada (*half step*). Bentuk notasi dari tangga nada kromatik dapat dilihat pada gambar 2.9. berikut:



Gambar 2.9. Tangga nada kromatik

Sumber: <http://www.musiccrashcourses.com>

2.1.3. Pengolahan sinyal dan transformasi Fourier

Sebelum membahas metode transformasi *fourier* maka ada baiknya didahului dengan beberapa pokok pembahasan sebagai berikut:

2.1.3.1. Frekuensi sampling (*sampling frequency*)

Secara umum, frekuensi adalah jumlah gelombang yang terjadi setiap detik. Satuan dari frekuensi ialah Hertz (Hz). Frekuensi dinyatakan dengan persamaan 2.1 dan 2.2.

atau
$$f = 1/T \quad (2.1)$$

$$T = 1/f \quad (2.2)$$

Berdasarkan persamaan 2.1 dan 2.2, f merupakan frekuensi (Hz) dan T merupakan periode (s). Jika terdapat sebuah sinyal dengan frekuensi sebesar 5 Hz dapat disimpulkan bahwa terdapat 5 buah gelombang setiap detiknya.

Adapun Frekuensi sampling merupakan frekuensi minimal yang harus dipenuhi untuk melakukan proses sampling (Park,H.T, 2010). Proses sampling sendiri merupakan proses penguraian sebuah sinyal menjadi komponen-komponen yang lebih kecil (sampel). Frekuensi sampling ditetapkan berdasarkan prinsip *Nyquist* yang pertama kali dikembangkan oleh seorang ilmuwan berkebangsaan Amerika bernama Harry Nyquist. Berdasarkan prinsip *nyquist*, frekuensi sampling harus lebih besar daripada 2 kali besaran frekuensi tertinggi dari sebuah sinyal audio. Hal ini ditunjukkan pada persamaan 2.3 dan 2.4.

atau
$$f_{max} < f_s/2 \quad (2.3)$$

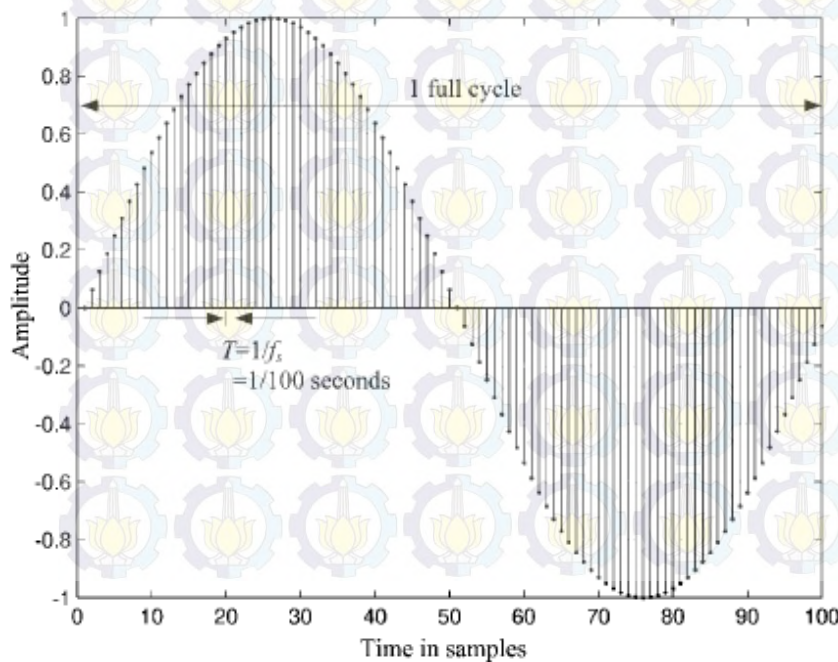
$$f_s > 2.f_{max} \quad (2.4)$$

Berdasarkan persamaan 2.3 dan 2.4, f_{max} merupakan frekuensi maksimal dari sinyal audio dan f_s merupakan frekuensi sampling minimal. Adapun terdapat istilah *sampling rate* yaitu banyaknya sampling yang terjadi dalam waktu 1 detik. Salah satu contoh yang dapat diambil ialah *sampling rate* yang digunakan pada *Compact Disc* (CD) yang berada pada nilai 44100 Hz. Ini berarti terdapat 44100 buah sampel yang terjadi dalam waktu 1 detik. Contoh lainnya ialah standar kemampuan pendengaran manusia yang berada pada frekuensi maksimal sebesar 20000 Hz. Hal ini berarti terdapat 20000 buah sample yang terjadi setiap detiknya. Berdasarkan persamaan 2.3 dan 2.4, jika terdapat sebuah sinyal sinusoid dengan frekuensi 1 Hz maka minimal dibutuhkan 3 buah sample tiap detiknya. Sama halnya jika menggunakan terdapat sinyal sinusoid

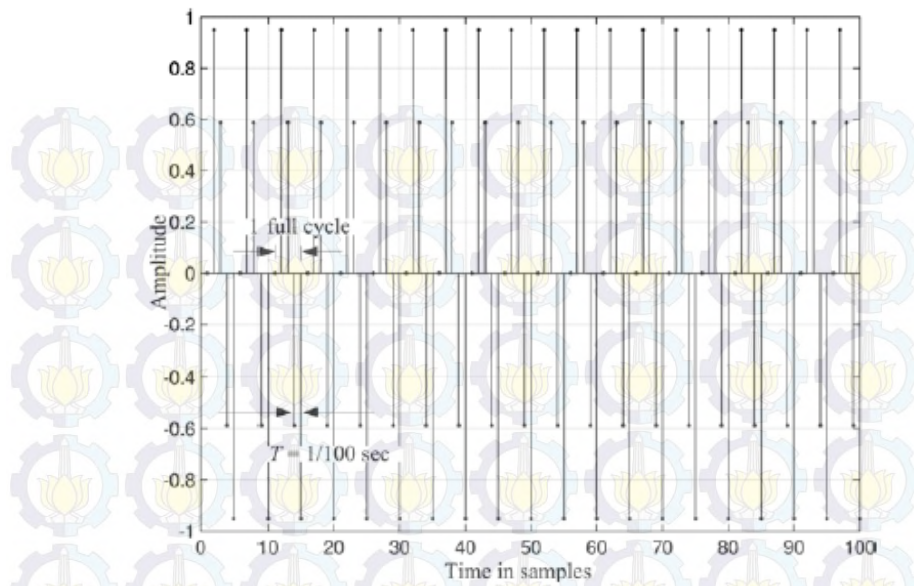
dengan frekuensi 440 Hz maka *sampling rate* minimal yang harus bernilai lebih besar $440 \cdot 2 = 880$ Hz. Inilah alasan mengapa standar format *audio* pada *Compact Disc (CD)* bernilai 44100 Hz. Hal ini dikarenakan batas maksimum frekuensi pendengaran manusia yang bernilai 20000 Hz sehingga frekuensi sampling yang harus digunakan haruslah lebih besar dari $2 \cdot 20000 \text{ Hz} = 40000$ Hz. (Park, H.T, 2010).

2.1.3.2. Aliasing

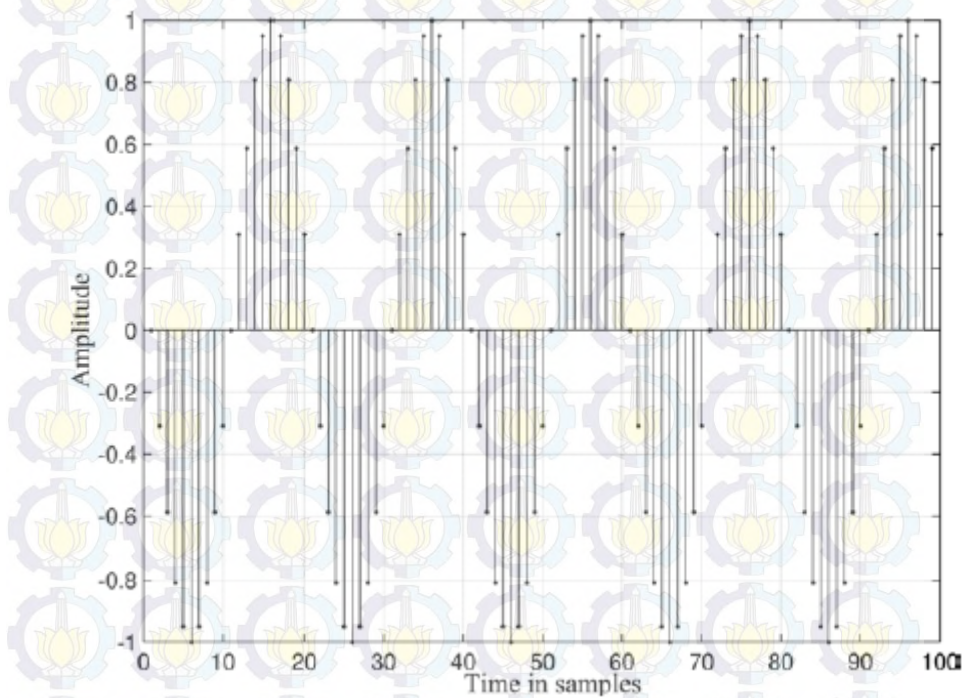
Aliasing merupakan efek yang ditimbulkan ketika nilai frekuensi sampling lebih kecil dari nilai frekuensi maksimal dari sinyal audio (Park, H.T, 2010). Efek yang dimaksud ialah terjadinya distorsi pada frekuensi yang mengganggu keberadaan sinyal asli. Sebagai perbandingan, misalkan terdapat sinyal sinusoid sebesar 1 Hz yang akan disampling menggunakan frekuensi 100 HZ (100 sampel per detik) maka efek *aliasing* tidak akan terjadi. Hal ini ditunjukkan pada gambar 2.10. Sama halnya jika frekuensi maksimal dari sinyal audio ditingkatkan menjadi 20 Hz dengan frekuensi sampling sebesar 100 Hz (5 sampling per detik) seperti pada gambar 2.11. Berdasarkan gambar 2.11, walaupun jumlah sampling yang ada tidak memberikan bentuk sinusoid yang sempurna namun karakteristik dari sinyal sinusoid tersebut tetap terlihat. Efek *aliasing* baru terjadi ketika frekuensi maksimal dari sinyal audio berada di atas nilai 50 Hz. Hal ini ditunjukkan pada gambar 2.12.



Gambar 2.10. Gelombang sinus pada frekuensi $f=1\text{Hz}$ dan $f_s = 100\text{Hz}$



Gambar 2.11. Gelombang sinus pada frekuensi $f=20\text{Hz}$ dan $f_s = 100\text{Hz}$



Gambar 2.12. Gelombang sinus pada frekuensi $f=95\text{Hz}$ dan $f_s = 100\text{Hz}$

Berdasarkan gambar 2.12, dapat dilihat bahwa terdapat ketidakseimbangan antara nilai dari frekuensi maksimal yang ada dengan nilai frekuensi sampling dari sinyal tersebut. Hal ini

mengakibatkan terjadinya proses *invers* yang membuat terjadinya perubahan fasa dari gelombang sinusoid yang diolah.

2.1.3.3. Transformasi Fourier

Pada dasarnya data sinyal mentah yang akan diolah merupakan data sinyal dalam domain waktu. Agar dapat diolah maka data sinyal tersebut harus diubah ke dalam domain frekuensi. Proses perubahan domain waktu menjadi domain frekuensi pada data sinyal tersebut dilakukan dengan menggunakan metode transformasi Fourier. Transformasi Fourier merupakan metode yang pertama kali dikembangkan oleh ilmuwan asal Perancis yang bernama Jean Baptist Fourier. Metode ini dijelaskan pada persamaan 2.5.

$$X(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t).e^{-j\omega t} dt, \quad \omega \in \mathfrak{R} \quad (2.5)$$

Keterangan: $X(\omega)$ merupakan hasil transformasi Fourier dari sinyal kontinu $x(t)$, dimana ω merupakan frekuensi angular (radians/s). Data yang digunakan memiliki frekuensi sampling sebesar 48 kHz dan direkam dengan sistem 16 bit. Adapun kekurangan dalam penggunaan transformasi Fourier pada sinyal kontinu karena tidak praktis digunakan terhadap aplikasi berbasis komputer (Park, H.T, 2010). Berdasarkan hal tersebut maka dikembangkan metode transformasi Fourier dari sinyal diskrit. Pada transformasi Fourier diskrit tidak digunakan integral melainkan penjumlahan. Selain itu, nilai dari ω kemudian diubah menjadi $\theta.n$. Transformasi Fourier pada sinyal diskrit juga dapat disebut sebagai *Discrete-Time Fourier Transform (DTFT)*. Metode ini dinyatakan dalam persamaan 2.6.

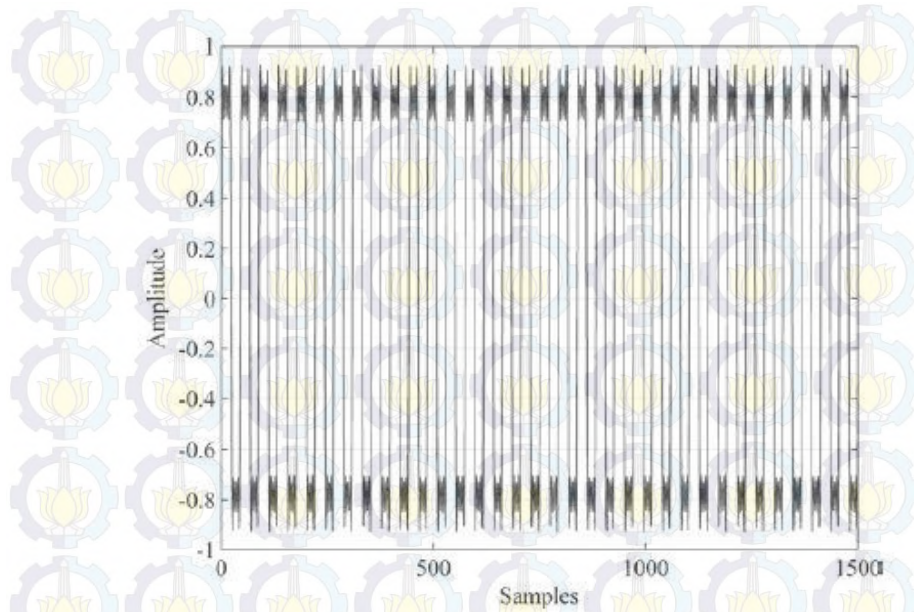
$$X(\theta) = \sum_{-\infty}^{+\infty} x[n].e^{-j\theta n} \quad (2.6)$$

Keterangan: $X(\theta)$ merupakan hasil transformasi *Fourier* pada sinyal diskrit $x[n]$. Pada dasarnya, proses tranformasi Fourier dapat dijelaskan pada gambar 2.13:



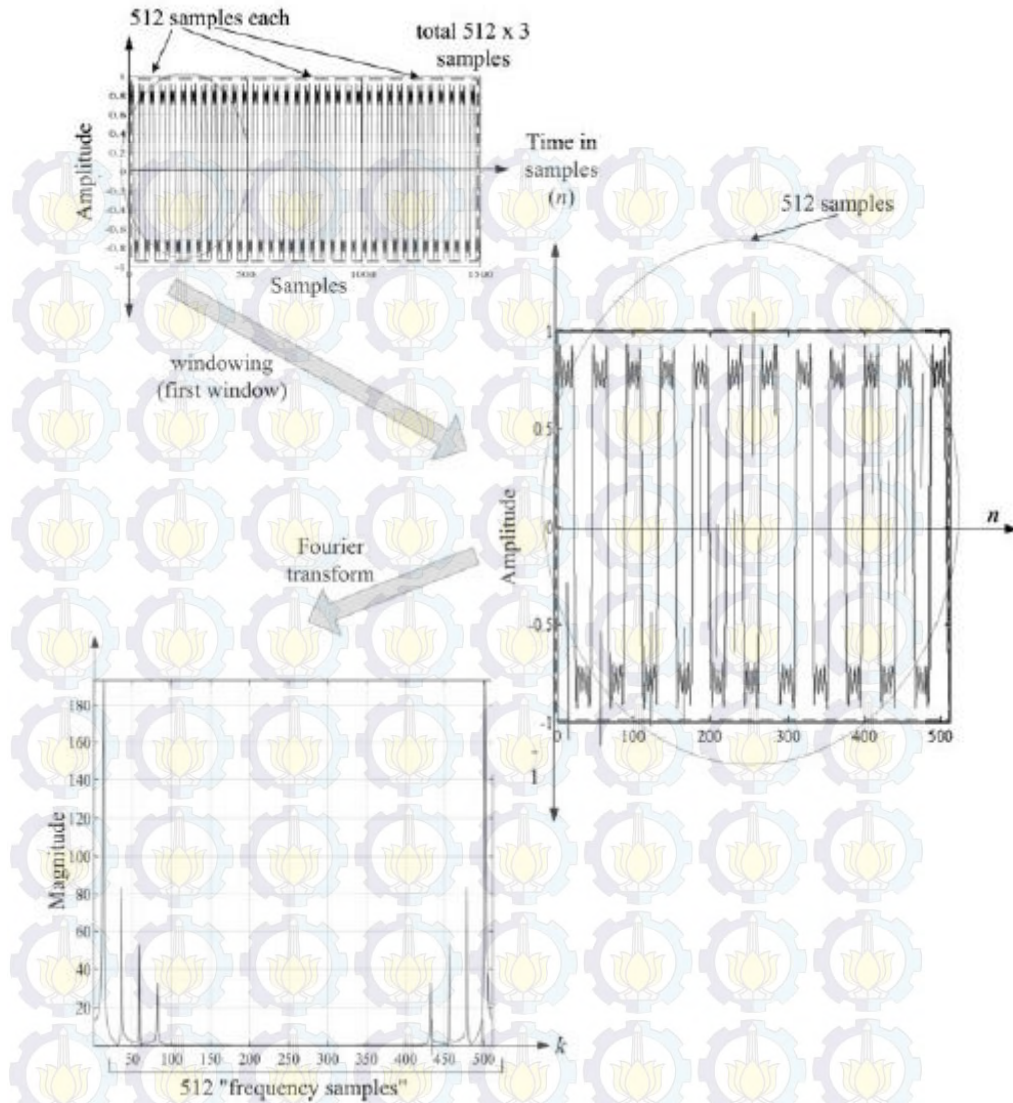
Gambar 2.13. Bagan proses transformasi Fourier dengan *window*

Misalkan terdapat sebuah sinyal $x(n)$ dalam domain waktu seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.14. Sinyal tersebut memiliki total 1536 sampel dan disampel pada frekuensi 44.1 kHz



Gambar 2.14. Sinyal $x(n)$ dengan 1536 sampel

Proses tranformasi dilakukan dengan melakukan proses *windowing*. Proses *windowing* dilakukan dengan menggunakan panjang jendela $N=512$. Ini berarti terdapat 3 jendela (*frame*) yang digunakan karena masing-masing jendela mencakup 512 buah sampel. Transformasi Fourier dilakukan pada masing-masing *frame* untuk mengubah 512 sampek sinyal dalam domain waktu menjadi sinyal dalam domain frekuensi. Proses ini ditunjukkan pada gambar 2.15.



Gambar 2.15. Proses transformasi Fourier

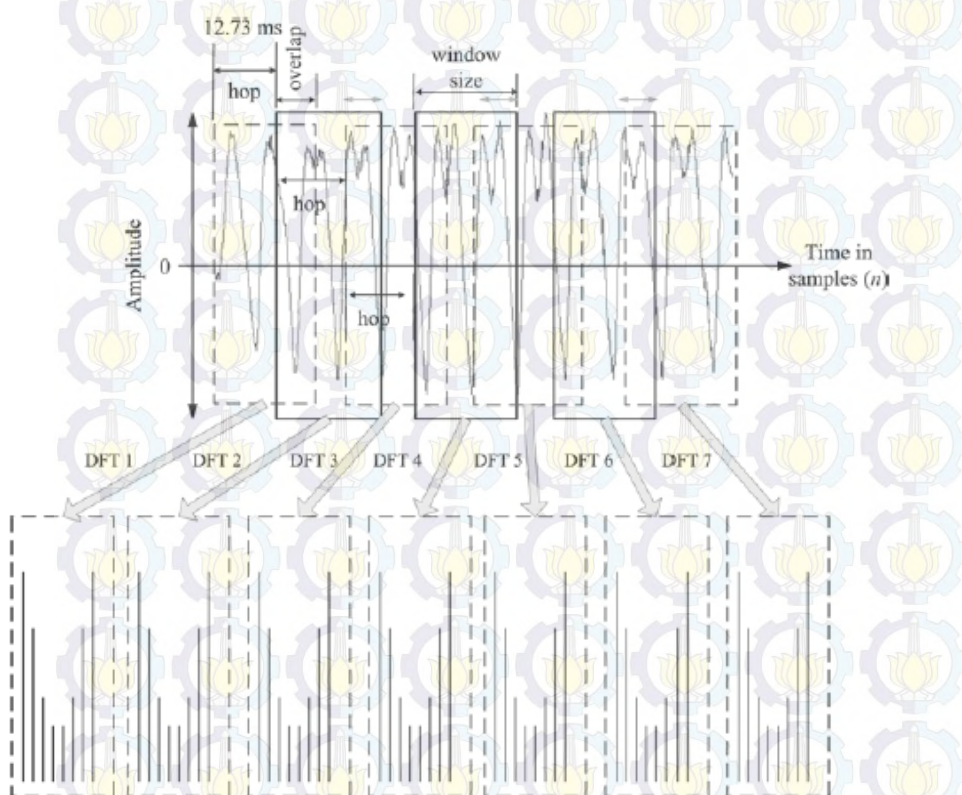
2.1.3.4. Short-Time Fourier Transform (STFT)

Short-Time Fourier Transform merupakan pengembangan dari *Discrete Fourier Transform (DFT)* yang dapat merepresentasikan sinyal dalam domain waktu dan frekuensi secara bersamaan (Muller, 2011). *Short-Time Fourier Transform* dikembangkan untuk melengkapi kelemahan yang ada pada proses *Discrete Fourier Transform (DFT)* yang tidak dapat merepresentasikan sinyal dalam domain waktu dan frekuensi secara bersamaan (Park, H.T, 2010).

Metode *Short-Time Fourier Transform (STFT)* dinyatakan dengan persamaan 2.7.

$$X(m, \theta) = \sum_{-\infty}^{+\infty} x[n]w[n - m].e^{-j\theta n} \quad (2.6)$$

Keterangan : $X(m, \theta)$ merupakan hasil *Short-Time Fourier Transform (STFT)* dimana variabel w menyatakan *window*. Metode ini menggunakan sistem jendela (*window*) untuk mengambil komponen-komponen yang terdapat pada sinyal hasil *Discrete Fourier Transform (DFT)*. Hal ini dijelaskan dalam gambar 2.16.



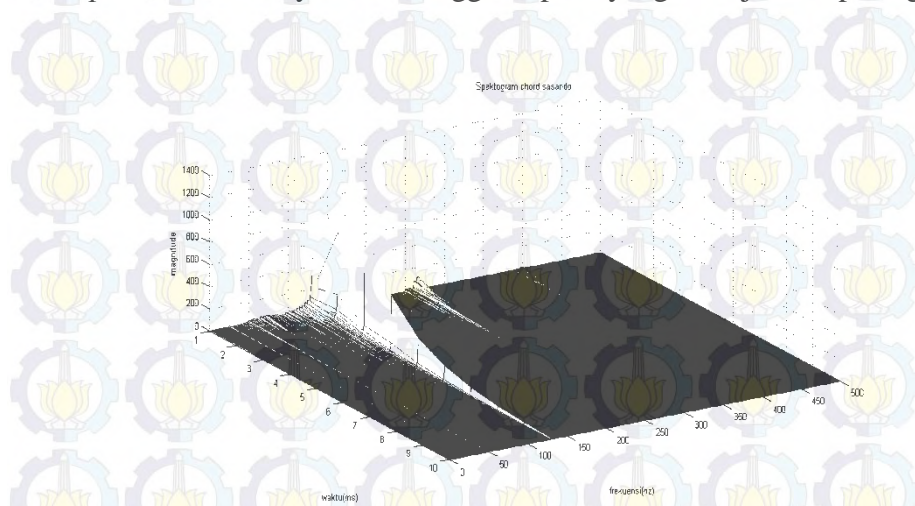
Gambar 2.16. Proses *Short-Time Fourier Transform (STFT)*

Berdasarkan gambar b, dapat dilihat bahwa metode STFT mengambil komponen sinyal hasil DFT menggunakan sistem *window*. Adapun terdapat istilah *hop size* yaitu jarak antara *window*. Sebagai contoh, jika menggunakan jendela (*window*) dengan lebar $N=8000$ pada *sampling rate* sebesar 48000 *sampling perdetik*. Maka proses STFT akan dimulai secara bertahap dari jendela yang satu ke jendela berikutnya. Berdasarkan pengertian tersebut maka, proses STFT akan dilakukan dari jendela pertama yaitu dari pada panjang sinyal $l=1-8000$

kemudian diteruskan ke jendela berikutnya yaitu dari jendela dengan panjang sinyal $l= 8001-16001$ dan seterusnya.

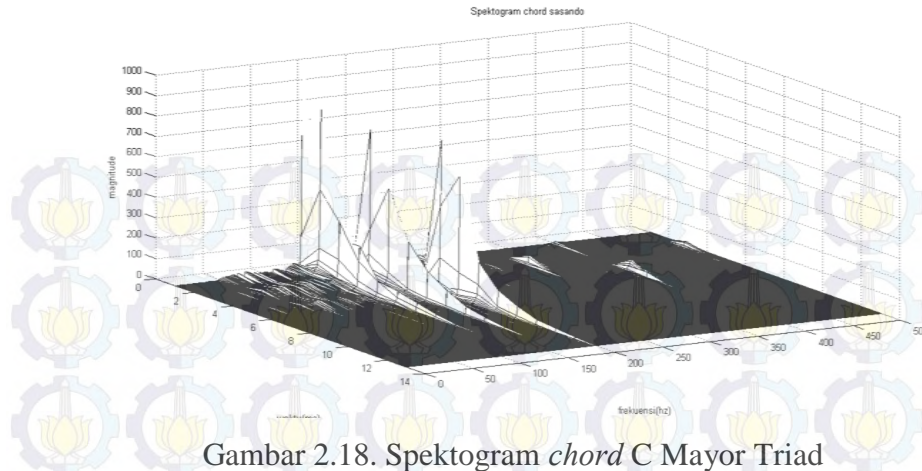
2.1.4. Pengolahan sinyal *monophonic* dan *polyphonic*

Berdasarkan jumlah komponen sinyal yang dimiliki maka sinyal audio dapat dibagi menjadi dua jenis yaitu sinyal *monophonic* dan *polyphonic*. Berdasarkan akar kata, sinyal *monophonic* merupakan sinyal suara yang memiliki komponen nada tunggal sedangkan sinyal *polyphonic* merupakan sinyal suara yang memiliki banyak komponen nada penyusun. Salah satu contoh sinyal *monophonic* ialah sinyal nada tunggal seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.17.



Gambar 2.17. Spektogram sinyal nada C

Berdasarkan gambar 2.17., dapat dilihat bahwa nada tersebut tersusun atas sebuah komponen nada. Berbeda dengan sinyal *monophonic*, sinyal *polyphonic* memiliki banyak komponen penyusun nada. Contoh dari sinyal *polyphonic* ialah *chord*. Hal ini ditunjukkan pada gambar 2.18.

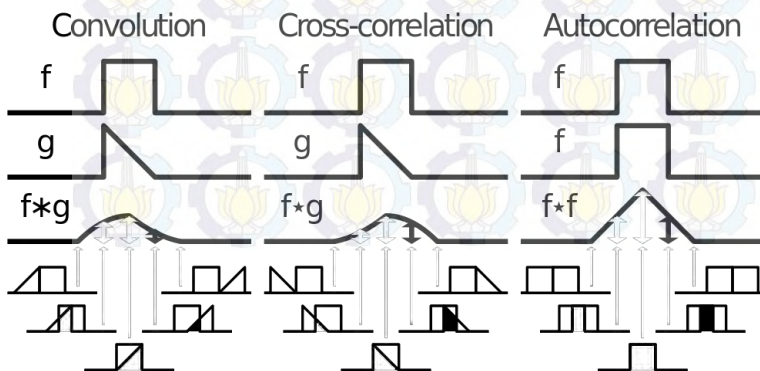


Gambar 2.18. Spektrogram *chord C Mayor Triad*

Berdasarkan gambar 2.18., dapat dilihat bahwa sinyal dari *chord C Mayor triad* tersusun atas 3 komponen nada utama. Adapun terdapat berbagai penelitian yang berhubungan dengan proses pengolahan sinyal baik *monophonic* maupun *polyphonic*. Cakupan wilayah pengolahan sinyal yang dimaksud mencakup proses transkripsi, enkripsi, sekuritas dan sebagainya. Adapun metode yang digunakan dalam proses pengolahan sinyal baik *monophonic* maupun *polyphonic* diantaranya ialah metode *cross-correlation*, *autocorrelation*, *zero-crossing* dan *frequency-domain*.

2.1.5. *Cross-correlation* dan *autocorrelation*

Metode *cross-correlation* merupakan metode yang digunakan untuk mengukur tingkat kemiripan diantara dua sinyal yang berbeda. Metode ini membandingkan dua buah sinyal untuk mencari tingkat kecocokkan diantara kedua sinyal tersebut. *Cross-correlation* memiliki kemiripan dengan *convolution*. Perbedaan mendasar antara *correlation* dan *convolution* terletak pada perbedaan fasa dari sinyal yang dibandingkan. Hal tersebut dapat dilihat pada gambar 3.4.



Gambar 3.4. *Convolution, Cross-correlation dan Autocorrelation*

Sumber: <http://work.thaslwanter.at>

Berdasarkan gambar 3.4, jika terdapat dua buah sinyal yaitu sinyal $f(n)$ dan $g(n)$ maka masing-masing komponen penyusun kedua sinyal tersebut akan saling dijumlahkan dengan cara digeser sesuai dengan urutan komponen tersebut. Metode *cross-correlation* yang digunakan dalam proses komputasi ialah metode *cross-correlation* yang bersifat diskrit. Misalkan terdapat dua buah sinyal $x(n)$ dan $y(n)$, maka *cross-correlation* diantara kedua sinyal tersebut dapat dinyatakan dalam persamaan 3.1 dan 3.2 (proakis, 1996).

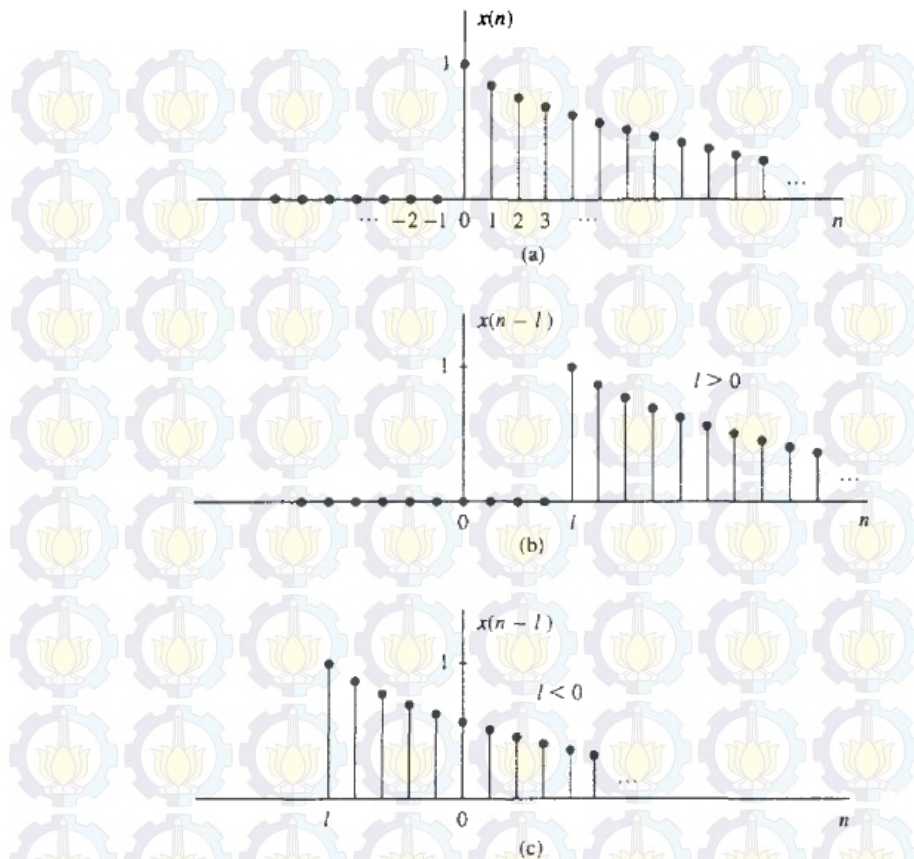
$$r_{xl}(l) = \sum_{-\infty}^{\infty} x(n)y(n-l) \quad l = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (3.1)$$

Atau juga dapat dituliskan sesuai persamaan 2.4.

$$r_{xl}(l) = \sum_{-\infty}^{\infty} x(n+l)y(n) \quad l = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (3.2)$$

Keterangan: $r_{xl}(l)$ merupakan hasil *cross-correlation* pada penjumlahan komponen penyusun sinyal $x(n)$ dan $y(n)$ sebanyak l . Berdasarkan persamaan 3.1. dan 3.2.. variabel x mewakili sinyal input dan variabel y mewakili sinyal referensi. Adapun variabel l dinyatakan sebagai *time lag (delay)* pada sinyal uji. *Time lag (delay)* merupakan salah satu efek yang ditimbulkan dalam proses transmisi sinyal. Fenomena ini banyak dijumpai dalam berbagai aplikasi dalam kehidupan nyata. Contoh *time lag (delay)* dapat ditemui pada prinsip perangkat radar. Perangkat radar menggunakan prinsip *cross-correlation* dalam proses kerjanya. Adapun terdapat dua sinyal yang saling dibandingkan yaitu sinyal referensi dan sinyal uji (sinyal pantulan dari objek yang ingin dicari di radar). Dalam hal ini sinyal uji membutuhkan waktu untuk terpantul kembali menuju penerima sinyal pada perangkat radar. Waktu yang diperlukan oleh sinyal uji untuk bergerak dari objek pantul menuju ke sisi penerima dari perangkat radar disebut sebagai *time lag (delay)* yang dinyatakan dengan variabel l . Pada aplikasi menggunakan *cross-correlation*, sinyal uji yang akan dibandingkan terhadap sinyal referensi harus digeser sejauh nilai l hingga mencapai titik dimana kedua sinyal saling berpapasan ($l = 0$). Hal ini

dikarenakan pada titik tersebut diperoleh nilai energi maksimum dari kedua sinyal yang dibandingkan. Hal ini dapat dilihat pada gambar 3.5.



Gambar 3.5. Komponen penyusun dari sinyal $x(n)$ yang dapat digeser sejauh panjang nilai l

Adapun terdapat istilah *autocorrelation*, yaitu jika metode *cross-correlation* diterapkan pada dua buah sinyal $x(n)$ dan $y(n)$ dimana $x(n)=y(n)$. Proses *autocorrelation* ditunjukkan pada persamaan 3.3.

$$w(t) = u(t)u(t) = \int_{-\infty}^{\infty} u * (\tau - t)u(\tau)d\tau \quad (3.3)$$

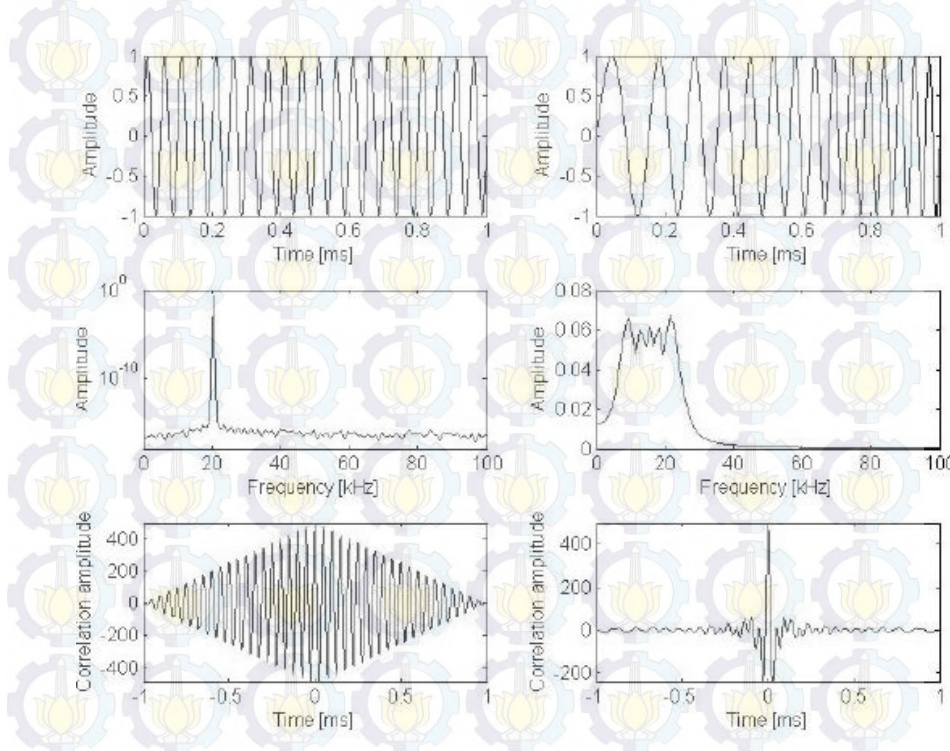
Berdasarkan persamaan 3.3, $r_s(l)$ merupakan sinyal hasil *autocorrelation* dari sinyal $s(n)$ yang dibandingkan terhadap dirinya sendiri ($s(n)$). Pada proses *auto-correlation*, terjadi penjumlahan komponen dari dua buah sinyal yang serupa. Energi terbesar terjadi pada saat nilai $t =$

0 (tidak terjadi *delay*/ kedua sinyal tepat berpapasan). Hal ini dapat dibuktikan dengan persamaan berikut:

$$\begin{aligned}
 w(0) &= \int_{-\infty}^{\infty} u * (\tau - 0)u(\tau)d\tau \\
 &= \int_{-\infty}^{\infty} u * (\tau)u(\tau)d\tau \\
 &= \int_{-\infty}^{\infty} |u(\tau)|^2d\tau = Eu
 \end{aligned}$$

Keterangan: Eu merupakan energi maksimal dari sinyal $u(\tau)$.

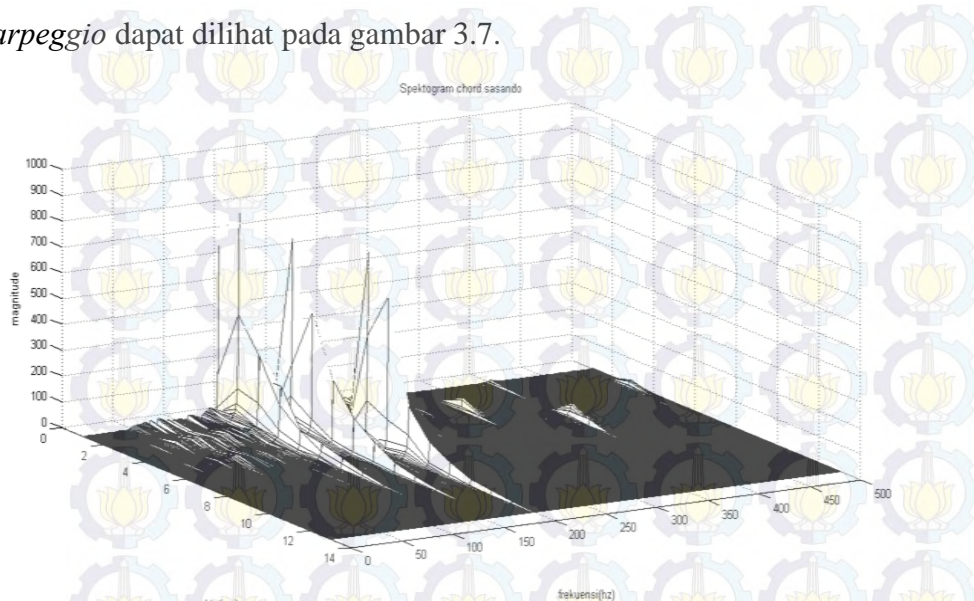
Bentuk simetri dari sinyal hasil *autocorrelation* terjadi karena semakin mendekati titik $t = 0$ maka semakin besar energi yang dihasilkan. Nilai dari energi hasil *autocorrelation* mencapai titik puncak pada saat mencapai titik $t = 0$. Hal ini dikarenakan pada titik ini kedua sinyal yang dibandingkan tepat saling berpapasan/bertindihan sehingga komponen sinyal uji tepat saling dibandingkan dengan komponen sinyal referensi yang menghasilkan nilai energi maksimum.



Gambar 3.6. Proses perbandingan sinyal dengan *cross-correlation*

Proses perbandingan dilakukan sesuai dengan ilustrasi pada gambar 3.6. Perbandingan dilakukan terhadap dua buah *chord*. Jenis *chord* yang dibandingkan merupakan *chord* dengan

sistem penyusun nada tunggal (*arpeggio*) sehingga dapat diketahui frekuensi penyusun masing-masing *chord*. Proses perbandingan dilakukan dengan menjumlahkan komponen-komponen penyusun masing-masing sinyal dengan sistem pergeseran. Contoh spektrogram *chord* dengan sistem *arpeggio* dapat dilihat pada gambar 3.7.



Gambar 3.7. Spektrogram *chord* C pada *arpeggio* 3 penyusun

Berdasarkan gambar 3.7., dapat dilihat 3 buah frekuensi utama yang merupakan frekuensi dari nada penyusun *chord* tersebut. Dari frekuensi yang ada dapat diketahui bahwa ketiga nada yang dimaksud ialah **C(131 Hz)**, **E(165 Hz)** dan **G(196Hz)**. Komponen frekuensi dari masing-masing data inilah yang akan saling dibandingkan dalam proses analisa.

Misalkan terdapat dua sinyal yaitu $x(n)$ dan $y(n)$ dimana komponen penyusun masing-masing sinyal (diskrit) adalah $x(n) = \{\dots, 0, 0, 2, -1, 3, 7, 1, 2, -3, 0, 0, \dots\}$ dan $y(n) = \{\dots, 0, 0, 1, -1, 2, -2, 4, 1, -2, 5, 0, 0, \dots\}$. Jika dilakukan perbandingan terhadap kedua sinyal tersebut dengan menggunakan *cross-correlation*, maka masing-masing komponen penyusun sinyal tersebut akan saling dijumlahkan. Berdasarkan teori tersebut maka hasil dari *cross-correlation* terhadap kedua sinyal tersebut adalah

$$\begin{array}{cccccc}
 r_{xy}(-1)=0 & r_{xy}(-2)=33 & r_{xy}(-3)=-14 & r_{xy}(-4)=36 & r_{xy}(-5)=19 & r_{xy}(-6)=-9 \\
 r_{xy}(-7)=10 & r_{xy}(0)=7 & r_{xy}(1)=13 & r_{xy}(2)=-18 & r_{xy}(3)=16 & r_{xy}(4)=-7 \\
 r_{xy}(5)=5 & r_{xy}(6)=-3 & & & &
 \end{array}$$

Sehingga $r_{xy}(l)=\{0, 33, -14, 36, 19, -9, 1-, 7, 13, -18, 16, -7, 5, -3\}$

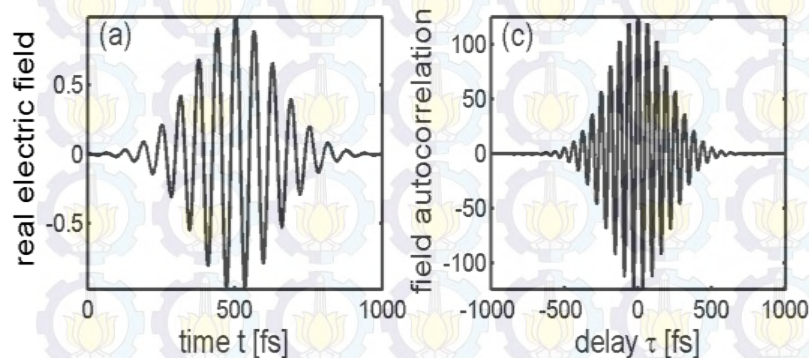
Spektrogram dari sinyal hasil *cross-correlation* dapat dilihat pada ilustrasi yang ditunjukkan pada gambar 3.9. Adapun terdapat nilai energy dari *cross-correlation* yang ditunjukkan pada persamaan 3.4.

$$|r_{xl}(l)| \leq \sqrt{r_{xx}(0)r_{yy}(0)} = \sqrt{E_x E_y} \quad (3.4)$$

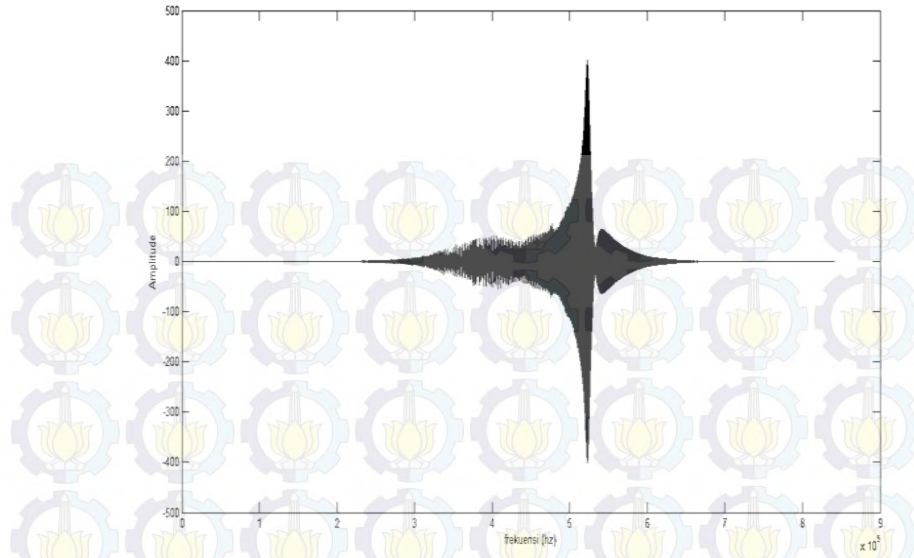
Keterangan: $|r_{xl}(l)|$ besaran nilai energi dari sinyal hasil *cross-correlation* r_{xx} dan r_{yy} atau eneri E_x dan E_y . Jika persamaan 3.4., diterapkan pada proses *autocorrelation* maka dapat ditunjukkan pada persamaan 3.5.

$$|r_{xx}(l)| \leq r_{xx}(0) = \sqrt{E_x} \quad (3.5)$$

Keterangan: r_{xx} merupakan besaran nilai energi dari sinyal hasil *autocorrelation* pada E_x . Berdasarkan persamaan 3.5.,dapat dilihat bahwa sinyal hasil *autocorrelation* akan mencapai energi maksimum pada nilai $l=0$. Hal inilah yang mengakibatkan sinyal hasil *autocorrelation* memiliki bentuk menyerupai belah ketupat. Sinyal hasil *autocorrelation* ditunjukkan pada gambar 3.8..



Gambar 3.8. Bentuk sinyal hasil *autocorrelation*



Gambar 3.9. Sinyal hasil *cross-correlation*

Berdasarkan gambar 3.9, dapat dilihat sinyal hasil *cross-correlation* pada dua buah sinyal yaitu sinyal *chord C* dan *G*.

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Data Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari proses rekaman langsung terhadap sinyal *polyphonic (chord)* dari alat musik sasando. Data-data tersebut direkam dalam format WAV dengan frekuensi sampling sebesar 48000 Hz. Jenis *chord* yang digunakan dalam penelitian berada pada wilayah tangga nada C dan G. Hal ini dikarenakan keterbatasan wilayah tangga nada dari jenis sasando yang digunakan. Berdasarkan wilayah tangga nada yang digunakan maka cakupan *chord* yang dapat digunakan sebagai referensi adalah sebagai berikut:

- **Chord pada wilayah tangga nada C : C, Dm, Em, F, G, Am**
- **Chord pada wilayah tangga nada G : G, Am, Bm, C, D, Em**

Proses pengambilan data dilakukan dengan menggunakan mikrofon kondenser yang memiliki tingkat sensitivitas yang dihubungkan dengan perangkat komputer dengan memanfaatkan perangkat lunak.

3.2. Chord

Dalam istilah musik, *chord* ialah 3 nada atau lebih yang dibunyikan secara simultan. *Chord* yang digunakan sebagai standar musik saat ini pada dasarnya mengikuti sistem musik barat. Sebelum memahami proses pembuatan sebuah *chord*, pemusik harus terlebih dahulu memahami pengertian tangga nada sebagai dasar pemahaman. Berdasarkan standar musik barat, sebuah *chord* tersusun oleh minimal 3 buah komponen nada tunggal. Sebagai contoh, sebuah *chord* C Mayor tersusun dari nada C, E dan G. Yang membedakan antara jenis *chord* yang satu dengan *chord* lainnya ialah formula jarak interval antara nada penyusunnya. Sebagai contoh, *chord* mayor memiliki ciri formula interval nada penyusun yaitu *Whole(W)-Half(H)* sedangkan *chord* minor memiliki formula *Half(H)-Whole(W)*. Terdapat berbagai jenis formula yang bila dikembangkan dapat membentuk berbagai jenis *chord*. Pada umumnya, *chord* dasar dengan sistem 3 nada penyusun banyak digunakan dalam jenis lagu pop, sedangkan untuk jenis lagu blues dan jazz banyak menggunakan jenis *chord* dengan nada penyusun lebih dari 3 nada. Jenis

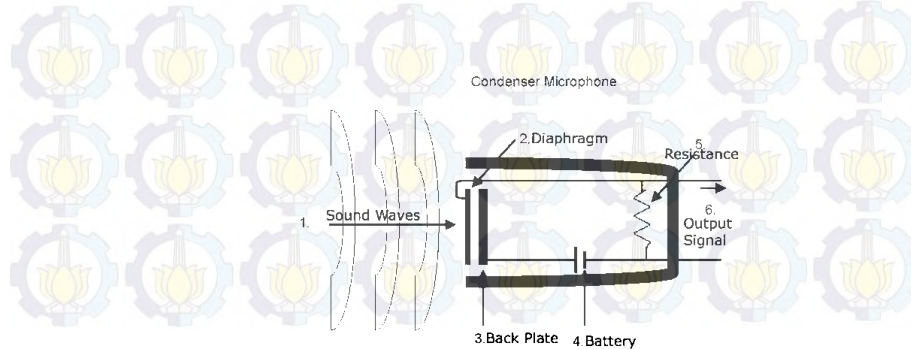
chord yang dimaksud seperti *CM7*, *Dminor7*, *Eaugmented* dan sebagainya Tabel 3.1., menunjukkan contoh formasi *chord* pada tangga nada C.

Tabel 3.1. Formasi *chord* pada tangga nada C

No	Nada	Formula	Nama Chord	Simbol
1	C E G	1 3 5	C Mayor	C
2	D F A	1 b3 5	D minor	Dm/D-/Dmin
3	E G B	1 b3 5	E minor	Em/E-/Emin
4	F A C	1 3 5	F Mayor	F
5	G B D	1 3 5	G Mayor	G
6	A C E	1 b3 5	A minor	Am/A-/Amin
7	B D F	1 b3 b5	B diminished	Bdim

3.3. Karakteristik Mikrofon Kondenser Behringer B-1

Pada penelitian ini digunakan perangkat mikrofon Behringer B1 sebagai sarana pengambilan data. Jenis mikrofon ini merupakan jenis mikrofon bertipe kondenser. Dinamakan mikrofon kondenser dikarenakan adanya penggunaan kondensator. Kondensator merupakan sebuah perangkat yang terbuat dari membrane ringan dan plat yang diletakkan di bagian belakang mikrofon dan berfungsi seperti sebuah kapasitor (gambar 3.1) (Tjahyanto, 2012).

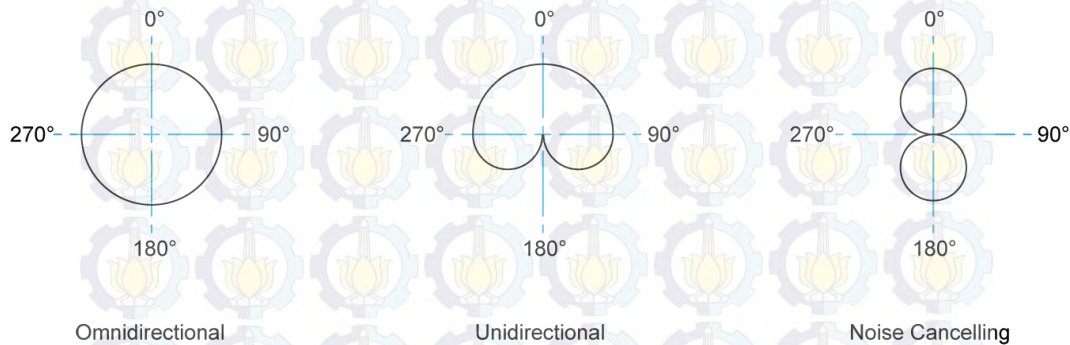


Gambar 3.1. Diagram kerja mikrofon kondenser

Sumber: <http://img.bhs4.com/>

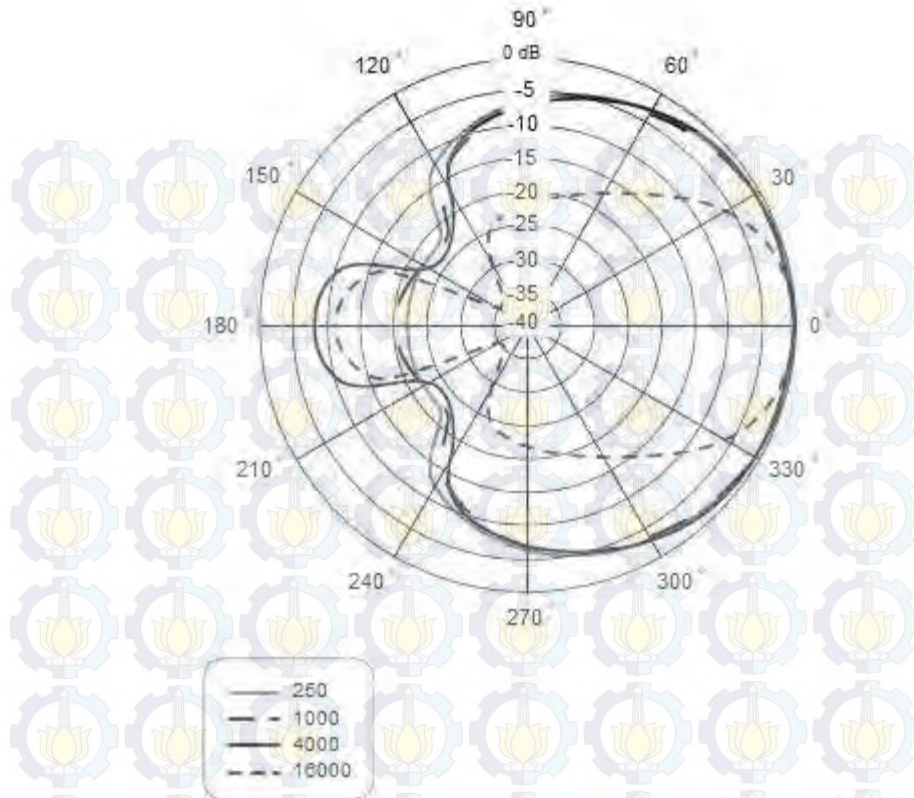
Mikrofon kondenser merupakan jenis mikrofon khusus yang banyak digunakan dalam proses rekaman sinyal suara dikarenakan tingkat sensitivitas yang tinggi. Karena adanya fungsi kondensator maka mikrofon jenis ini harus memperoleh tambahan daya sebesar 48 Volt. Tambahan daya tersebut biasanya dinamakan sebagai *phantom power*.

Masing-masing mikrofon memiliki arah sensitivitas tangkapan suara. Berdasarkan arah sensitivitas tangkapan suara maka mikrofon dapat dibagi menjadi beberapa jenis yaitu *cardioid*, *super cardioid*, *hyper cardioid*, *omni-directional*, *bi-directional* dan *hemispherical*. Jenis mikrofon berdasarkan arah sensitivitas tangkapan suara dapat digambarkan pada gambar 3.2.



Gambar 3.2. Arah sensitivitas tangkapan suara mikrofon

Mikrofon behringer B1 merupakan jenis mikrofon kondenser bertipe *cardioid* yang membutuhkan daya tambahan (*phantom power*) sebesar +48V. Karakteristik ini membuat mikrofon ini bersifat *directivity* dimana memiliki arah tangkap suara tertentu saja. Selain itu, mikrofon ini juga bertipe *low-cut* yang dapat memfilter nada pada frekuensi rendah.



Gambar 3.3. Arah sensitivitas tangkapan suara mikrofon kondenser Behringer B-1

Berdasarkan gambar 3.3., dapat dilihat bahwa mikrofon kondenser Behringer B-1 merupakan jenis mikrofon *cardioid* dengan arah tertentu. Dengan demikian maka untuk memperoleh sinyal suara yang berkualitas maka sumber suara harus memiliki posisi tepat di depan mikrofon yaitu pada sudut 0° . Adapun karakteristik keseluruhan dari mikrofon ini dapat dilihat pada tabel 3.2.

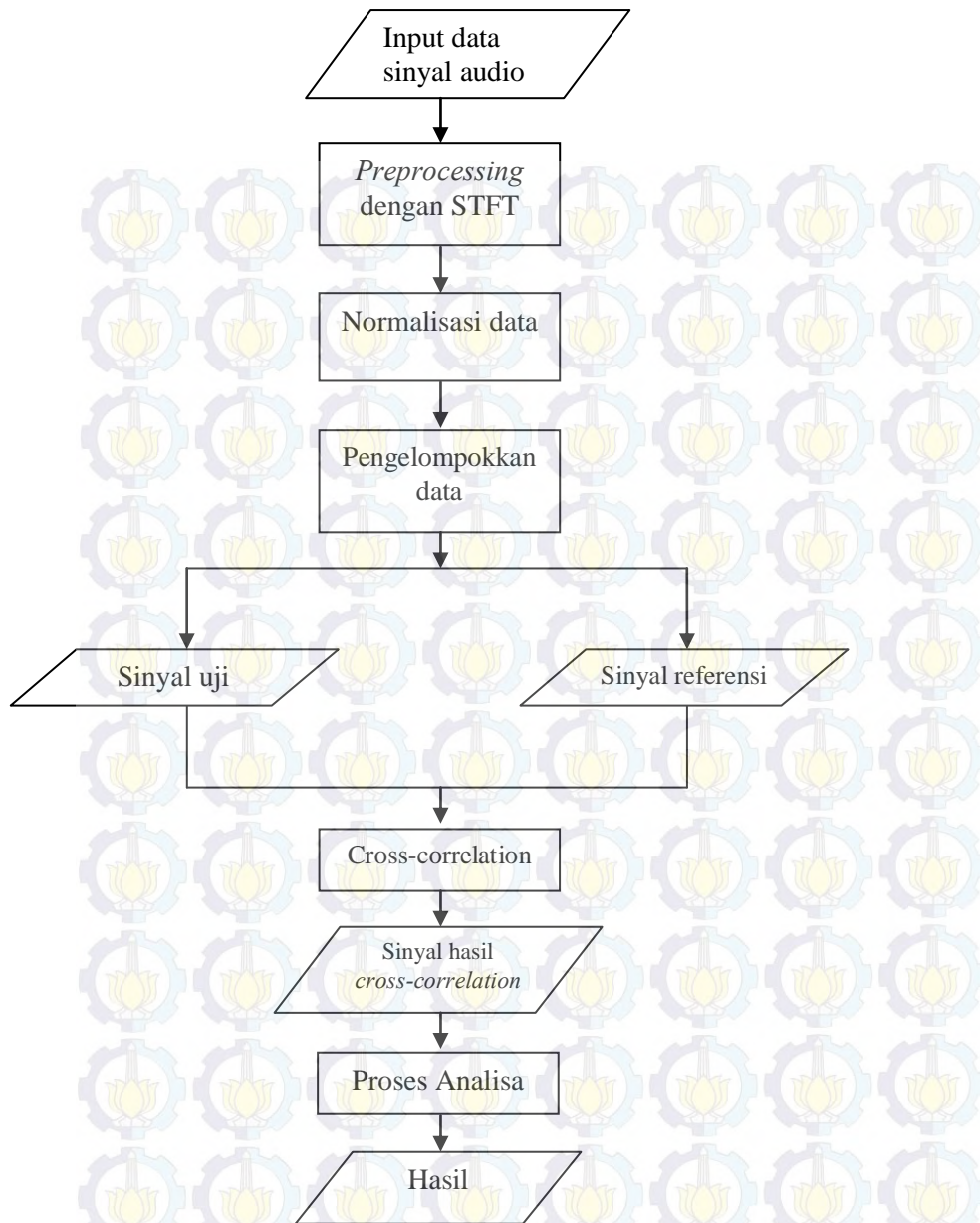
Tabel 3.2. Karakteristik mikrofon kondenser Behringer B1

Transducer type	condenser, single diaphragm
Operating principle	pressure gradient
polar pattern	Cardioid

Connection	gold-plated balanced XLR connector
Open circuit Voltage at 1 kHz	-34 + / -2dBv
Frequency Range	20 Hz - 20 kHz
Level Attenuation	- 10 dB
Low-Cut filter	6 dB/Octave at 75 Hz
Nominal Impedance	50
Load Impedance	> 1
Supply Voltage	+ 48V
Supply Current	3 mA

3.4. Metode Penelitian

Penelitian kali ini menggunakan metode *cross-correlation* untuk menganalisa sinyal *polyphonic (chord)* dari alat musik sasando. Data sinyal yang digunakan diperoleh dari hasil rekaman langsung terhadap sinyal *chord* pada alat musik sasando. Data sinyal yang digunakan terdiri dari dua jenis, yaitu sinyal uji dan sinyal referensi. Jenis *chord* yang digunakan berada pada wilayah tangga nada C dan G. Hal ini dikarenakan keterbatasan wilayah tangga nada yang dimiliki oleh perangkat sasando yang digunakan dalam proses penelitian. Jenis *chord* pada wilayah tangga nada C terdiri dari *chord C, Dminor, Eminor, F, G* dan *Aminor*. Sedangkan jenis *chord* pada wilayah tangga nada G terdiri dari *chord G, Aminor, Bminor, C, D* dan *Eminor*. Alur metode yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3.10



Gambar 3.10. Diagram Alir Metode Penelitian

Berdasarkan gambar 3.10, proses *preprocessing* dilakukan dengan menggunakan *Short-Time Fourier Transform (STFT)*. Pada proses ini, sinyal audio yang ingin diuji terlebih dahulu direpresentasikan ke dalam bentuk domain waktu dan frekuensi. Proses ini bertujuan untuk mengetahui komponen penyusun nada dari data *chord* yang digunakan dan juga dapat melihat jumlah penyusun nada dari data tersebut.

Setelah melalui tahap *preprocessing*, maka sinyal selanjutnya akan dinormalisasi dan dikelompokkan berdasarkan jenis *chord* dan jumlah nada yang dipetik untuk selanjutnya dijadikan acuan dalam proses *cross-correlation*. Data yang ingin dibandingkan kemudian dibagi menjadi 2 jenis yaitu data uji dan data referensi.

Proses pengujian dilakukan dengan membandingkan 2 jenis sinyal yaitu sinyal uji dengan sinyal referensi sebagai berikut:

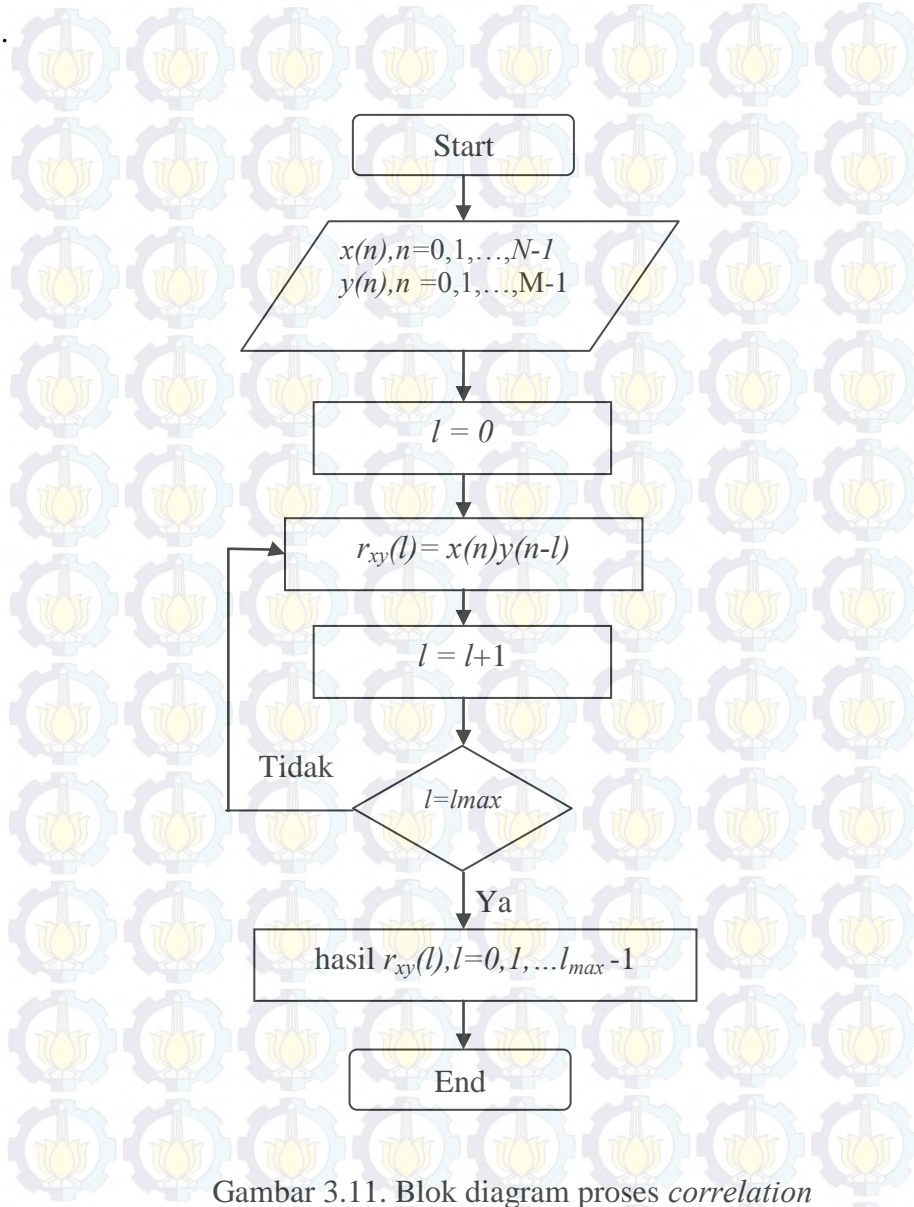
- **Sinyal uji**, merupakan sinyal yang akan diuji. Data dari sinyal ini berupa hasil rekaman langsung terhadap sinyal *polyphonic (chord)* yang diambil dari alat musik sasando. Data-data tersebut direkam dalam format WAV dengan frekuensi sampling sebesar 48000 Hz. Terdapat 8 jenis chord yang digunakan pada penelitian kali ini. Jenis chord yang digunakan terdapat pada wilayah tangga nada C dan G yaitu *chord* C, Dminor, Eminor, F, G, Aminor, Bminor, D.
- **Sinyal referensi**, merupakan sinyal yang digunakan sebagai pembanding terhadap sinyal input. Data sinyal ini sama dengan data pad sinyal uji. Terdapat 8 jenis chord yang digunakan sebagai sinyal referensi. Jenis chord yang digunakan terdapat pada wilayah tangga nada C dan G yaitu *chord* C, Dminor, Eminor, F, G, Aminor, Bminor dan D.

Adapun pada proses *cross-correlation* dilakukan perbandingan terhadap dua buah sinyal yaitu sinyal uji dan sinyal referensi. Misalkan jika terdapat sinyal uji $x(n)$ dan sinyal referensi $y(n)$ dimana kedua sinyal tersebut dibatasi oleh jumlah komponen penyusun tertentu dimana batas $x(n)$ ialah $0 \leq n \leq N - 1$ dan batas $y(n)$ ialah $0 \leq n \leq M - 1$ serta nilai $M \leq N$ maka proses *correlation* dinyatakan oleh persamaan 3.6.

$$r_{xy}(l) = \begin{cases} \sum_{n=i}^{M-1+l} x(n)y(n-l) & 0 \leq l \leq N - M \\ \sum_{n=i}^{N-1} x(n)y(n-l) & 0 \leq l \leq N - 1 \end{cases} \quad (3.6)$$

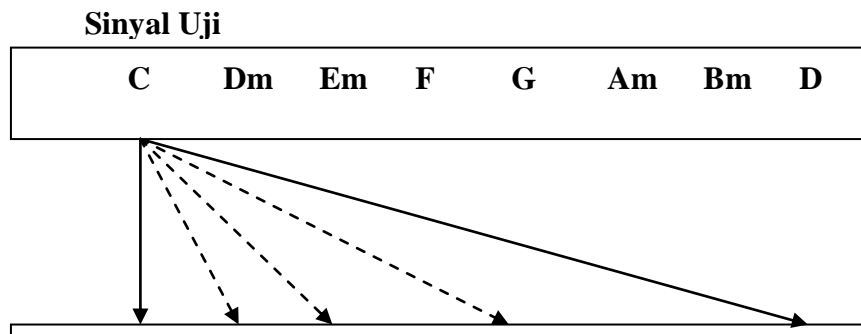
Keterangan: $r_{xy}(l)$ merupakan sinyal hasil *cross-correlation* $x(n)$ dan $y(n)$ dimana nilai n dari $x(n)$ ialah $0 \leq n \leq N - 1$ dan nilai n dari $y(n)$ ialah $0 \leq n \leq M - 1$. Berdasarkan persamaan 3.6, proses *correlation* dilakukan dengan dengan terlebih dahulu membandingkan jumlah komponen penyusun dari masing-masing sinyal yaitu $x(n)$ dan $y(n)$. Dalam hal ini jumlah komponen dari

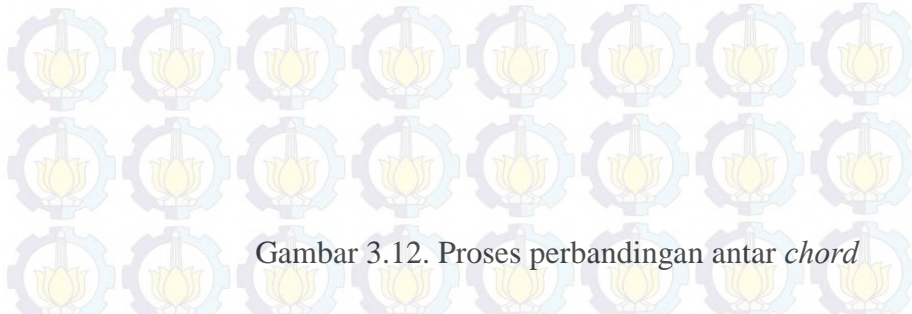
sinyal $x(n)$ yaitu N lebih besar dibandingkan dengan jumlah komponen dari sinyal $y(n)$ yaitu M . Proses *correlation* kemudian akan menjumlahkan komponen-komponen kedua sinyal dengan terlebih dahulu melihat nilai komponen penyusun sinyal $y(n)$. Proses ini ditunjukkan pada gambar 3.11.



Gambar 3.11. Blok diagram proses *correlation*

Adapun proses *correlation* pada penelitian ini dilakukan sesuai dengan proses yang ditunjukkan pada gambar 3.12





Gambar 3.12. Proses perbandingan antar *chord*

Berdasarkan gambar 3.12, masing-masing *chord* akan dibandingkan satu dengan lain dengan skenario sebagai berikut:

- **Perbandingan *chord* (3 nada penyusun) dengan *chord* (3 nada penyusun) dengan tempo yang sama**

Pada skenario ini, jenis *chord* yang dimainkan dengan arpeggio pada 3 nada saling dibandingkan satu terhadap yang lain dengan tempo yang sama



Gambar 3.13. Ilustrasi perbandingan *chord* dengan arpeggio 3 nada

- **Perbandingan *chord* (3 nada penyusun) dengan *chord* (3 nada penyusun) dengan tempo yang berbeda**

Pada skenario ini, jenis *chord* yang dimainkan dengan arpeggio pada 3 nada saling dibandingkan satu terhadap yang lain dengan tempo yang berbeda

- **Perbandingan *chord* (4 nada penyusun) dengan *chord* (4 nada penyusun) dengan tempo yang sama**

Pada skenario ini, jenis *chord* yang dimainkan dengan arpeggio pada 4 nada saling dibandingkan satu terhadap yang lain dengan tempo yang sama.



Gambar 3.14. Ilustrasi perbandingan *chord* dengan arpeggio 4 nada

- **Perbandingan *chord* (4 nada penyusun) dengan *chord* (4 nada penyusun) dengan tempo yang berbeda**

Pada skenario ini, jenis *chord* yang dimainkan dengan arpeggio pada 4 nada saling dibandingkan satu terhadap yang lain dengan tempo yang berbeda.

- **Arpeggio 3 nada (do – mi – sol) terhadap 4 nada (do – mi – sol – mi) pada tempo yang sama**

Pada skenario ini, jenis *chord* yang dimainkan dengan arpeggio pada 3 nada saling dibandingkan satu terhadap yang lain pada *chord* yang dimainkan dengan arpeggio 4 nada pada tempo yang sama.



Gambar 3.15. Ilustrasi perbandingan *chord* pada arpeggio 3 nada terhadap 4 nada

- **Arpeggio 3 nada (do – mi – sol) terhadap 2 nada (do – mi) pada tempo yang sama**

Pada skenario ini, dilakukan perbandingan antara *chord* yang mengandung 3 nada penyusun terhadap 2 nada penyusun (*power chord*). *Power chord* merupakan jenis *chord* yang banyak digunakan pada jenis musik metal. Ilustrasi dari skenario ini dapat dilihat pada gambar 3.16.



Gambar 3.16. Ilustrasi perbandingan *chord* pada arpeggio 3 nada terhadap 2 nada

- **Arpeggio 3 nada (do – mi – sol) terhadap nada tunggal**

Pada skenario ini, dilakukan perbandingan antara *chord* yang mengandung 3 nada penyusun terhadap nada tunggal.



Gambar 3.17. Ilustrasi perbandingan *chord* pada arpeggio 3 nada terhadap nada tunggal

Selain itu, pada masing-masing skenario dilakukan 3 percobaan, yaitu:

- **Proses auto-correlation**, yaitu perbandingan sebuah *chord* terhadap dirinya sendiri.

- **Perbandingan *chord* yang memiliki komponen penyusun nada yang sama,** dalam hal ini jenis *chord* yang digunakan adalah jenis *chord* yang memiliki komponen penyusun nada yang sama. Misalkan *chord* C (C – E – G) dengan *chord* G (G – B – D). Dalam hal ini terdapat persamaan dalam hal nada penyusun antara *chord* C dan G yaitu pada nada penyusun **G**.
- **Perbandingan *chord* yang memiliki komponen penyusun nada yang berbeda,** dalam hal ini jenis *chord* yang digunakan adalah jenis *chord* yang memiliki komponen penyusun nada yang tidak memiliki kesamaan. Misalkan *chord* C (C – E – G) dengan *chord* D (D – F# – A).

Hasil dari proses perbandingan sinyal uji dan sinyal referensi menggunakan *cross-correlation* kemudian akan dianalisa. Proses analisa dilakukan dengan melihat karakteristik dari sinyal tersebut, yaitu:

- **Besar nilai amplitudo maksimum**
Masing-masing sinyal hasil *correlation* memiliki karakteristik dalam hal nilai amplitudo maksimum. Hal ini bergantung dari hasil penjumlahan komponen-komponen penyusun sinyal tersebut. Hal inilah yang dapat dijadikan acuan proses analisa karena sifat karakteristik nilai amplitudo maksimum yang unik.
- **Bentuk sinyal**
Bentuk dari sinyal hasil *correlation* juga dapat dijadikan acuan dalam proses analisa. Dalam proses *auto-correlation* bentuk sinyal pada umumnya menyerupai bentuk belah ketupat. Hal ini dikarenakan terjadi penjumlahan terhadap komponen penyusun dari dua sinyal yang dibandingkan.

BAB 4

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Penelitian dilakukan dengan membandingkan sinyal uji dan sinyal referensi dengan menggunakan metode *cross-correlation*. Sinyal yang digunakan merupakan sinyal *polyphonic* (*chord*) yang diperoleh dari hasil rekaman terhadap suara yang dihasilkan oleh alat musik sasando. Kedua sinyal yang digunakan (sinyal uji dan sinyal referensi) merupakan hasil rekaman langsung (data akustik).

4.1. Proses Pengambilan Data

Proses pengambilan data dilakukan dengan memanfaatkan beberapa perangkat, yaitu:

- Mikrofon
Mikrofon yang digunakan merupakan mikrofon kondenser dari pabrikan *behringer* dengan tipe Behringer B-1. Alasan penggunaan mikrofon kondenser dikarenakan jenis mikrofon ini memiliki tingkat kepekaan yang tinggi serta jangkauan tangkapan sinyal yang luas.



Gambar 4.1. Mikrofon kondenser tipe Behringer B-1

- *Audio Mixer*, merupakan perangkat elektronik yang berfungsi untuk melakukan modifikasi sinyal audio yang ingin diolah. Perangkat ini juga memiliki *phantom power* yang merupakan sumber tegangan bagi mikrofon kondenser. Pada penelitian ini digunakan perangkat *audio mixer* dengan tipe Behringer XENYX QX1002USB. Kelebihan dari perangkat ini ialah memiliki jumlah *channel* yang banyak dan juga dapat terhubung secara langsung via USB.



Gambar 4.2. Perangkat *Audio Mixer* tipe Behringer XENYX QX1002USB

- *Soundcard*
Soundcard merupakan perangkat keras yang digunakan untuk mengolah data suara (audio). Pada penelitian kali ini, perangkat *soundcard* yang digunakan dapat ditemui pada perangkat *audio mixer* maupun laptop.
- Laptop, digunakan untuk melakukan proses pengolahan data dengan memanfaatkan perangkat lunak (*software*). Jenis laptop yang digunakan ialah ASUS X450C.



Gambar 4.3. Perangkat laptop Asus X450C

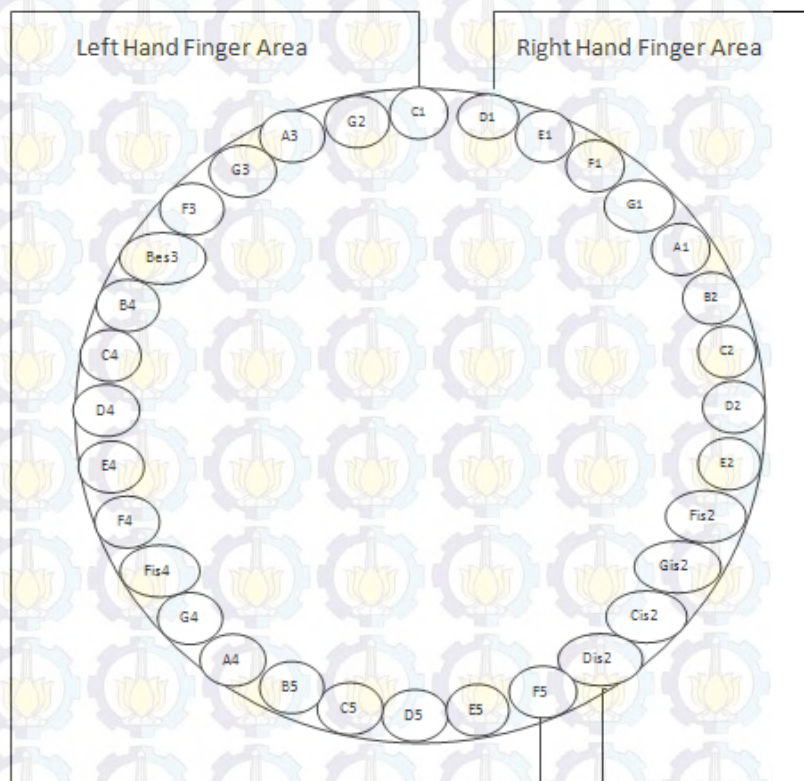
Berikut merupakan spesifikasi dari perangkat laptop yang digunakan dalam proses penelitian:

- Processor : Intel® Core™ i3-3217U CPU @1.80GHz

- Memory RAM: 2.00 Gb
- System type : 64-bit Operating System

Adapun perangkat lunak (*software*) yang digunakan terdiri dari tiga jenis, yaitu *Adobe Audition CS5.5*, *Audacity 2.05* dan *Matlab*.

- Alat musik sasando yang digunakan dalam penelitian ini merupakan jenis sasando biola yang memiliki jumlah senar sebanyak 32 buah. Sasando jenis ini bernada diatonik dan berada pada wilayah tangga nada C dan G. Pembagian wilayah nada sasando yang digunakan dapat dilihat pada gambar 4.4.



Gambar 4.4. Posisi nada pada perangkat sasando biola 32 senar (diatonik)

Adapun alur proses pengambilan data adalah sebagai berikut:



Gambar 4.5. Alur proses pengambilan data

Berdasarkan gambar 4.5, data sinyal suara yang dihasilkan oleh alat musik sasando direkam menggunakan mikروفon kondenser. Setelah melalui *audio mixer* maka sinyal tersebut akan dikirimkan ke perangkat laptop dan diolah menggunakan perangkat lunak (*software*).

4.2. Teknik perekaman data

Proses perekaman data harus dilakukan dengan teknik yang benar agar mampu menghasilkan data yang baik. Teknik perekaman data mencakup jarak antara sumber sinyal suara (alat musik sasando) dengan mikروفon maupun parameter yang digunakan dalam proses pengambilannya. Berikut merupakan teknik pengambilan data yang digunakan dalam penelitian ini:

- **Jarak antara sumber sinyal suara (alat musik sasando) dengan mikروفon**

Jarak yang digunakan antara sumber sinyal suara (alat musik sasando) dengan mikروفon adalah sejauh 1 meter. Jarak tersebut bertujuan agar sinyal yang direkam memiliki kualitas suara yang baik. Jika jarak melebihi 1 meter maka sinyal suara yang direkam akan melemah, sebaliknya jika jarak tersebut kurang dari 1 meter maka amplitudo dari sinyal suara yang ditangkap akan melebihi batas maksimum yang dapat membuat sinyal tersebut menjadi cacat.

- **Frekuensi sampling**

Frekuensi sampling yang digunakan adalah sebesar 48000 Hz. Penggunaan frekuensi ini bertujuan agar sinyal hasil rekaman dapat lebih halus.

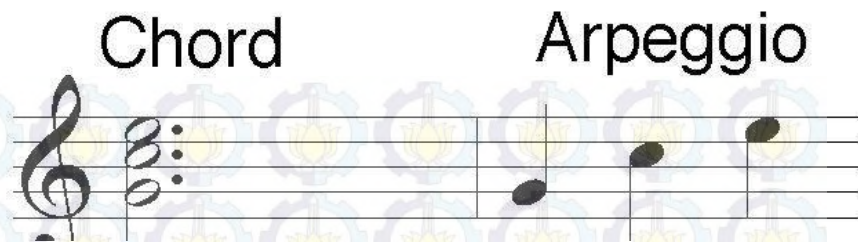
- **Jenis kanal**

Kanal yang digunakan adalah mono dengan tingkat kedalaman 16 bit. Penggunaan kanal mono dimaksudkan agar sinyal suara yang direkam tidak terbagi namun hanya terfokus pada satu kanal saja.

- **Format data hasil rekaman**

Format data yang digunakan bertipe *Waveform Audio File Format (WAV)*. Format ini digunakan karena memiliki tingkat keakuratan yang lebih tinggi karena tidak mengalami proses kompresi seperti yang terjadi pada format MP3.

Data yang digunakan dalam penelitian merupakan data *monophonic* dan *polyphonic* berupa *chord*. Sebuah *chord* tersusun atas beberapa nada penyusun. Jenis *chord* yang digunakan dalam penelitian ini merupakan *chord* bertipe *triad*, yaitu jenis *chord* yang memiliki 3 nada penyusun (do, mi dan sol). Sebuah *chord* dapat dimainkan dengan memetik nada-nada penyusunnya secara bersamaan atau dengan memetik nada-nada penyusun secara berurutan dengan tempo yang tetap (teknik arpeggio). Pada sasando, teknik permainan yang biasa digunakan ialah dengan memetik nada-nada penyusun *chord* tersebut secara berurutan (teknik arpeggio). Karena alasan tersebut, maka data *chord* yang digunakan dalam penelitian kali ini merupakan data *chord* yang dimainkan secara arpeggio. Sebagai contoh, sebuah *chord* C Mayor Triad tersusun atas 3 nada utama yaitu **C(do)**, **E(mi)** dan **G(sol)**, sedangkan *chord* G Mayor Triad tersusun atas 3 nada utama yaitu **G(do)**, **B(mi)** dan **D(sol)**. Hal inipun berlaku pada jenis *chord* yang lain. Pada alat musik sasando, *chord* tersebut tidak dibunyikan secara bersamaan namun dibunyikan secara berurutan dengan tempo yang tetap. Berikut merupakan contoh *chord* yang dimainkan dengan teknik arpeggio:



Gambar 4.6. Teknik petikan Arpeggio pada *chord* C

Berdasarkan gambar 4.6, dapat dilihat bahwa nada G, C dan E tidak dimainkan secara bersamaan namun dipetik secara berurutan sesuai dengan tempo tertentu. Berdasarkan pengertian tersebut maka proses pengambilan data dilakukan dengan metode arpeggio. Terdapat beberapa skenario pengambilan data pada penelitian kali ini. Skenario tersebut adalah sebagai berikut:

- **Petikan do – mi – sol pada ketukan $\frac{3}{4}$**

Data *chord* yang digunakan terdiri dari 3 nada penyusun (triad) yang dibunyikan secara berurutan pada ketukan $\frac{3}{4}$. Pada penelitian ini, terdapat 2 jenis tempo yang digunakan, yaitu tempo sedang dan tempo cepat. Hal ini dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 4.7. Teknik Arpeggio pada *chord* C dengan ketukan $\frac{3}{4}$

- **Petikan do – mi – sol – mi pada ketukan 4/4**

Data *chord* yang digunakan terdiri dari 4 nada (do – mi – sol – mi) yang dibunyikan secara berurutan pada ketukan 4/4. Hal ini dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 4.8. Teknik Arpeggio pada *chord* C dengan ketukan 4/4

4.3. Data Percobaan

Pada percobaan ini, data yang digunakan merupakan hasil rekaman langsung terhadap sinyal suara yang dihasilkan oleh alat musik sasando. Data tersebut berupa sinyal *polyphonic* (*chord*) yang terdapat pada tangga nada G dan C. Pengambilan data pada wilayah tangga nada tersebut dikarenakan keterbatasan cakupan wilayah nada yang dimiliki oleh perangkat sasando yang digunakan dalam proses penelitian. Data dalam penelitian ini terdiri dari data sinyal *monophonic* dan *polyphonic*. Adapun data sinyal ditunjukkan pada tabel 4.1 dan 4.2.

Tabel 4.1. Data sinyal *Monophonic* (nada tunggal)

No	Nama Nada	Batasan Nilai Frekuensi (Hz)		
		Batas Bawah	Normal	Batas Atas
1	C4	260	262	265
2	D4	290	293	296
3	E4	327	330	333
4	F3	172	175	178
5	G4	389	392	395
6	A3	217	220	223
7	B3	244	247	250

Tabel 4.2. Data sinyal *Polyphonic* (*Chord*)

No.	Nama Chord	Nada Penyusun (Triad(Do-Mi-Sol))
1	C Mayor	C - E - G
2	D minor	D - F - A
3	E minor	E - G - B
4	F Mayor	F - A - C
5	G Mayor	G - B - D
6	A minor	A - C - E
7	B minor	B - D - F#
8	D Mayor	D - F# - A

Data *chord* yang diperoleh merupakan *chord* yang dimainkan dengan melakukan penyusunan tunggal secara berurutan terhadap masing-masing nada penyusun *chord* sesuai dengan tempo tertentu (teknik *appergio*). Penelitian dilakukan dengan membandingkan *chord uji* dan *chord referensi* dengan menggunakan metode *cross-correlation*. Data yang digunakan pada *chord uji* dan *chord referensi* pada dasarnya adalah sama, yang membedakan ialah posisi dari *chord* yang digunakan (sebagai *chord uji* atau *chord referensi*). Proses analisa dilakukan terhadap sinyal baru hasil perbandingan dengan melihat karakteristik dari sinyal tersebut. Data yang digunakan dalam penelitian berjumlah 32 buah data dari 8 jenis *chord* sesuai dengan banyaknya nada yang dimainkan dan tempo dari petikan yang dilakukan. Hal tersebut dapat dilihat pada tabel 4.3.

Tabel 4.3. Data penelitian

No.	Data	Nada yang dipetik	Tempo	No.	Data	Nada yang dipetik	Tempo
1	C Mayor	C – E – G	60	17	G Mayor	G – B – D	60
2	C Mayor	C – E – G – E	60	18	G Mayor	G – B – D – B	60
3	C Mayor	C – E – G	90	19	G Mayor	G – B – D	90
4	C Mayor	C – E – G – E	90	20	G Mayor	G – B – D – B	90
5	D minor	D – F – A	60	21	A minor	A – C – E	60
6	D minor	D – F – A – F	60	22	A minor	A – C – E – C	60
7	D minor	D – F – A	90	23	A minor	A – C – E	90
8	D minor	D – F – A – F	90	24	A minor	A – C – E – C	90
9	E minor	E – G – B	60	25	B minor	B – D – F#	60
10	E minor	E – G – B – G	60	26	B minor	B – D – F# – D	60
11	E minor	E – G – B	90	27	B minor	B – D – F#	90
12	E minor	E – G – B – G	90	28	B minor	B – D – F# – D	90
13	F Mayor	F – A – C	60	29	D Mayor	D – F# – A	60
14	F Mayor	F – A – C – A	60	30	D Mayor	D – F# – A – F#	60
15	F Mayor	F – A – C	90	31	D Mayor	D – F# – A	90
16	F Mayor	F – A – C – A	90	32	D Mayor	D – F# – A – F#	90

Adapun skenario yang dilakukan dalam penelitian adalah sebagai berikut:

1. **Perbandingan sinyal *monophonic***, dilakukan untuk melihat hubungan antara sinyal tunggal penyusun sebuah *chord*.
2. **Perbandingan sinyal *polyphonic (chord)*** pada variasi tempo dan penyusun. Hal ini dilakukan untuk melihat karakter dari sinyal hasil *cross-correlation* jika diterapkan pada kondisi sinyal yang berbeda. Percobaan ini dilakukan dengan skenario berikut:
 - Perbandingan *chord* (3 nada penyusun) dengan *chord* (3 nada penyusun) dengan tempo yang sama.
 - Perbandingan *chord* (3 nada penyusun) dengan *chord* (3 nada penyusun) dengan tempo yang berbeda.
 - Perbandingan *chord* (4 nada penyusun) dengan *chord* (4 nada penyusun) dengan tempo yang sama.
 - Perbandingan *chord* (4 nada penyusun) dengan *chord* (4 nada penyusun) dengan tempo yang berbeda.
 - Perbandingan *chord* (3 nada penyusun) dengan *chord* (4 nada penyusun) dengan tempo sama.

Pada masing-masing skenario dilakukan 3 percobaan yaitu:

- **Proses *autocorrelation***, yaitu perbandingan sebuah *chord* terhadap dirinya sendiri.
- **Perbandingan *chord* yang memiliki komponen penyusun nada yang sama**, dalam hal ini jenis *chord* yang digunakan adalah jenis *chord* yang memiliki komponen penyusun nada yang sama. Misalkan *chord* C (C – E – G) dengan *chord* G (G – B – D). Dalam hal ini terdapat persamaan dalam hal nada penyusun antara *chord* C dan G yaitu pada nada penyusun G.

Perbandingan *chord* yang memiliki komponen penyusun nada yang berbeda, dalam hal ini jenis *chord* yang digunakan adalah jenis *chord* yang memiliki komponen penyusun nada yang tidak memiliki kesamaan. Misalkan *chord* C (C – E – G) dengan *chord* D (D – F# – A).

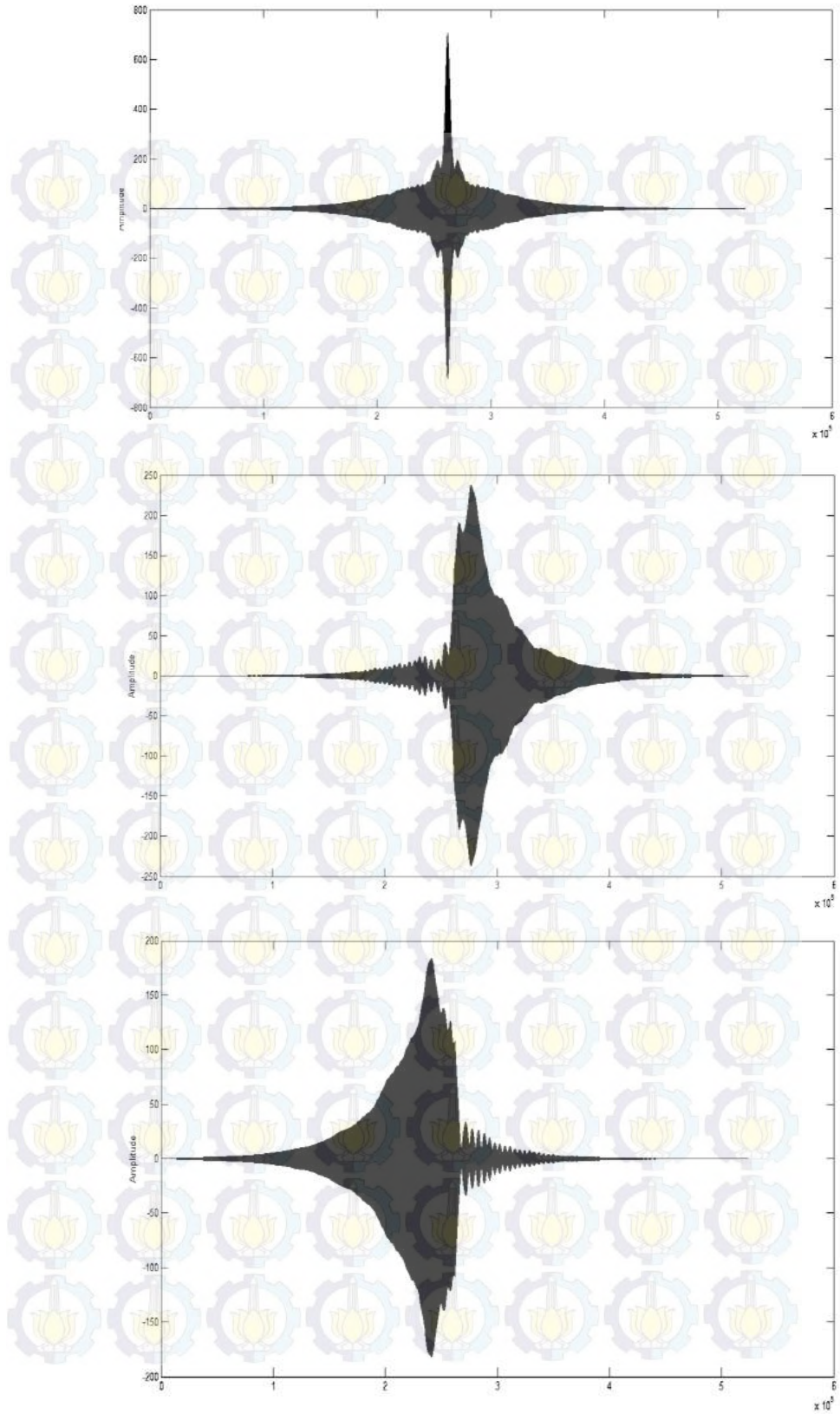
3. **Pengujian wilayah jangkauan dan akurasi dari karakteristik amplitudo hasil *cross-correlation*.** Skenario penelitian ini dilakukan untuk melihat karakteristik amplitudo dari sinyal hasil *cross-correlation*.

4.4. Hasil Penelitian

Penelitian diawali dengan melakukan pengolahan data hasil rekaman menggunakan metode transformasi fourier. Metode ini bertujuan untuk mengubah domain waktu menjadi domain frekuensi pada sinyal. Selanjutnya, kedua sinyal (sinyal uji dan sinyal referensi) akan digabungkan dan diolah dengan menggunakan metode *cross-correlation*. Penggabungan kedua sinyal tersebut (sinyal uji dan sinyal referensi) akan menghasilkan sinyal baru yang memiliki karakteristik frekuensi tersendiri. Adapun hasil dari penelitian adalah sebagai berikut

4.4.1. Perbandingan sinyal *monophonic*

Pada skenario penelitian ini dilakukan perbandingan sinyal tunggal dengan variasi frekuensi tertentu. Skenario ini bertujuan untuk melihat karakteristik sinyal *cross-correlation* pada frekuensi sinyal yang tidak tentu. Pada skenario ini, sinyal referensi merupakan nada yang memiliki frekuensi normal sedangkan sinyal uji ialah nada yang memiliki frekuensi terendah dan tertinggi dari wilayah cakupan nada tersebut. Sebagai contoh, sinyal referensi merupakan nada C4 dengan frekuensi normal yaitu 262 Hz sedangkan sinyal uji ialah nada C4 frekuensi bawah (259 Hz) dan frekuensi tinggi (265 Hz). Percobaan ini ditunjukkan oleh gambar 4.9. Berdasarkan gambar 4.9 tersebut dapat dilihat cakupan wilayah amplitudo dari sinyal yang dibandingkan. Gambar 4.9 menunjukkan perbandingan nilai amplitudo dari sinyal hasil *cross-correlation* dimana proses *autocorrelation* nada C4 pada frekuensi 262 Hz menunjukkan nilai amplitudo sebesar 705, sedangkan nilai lainnya ialah antara nada C4(262 Hz) dengan C4(259) menunjukkan nilai 237 serta nada C4(262 Hz) dengan C4(265 Hz) yang bernilai 183.



Gambar 4.9. Hasil *cross-correlation* pada nada C4 dengan wilayah frekuensi yang berbeda

Hasil *autocorrelation* pada masing-masing nada tunggal (*monophonic*) dapat dilihat pada tabel 4.4.

Tabel 4.4 *Autocorrelation* pada nada tunggal (*monophonic*)

No	Nama Nada	Nilai Amplitudo Maksimal
1	C	705
2	D	282
3	E	245
4	F	455
5	G	212
6	A	301
7	B	403

Secara keseluruhan perbandingan antara sinyal-sinyal *monophonic* dapat dilihat pada tabel 4.5 hingga 4.9. Pengujian dilakukan dengan membandingkan 7 jenis nada penguji (masing-masing nada memiliki data berjumlah 10 buah) terhadap 7 jenis nada referensi.

Tabel 4.5. Jumlah kecocokkan antara 10 buah data sinyal uji terhadap sinyal referensi pada nilai amplitudo maksimum ≥ 5

		Sinyal Referensi (<i>Monophonic</i>)						
		C	D	E	F	G	A	B
Sinyal Uji (<i>MonoPhonic</i>)	C	10	8	7	6	6	5	6
	D	8	10	6	7	7	5	6
	E	7	6	10	6	7	6	6
	F	6	7	6	10	6	7	6
	G	6	7	7	6	10	5	6
	A	5	5	6	7	5	10	7
	B	6	5	7	6	6	7	10

Tabel 4.6. Jumlah kecocokkan antara 10 buah data sinyal uji terhadap sinyal referensi pada nilai amplitudo maksimum ≥ 10

		Sinyal Referensi (<i>Monophonic</i>)						
		C	D	E	F	G	A	B
Sinyal Uji (<i>Monophonic</i>)	C	10	5	3	2	3	2	4
	D	4	10	4	5	4	3	3
	E	5	6	10	6	3	4	5
	F	4	4	6	10	6	4	5
	G	3	3	3	6	10	3	4
	A	4	5	6	5	5	10	4
	B	5	3	4	4	3	5	10

Tabel 4.7. Jumlah kecocokkan antara 10 buah data sinyal uji terhadap sinyal referensi pada nilai amplitudo maksimum ≥ 25

		Sinyal Referensi (<i>Monophonic</i>)						
		C	D	E	F	G	A	B
Sinyal Uji (<i>Monophonic</i>)	C	10	0	0	0	0	0	0
	D	0	10	0	0	0	0	0
	E	0	0	10	0	0	0	0
	F	0	0	0	10	0	0	0
	G	0	0	0	0	10	0	0
	A	0	0	0	0	0	10	0
	B	0	0	0	0	0	0	10

Tabel 4.8. Jumlah kecocokkan antara 10 buah data sinyal uji terhadap sinyal referensi pada nilai amplitudo maksimum ≥ 50

		Sinyal Referensi (<i>Monophonic</i>)						
		C	D	E	F	G	A	B
Sinyal Uji (<i>monophonic</i>)	C	10	0	0	0	0	0	0
	D	0	10	0	0	0	0	0
	E	0	0	10	0	0	0	0
	F	0	0	0	10	0	0	0
	G	0	0	0	0	10	0	0
	A	0	0	0	0	0	10	0
	B	0	0	0	0	0	0	10

Tabel 4.9. Jumlah kecocokkan antara 10 buah data sinyal uji terhadap sinyal referensi pada nilai amplitudo maksimum ≥ 70

		Sinyal Referensi (<i>Monophonic</i>)						
		C	D	E	F	G	A	B
Sinyal Uji (<i>Monophonic</i>)	C	10	0	0	0	0	0	0
	D	0	10	0	0	0	0	0
	E	0	0	10	0	0	0	0
	F	0	0	0	10	0	0	0
	G	0	0	0	0	10	0	0
	A	0	0	0	0	0	10	0
	B	0	0	0	0	0	0	10

Berdasarkan data pada tabel 4.5 hingga tabel 4.9., Nilai akurasi dari tingkat kecocokkan antar *chord* dengan menggunakan *cross-correlation* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 4.1.

$$\text{Akurasi} = \frac{\sum \text{TP} + \sum \text{TN}}{\sum \text{DATA}} \times 100 \quad (4.1)$$

Keterangan: **TP (True Positive)**, merupakan kondisi dimana sinyal yang dibandingkan sesuai (misalnya nada C terhadap C) **TN (True Negative)** kondisi dimana sinyal yang diharapkan tidak terjadi dan hasilnya sesuai dengan harapan. Berdasarkan persamaan 4.1., tingkat akurasi kecocokan antara sinyal uji dan sinyal referensi sinyal tunggal dengan menggunakan *cross-correlation* ialah:

- Untuk Amplitudo ≥ 5

$$\text{Akurasi} = \frac{70}{332} \times 100 = 21.1 \%$$
- Untuk Amplitudo ≥ 10

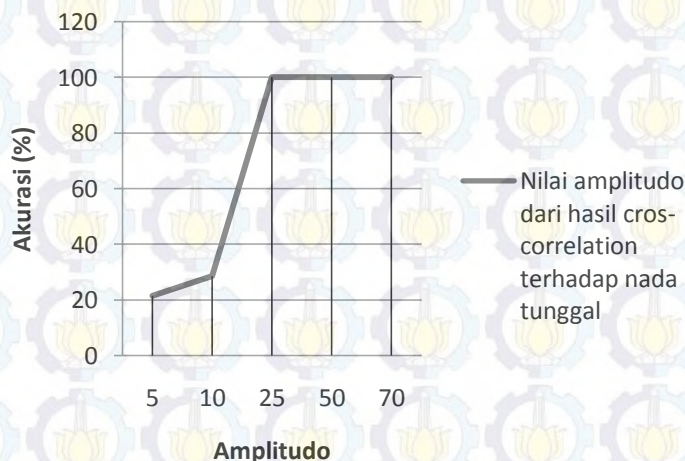
$$\text{Akurasi} = \frac{70}{245} \times 100 = 28.6\%$$
- Untuk Amplitudo ≥ 25

$$\text{Akurasi} = \frac{70}{70} \times 100 = 100 \%$$
- Untuk Amplitudo ≥ 50

$$\text{Akurasi} = \frac{70}{70} \times 100 = 100 \%$$
- Untuk Amplitudo ≥ 70

$$\text{Akurasi} = \frac{70}{70} \times 100 = 100 \%$$

Berdasarkan perhitungan tersebut maka grafik tingkat akurasi ditunjukkan pada gambar 4.10.



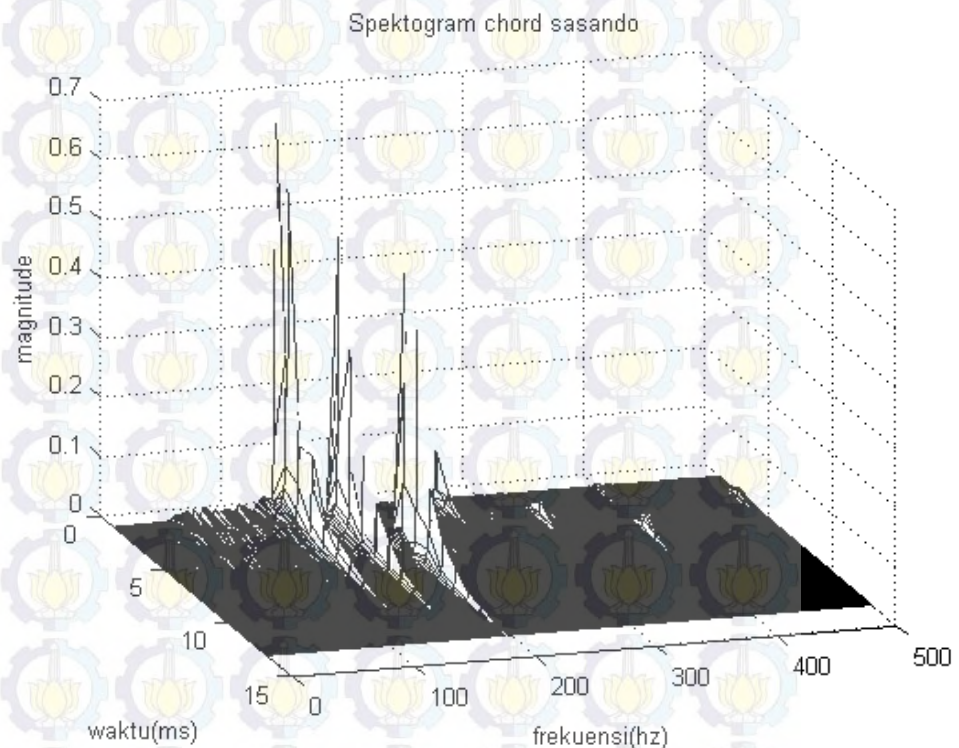
Gambar 4.10. Grafik akurasi *cross-correlation* pada nada tunggal

Berdasarkan grafik pada gambar 4.10., dapat dilihat bahwa tingkat akurasi dari perbandingan nada tunggal menggunakan *cross-correlation* mencapai tingkat akurasi 100% pada amplitudo ≥ 25 . Ini menunjukkan bahwa jika nilai amplitudo < 25 maka terdapat kemungkinan adanya kesalahan dalam mencocokkan sinyal yang dibandingkan (tidak akurat).

4.4.2. Perbandingan *chord* (3 nada penyusun) dengan *chord* (3 nada penyusun) pada tempo yang sama

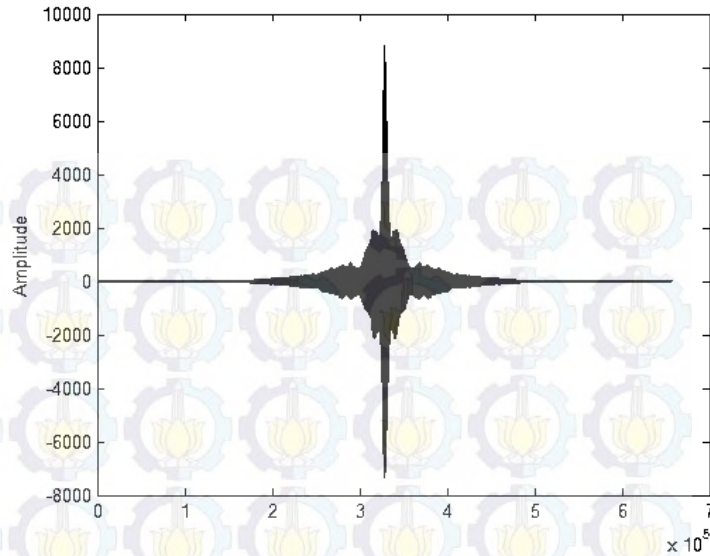
- **Proses Auto-Correlation**

Pada skenario ini dilakukan proses perbandingan antara *chord* yang sama. Sebagai contoh, digunakan *chord* C untuk menggambarkan proses ini.



Gambar 4.11. Spektogram *chord* C pada skenario 3 petikan tempo 60

Berdasarkan gambar 4.11. dapat dilihat bahwa spektogram menunjukkan 3 buah sinyal utama sebagai penyusun *chord* C yaitu **C(131 Hz)**, **E(165 Hz)** dan **G(196Hz)**. Keberadaan sinyal-sinyal kecil lainnya disebabkan oleh *noise* yang timbul selama proses pengambilan data dilakukan.

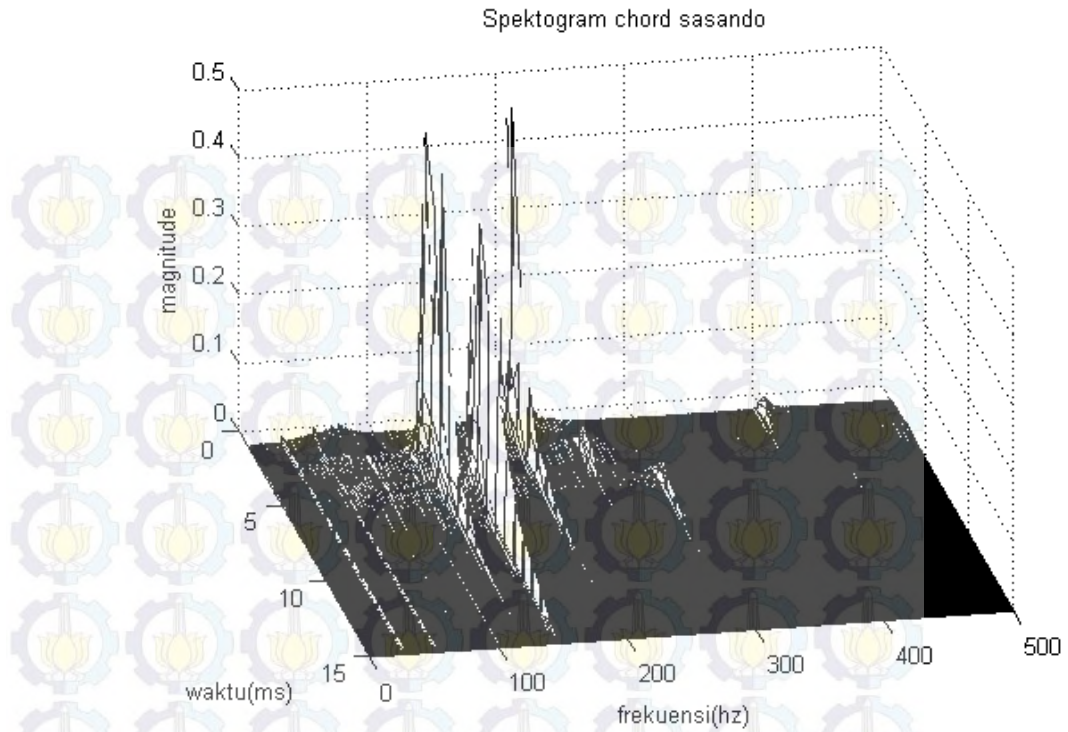


Gambar 4.12. *Auto-correlation chord C* pada skenario 3 petikan tempo 60

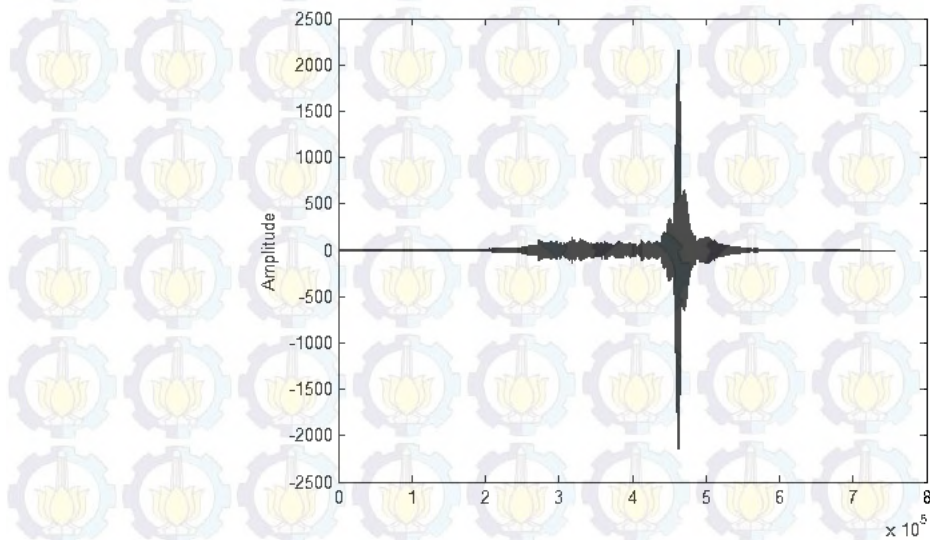
Gambar 4.12., menunjukkan hasil proses *auto-correlation* pada *chord C*. Amplitudo yang dihasilkan sebesar 1 dan bentuk belah ketupat merupakan salah satu ciri khas dari proses *auto-correlation*.

- **Perbandingan *chord* yang memiliki komponen penyusun nada yang sama**

Pada skenario ini dilakukan perbandingan antara *chord C* (C – E – G) dengan *chord G* (G – B – D) yang memiliki kesamaan dalam komponen penyusun *chord* yaitu pada nada G. Spektogram dari *chord G* dapat dilihat pada gambar 4.13. Pada gambar tersebut terlihat bahwa *chord G* tersusun atas 3 nada utama yaitu nada **G(196 Hz)**, **B(123 Hz)** dan **D(147 Hz)**. Keberadaan sinyal lainnya disebabkan oleh adanya *noise* selama proses pengambilan data dilakukan.



Gambar 4.13 Spektrogram *chord* G pada skenario 3 penyusun dengan tempo 60 Kedua *chord* tersebut (*chord* C dan G) kemudian dibandingkan dengan menggunakan *cross-correlation* dan menghasilkan sinyal pada gambar 4.14.



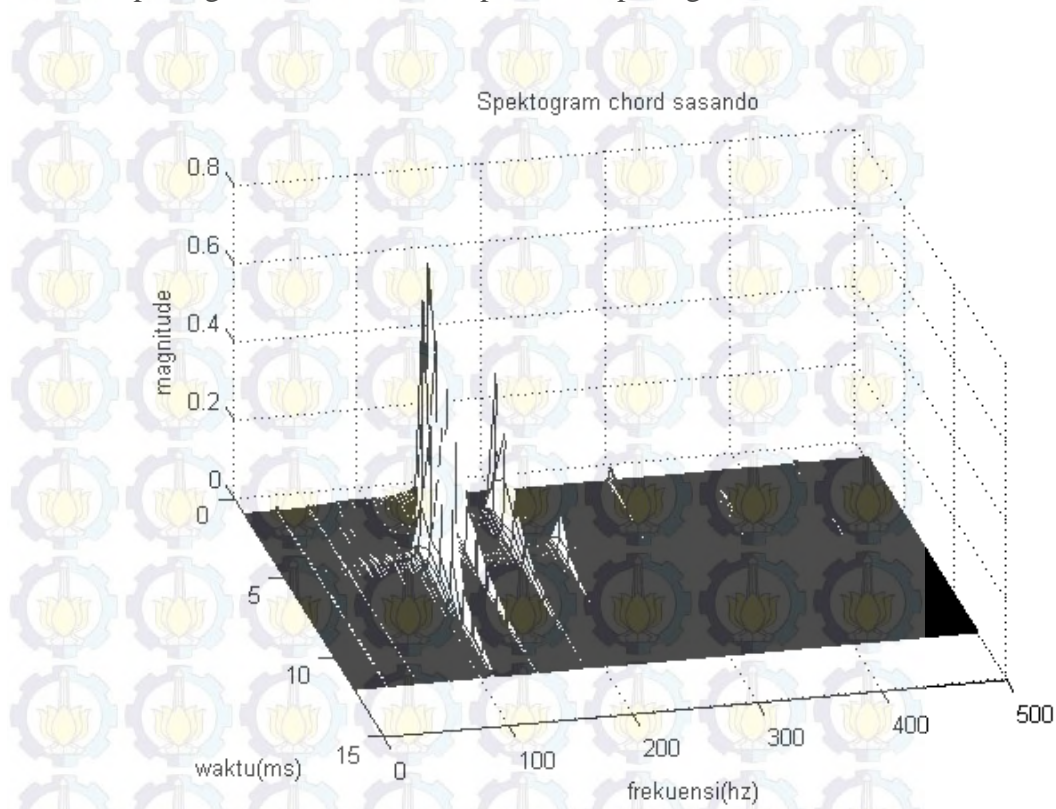
Gambar 4.14. *Cross-correlation* antara *chord* C dan G pada skenario 3 penyusun dengan tempo 60

Berdasarkan gambar 4.14., menunjukkan nilai dari amplitudo yang cukup besar yaitu mencapai angka 0.43. Nilai dari amplitudo menunjukkan bahwa kedua jenis *chord*

ternyata memiliki komponen nada penyusun yang sama. Selain itu, bentuk dari sinyal menyerupai setengah belah ketupat yang juga menunjukkan adanya komponen penyusun yang sama diantara kedua sinyal yang dibandingkan.

- **Perbandingan *chord* yang memiliki komponen penyusun nada yang berbeda**

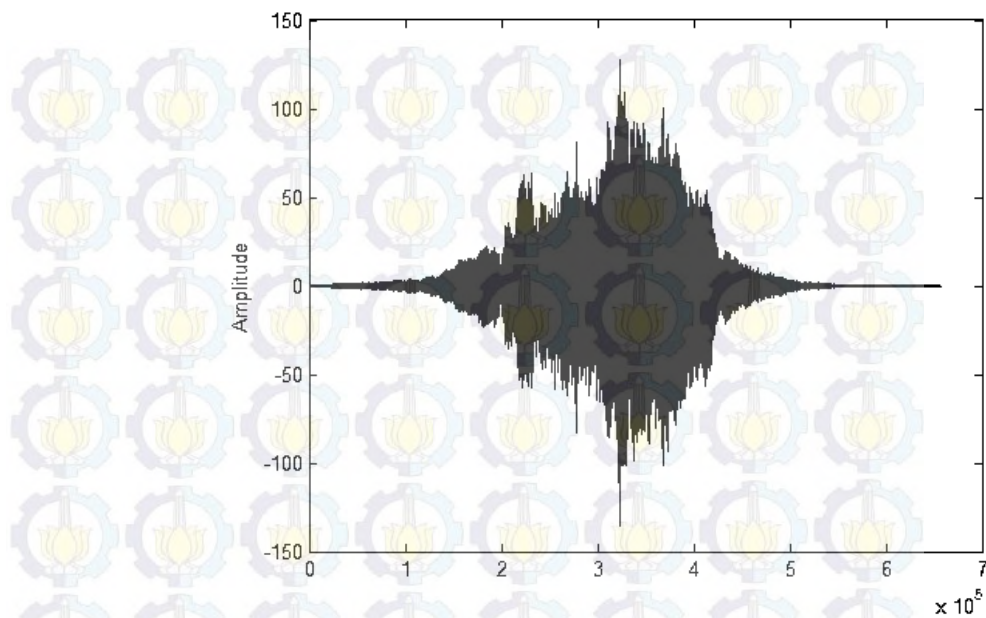
Pada skenario ini digunakan perbandingan antara *chord* C (C – E – G) dengan *chord* D (D – F# - A). Kedua jenis *chord* tersebut tidak memiliki komponen penyusun nada yang sama. Spektogram dari *chord* D dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 4.15. Spektogram *chord* D pada skenario 3 penyusun pada temp 60

Berdasarkan gambar 4.15., dapat dilihat bahwa terdapat 3 nada utama yang menyusun *chord* D yaitu nada **D(147 Hz)**, **F#(185 Hz)** dan **A(110 Hz)**. Keberadaan sinyal lainnya disebabkan oleh *noise* yang muncul selama proses pengambilan data.

Kedua jenis *chord* tersebut kemudian dibandingkan dengan menggunakan *cross-correlation*. Hal ini ditunjukkan pada 4.16.



Gambar 4.16. *Cross-correlation* antara *chord* C dan D pada skenario 3 penyusun pada tempo 60

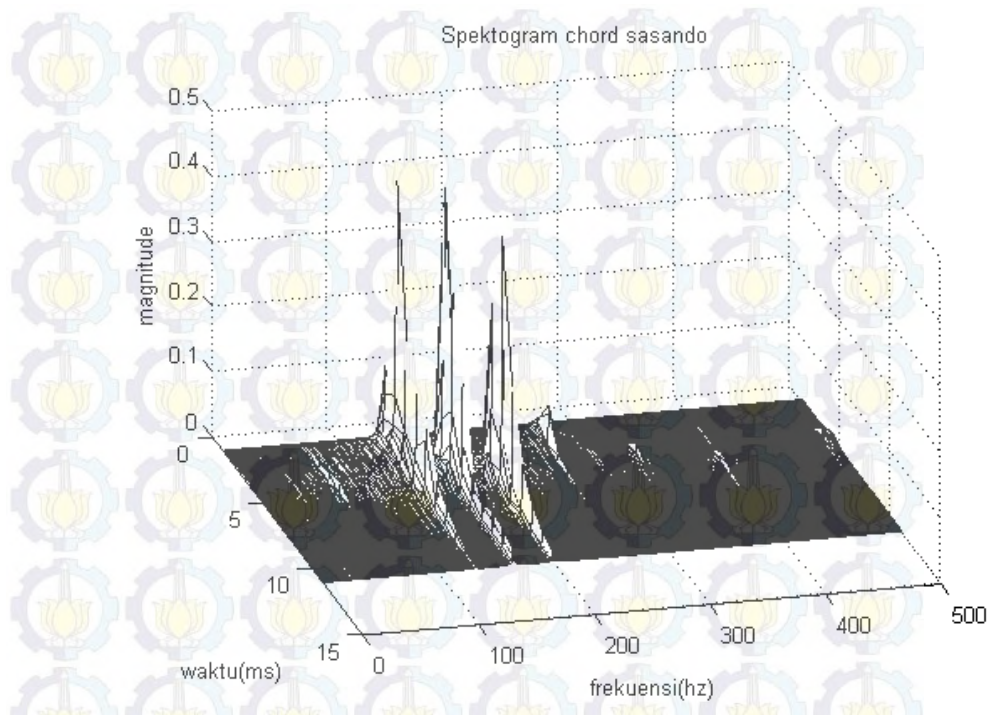
Berdasarkan gambar 4.16., dapat dilihat bahwa sinyal yang dihasilkan hanya memiliki amplitudo maksimal sebesar 0.013. Nilai tersebut sangat kecil bila dibandingkan dengan nilai amplitudo maksimal pada dua skenario sebelumnya. Selain itu, sinyal yang dihasilkan juga tidak memiliki bentuk yang teratur. Kedua faktor tersebut menunjukkan bahwa tidak adanya kesamaan komponen penyusun diantara kedua sinyal yang dibandingkan.

4.4.3. Perbandingan *chord* (3 nada penyusun) dengan *chord* (3 nada penyusun) pada tempo yang berbeda

- **Proses *Auto-Correlation***

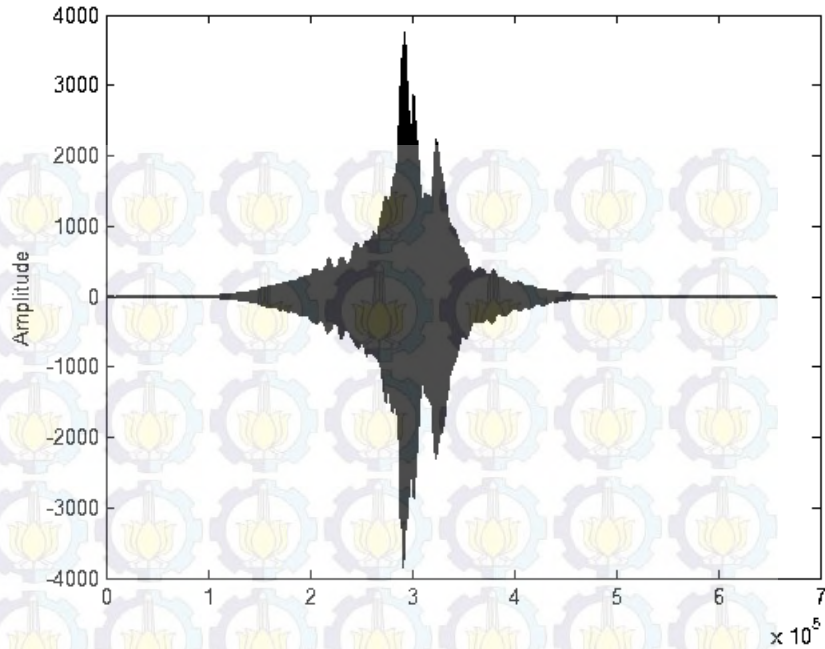
Skenario ini membandingkan 2 jenis *chord* yang sama namun memiliki tempo yang berbeda. Pada skenario ini digunakan *chord* C pada tempo 60 dan 90 sebagai

acuan. Spektrogram dari sinyal *chord C* pada tempo 90 dapat dilihat pada gambar 4.17.



Gambar 4.17. Spektrogram *chord C* pada skenario 3 penyusun pada tempo 90.

Berdasarkan gambar 4.17., dapat dilihat bahwa *chord C* memiliki 3 nada penyusun utama yaitu **C(131 Hz)**, **E(165 Hz)** dan **G(196 Hz)**. Namun bila dibandingkan dengan gambar 4.1 dapat dilihat bahwa jarak masing-masing puncak sinyal dalam domain waktu ternyata lebih dekat. Hal ini dikarenakan adanya perbedaan tempo dari proses perekaman. Tempo yang rendah mengakibatkan jarak antar puncak sinyal semakin jauh begitupun sebaliknya, jika tempo semakin cepat maka akan memperpendek jarak antara puncak sinyal. Keberadaan sinyal lainnya disebabkan oleh *noise* yang timbul selama proses pengambilan data. Kedua sinyal tersebut kemudian dibandingkan dengan *cross-correlation*. Hasil sinyal hasil perbandingan dapat dilihat pada gambar 4.18.

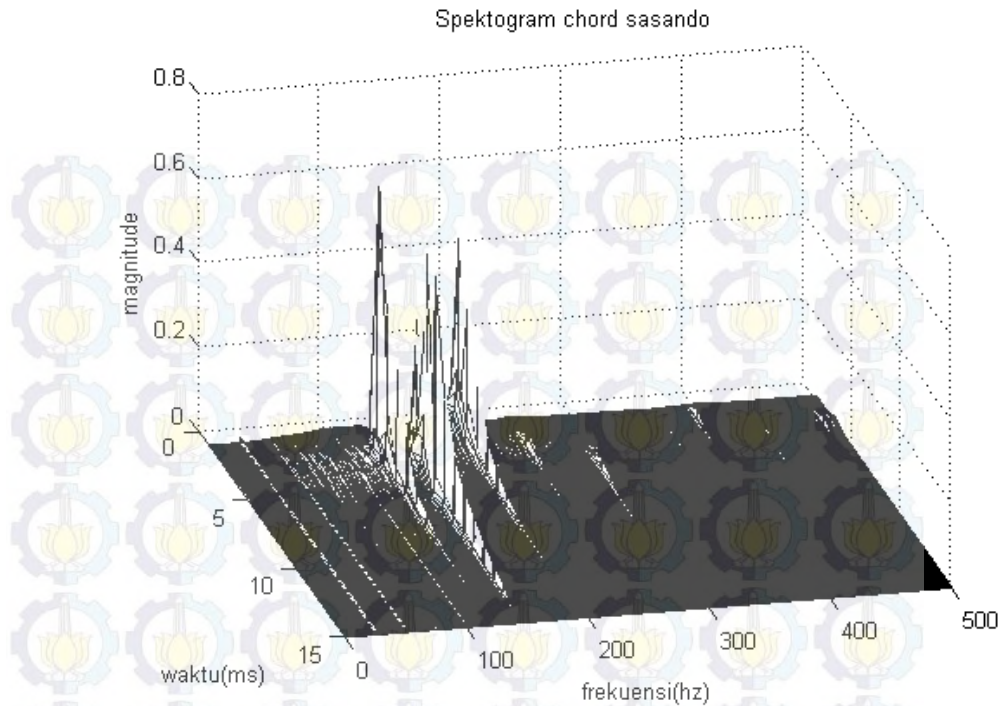


Gambar 4.18. *Cross-correlation* antara *chord* C pada skenario 3 penyusun pada tempo 60 dan 90

Berdasarkan gambar 4.18., dapat dilihat bahwa nilai amplitudo maksimum dari sinyal tersebut mencapai angka 0.4. Selain itu, bentuk dari sinyal tersebut memiliki komponen yang hampir menyerupai belah ketupat. Berdasarkan kedua faktor tersebut dapat disimpulkan bahwa terdapat kesamaan komponen penyusun sinyal namun adanya perbedaan tempo membuat selisih antar komponen penyusun sinyal sehingga tidak dapat membentuk belah ketupat secara sempurna.

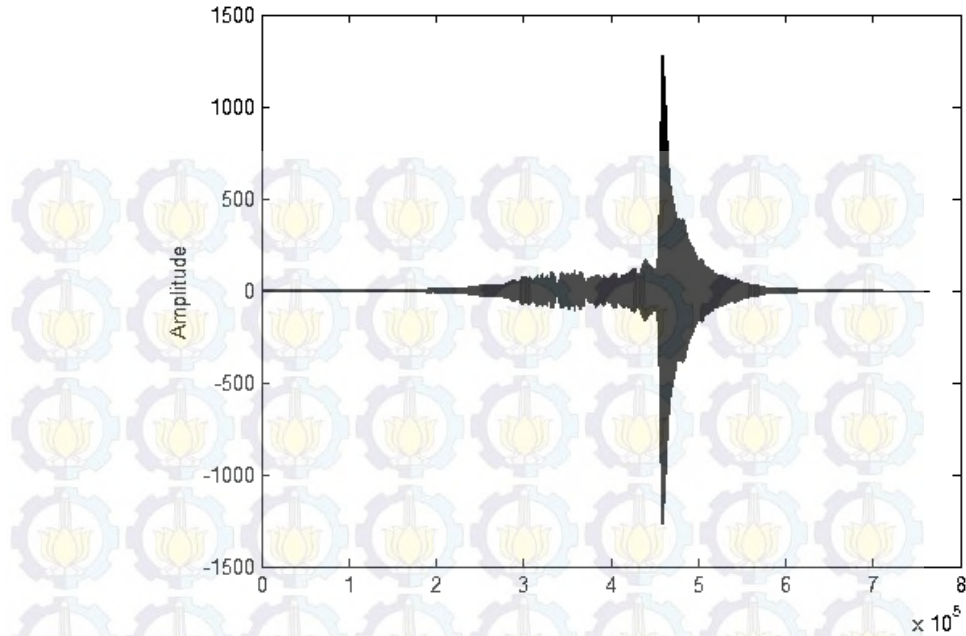
- **Perbandingan *chord* yang memiliki komponen penyusun nada yang sama**

Pada skenario ini dilakukan perbandingan antara *chord* C (C – E – G) pada tempo 60 dengan *chord* G (G – B – D) pada tempo 90 yang memiliki kesamaan dalam komponen penyusun *chord* yaitu pada nada G. Spektogram dari *chord* G pada tempo 90 dapat dilihat pada gambar 4.18.



Gambar 4.19. Spektrogram *chord G* pada skenario 3 penyusun pada tempo 90

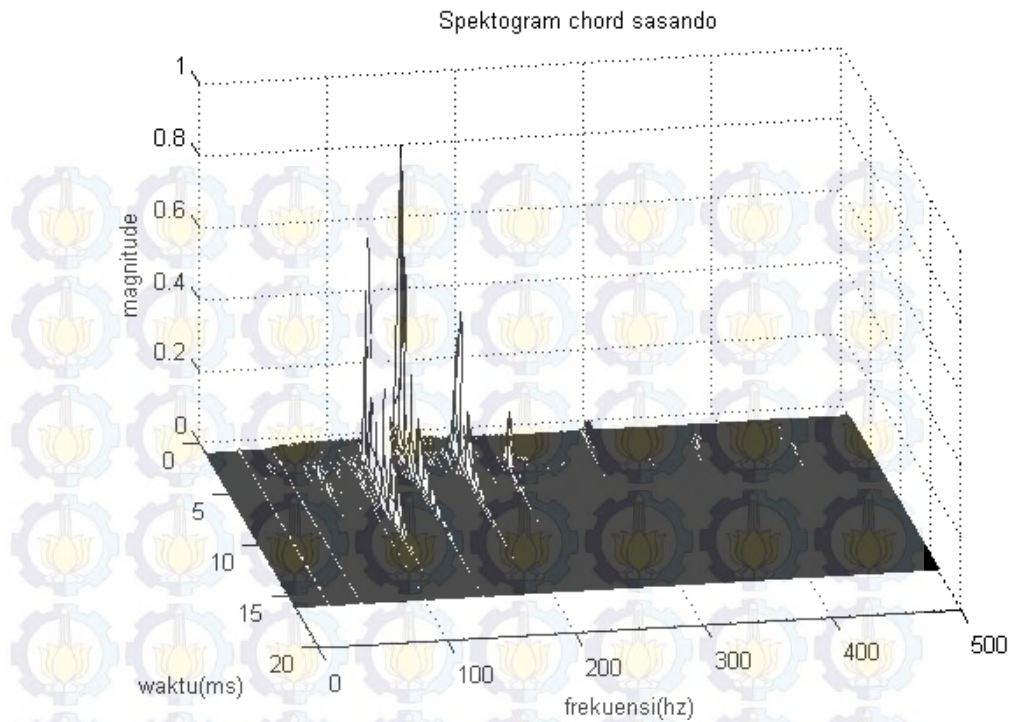
Pada gambar 4.19., dapat dilihat bahwa *chord G* memiliki 3 nada penyusun utama yaitu **G(196 Hz)**, **B(123 Hz)** dan **D(147 Hz)**. Namun bila dibandingkan dengan gambar 4.13., dapat dilihat bahwa jarak masing-masing puncak sinyal dalam domain waktu ternyata lebih dekat. Hal ini dikarenakan adanya perbedaan tempo dari proses perekaman. Tempo yang rendah mengakibatkan jarak antar puncak sinyal semakin jauh begitupun sebaliknya, jika tempo semakin cepat maka akan memperpendek jarak antara puncak sinyal. Keberadaan sinyal lainnya disebabkan oleh *noise* yang timbul selama proses pengambilan data. Kedua sinyal tersebut kemudian dibandingkan dengan *cross-correlation*. Hasil sinyal hasil perbandingan dapat dilihat pada gambar 4.20.



Gambar 4.20. *Cross-correlation* antara *chord* C (tempo 60) dan G (tempo 90) pada skenario 3 penyusun

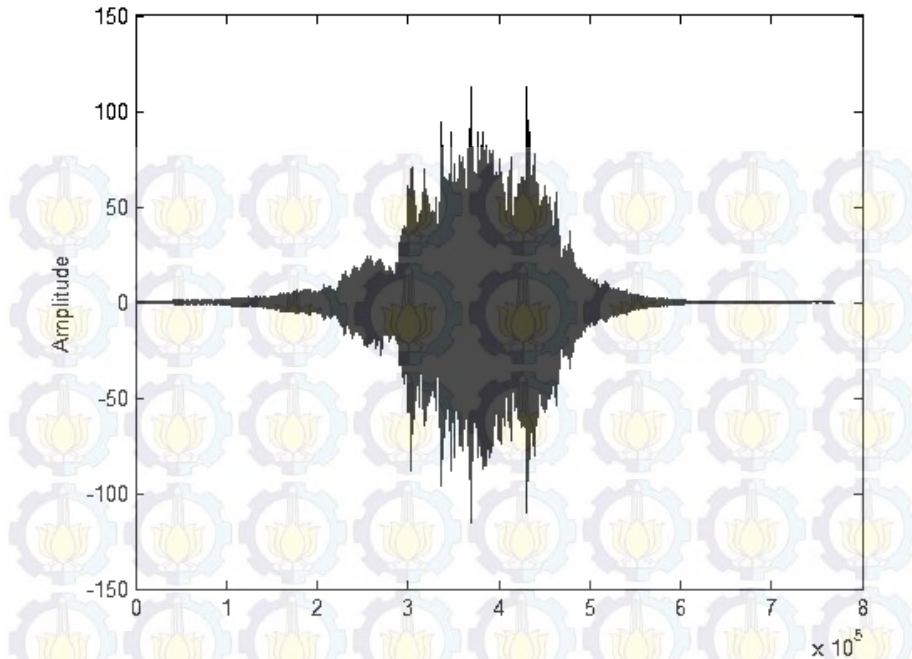
Berdasarkan gambar 4.20., dapat dilihat bahwa nilai amplitudo maksimum dari sinyal tersebut mencapai angka 0.2. Selain itu, bentuk dari sinyal tersebut memiliki komponen yang hampir menyerupai belah ketupat. Berdasarkan kedua faktor tersebut dapat disimpulkan bahwa terdapat kesamaan komponen penyusun sinyal namun adanya perbedaan tempo membuat selisih antar komponen penyusun sinyal sehingga tidak dapat membentuk belah ketupat secara sempurna

- Perbandingan *chord* yang memiliki komponen penyusun nada yang berbeda**
 Pada skenario ini digunakan perbandingan antara *chord* C (C – E – G) pada tempo 60 dengan *chord* D (D – F# - A) pada tempo 90. Kedua jenis *chord* tersebut tidak memiliki komponen penyusun nada yang sama. Spektogram dari *chord* D pada tempo 90 dapat dilihat pada gambar 4.21.



Gambar 4.21. Spektogram *chord* D pada skenario 3 penyusun pada tempo 90

gambar 4.21., dapat dilihat bahwa *chord* D memiliki 3 nada penyusun utama yaitu **D(147 Hz)**, **F#(185 Hz)** dan **A(110 Hz)**. Namun bila dibandingkan dengan gambar 4.3., dapat dilihat bahwa jarak masing-masing puncak sinyal dalam domain waktu ternyata lebih dekat. Hal ini dikarenakan adanya perbedaan tempo dari proses perekaman. Tempo yang rendah mengakibatkan jarak antar puncak sinyal semakin jauh begitupun sebaliknya, jika tempo semakin cepat maka akan memperpendek jarak antara puncak sinyal. Keberadaan sinyal lainnya disebabkan oleh *noise* yang timbul selama proses pengambilan data. Kedua sinyal tersebut kemudian dibandingkan dengan *cross-correlation*. Hasil sinyal hasil perbandingan dapat dilihat pada gambar 4.22.



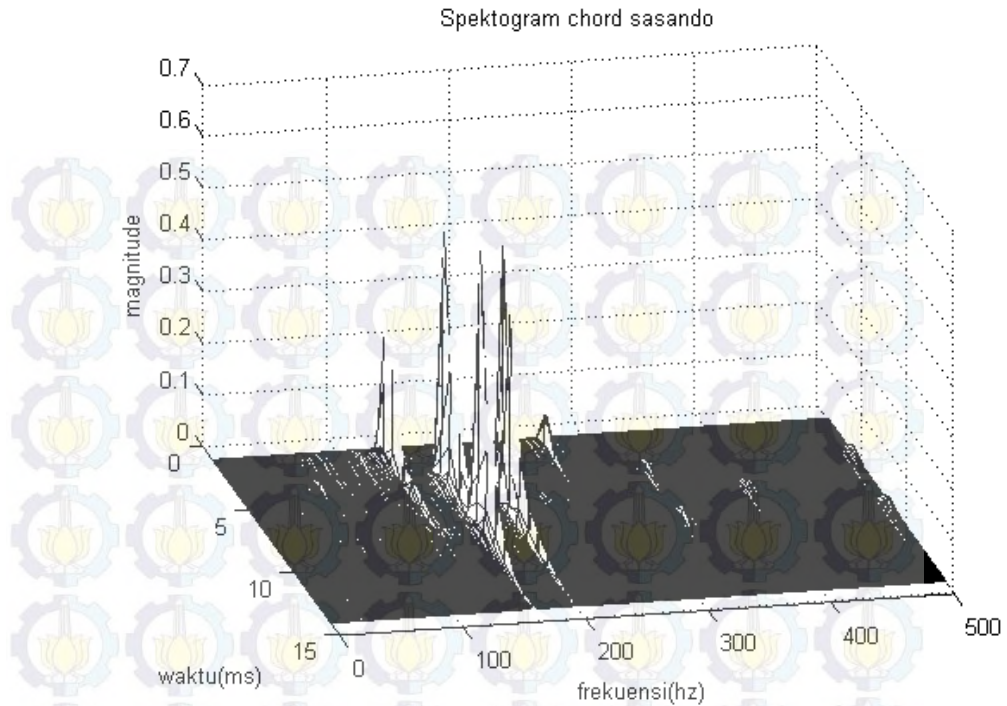
Gambar 4.22. *Cross-correlation* antara *chord C* (tempo 60) dan *D* (tempo 90) pada skenario 3 penyusun

Berdasarkan gambar 4.22., dapat dilihat bahwa sinyal yang dihasilkan hanya memiliki amplitudo maksimal sebesar 0.015. Nilai tersebut sangat kecil bila dibandingkan dengan nilai amplitudo maksimal pada dua skenario sebelumnya. Selain itu, sinyal yang dihasilkan juga tidak memiliki bentuk yang teratur. Kedua faktor tersebut menunjukkan bahwa tidak adanya kesamaan komponen penyusun diantara kedua sinyal yang dibandingkan.

4.4.4. Perbandingan *chord* (4 nada penyusun) dengan *chord* (4 nada penyusun) dengan tempo yang sama

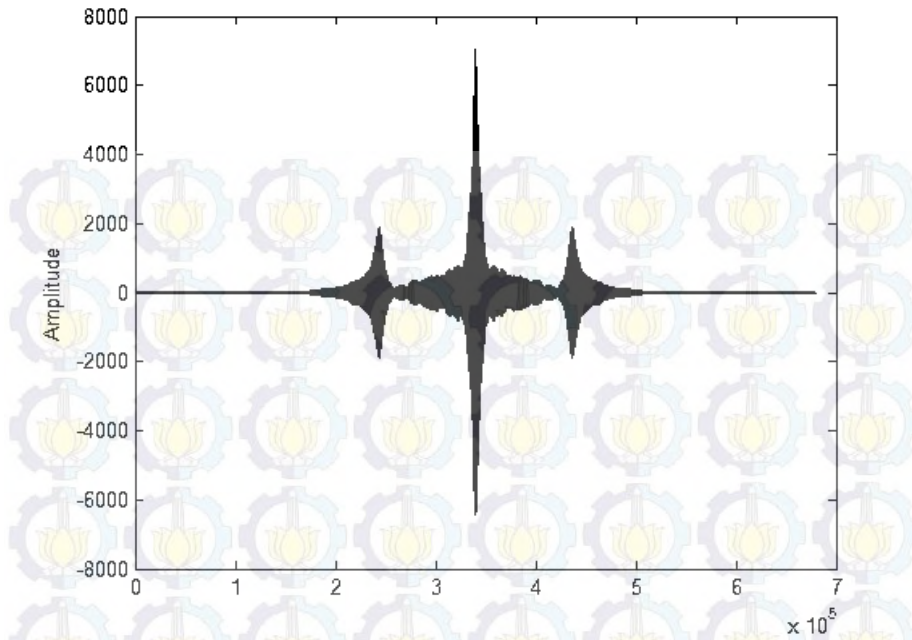
- **Proses *Auto-Correlation***

Skenario ini membandingkan *chord C* (4 nada penyusun) terhadap dirinya sendiri pada tempo 60. Spektogram dari *chord C* (4 nada penyusun) pada tempo 60 dapat dilihat pada gambar 4.23.



Gambar 4.23. Spektrogram *chord C* pada skenario 4 penyusun pada tempo 60

Berdasarkan gambar 4.23., dapat dilihat bahwa spektrogram menunjukkan 3 buah sinyal utama sebagai penyusun *chord C* yaitu **C(131 Hz)**, **E(165 Hz)** dan **G(196Hz)**. Spektrogram juga menunjukkan munculnya nada **E** sebanyak dua kali. Hal ini sesuai dengan proses pengambilan data yang mengulang nada **mi(E)** sebanyak dua kali. Keberadaan sinyal-sinyal kecil lainnya disebabkan oleh *noise* yang timbul selama proses pengambilan data dilakukan. Sinyal ini kemudian akan dibandingkan dengan dirinya sendiri dan menghasilkan sinyal baru hasil *cross-correlation* seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.24.

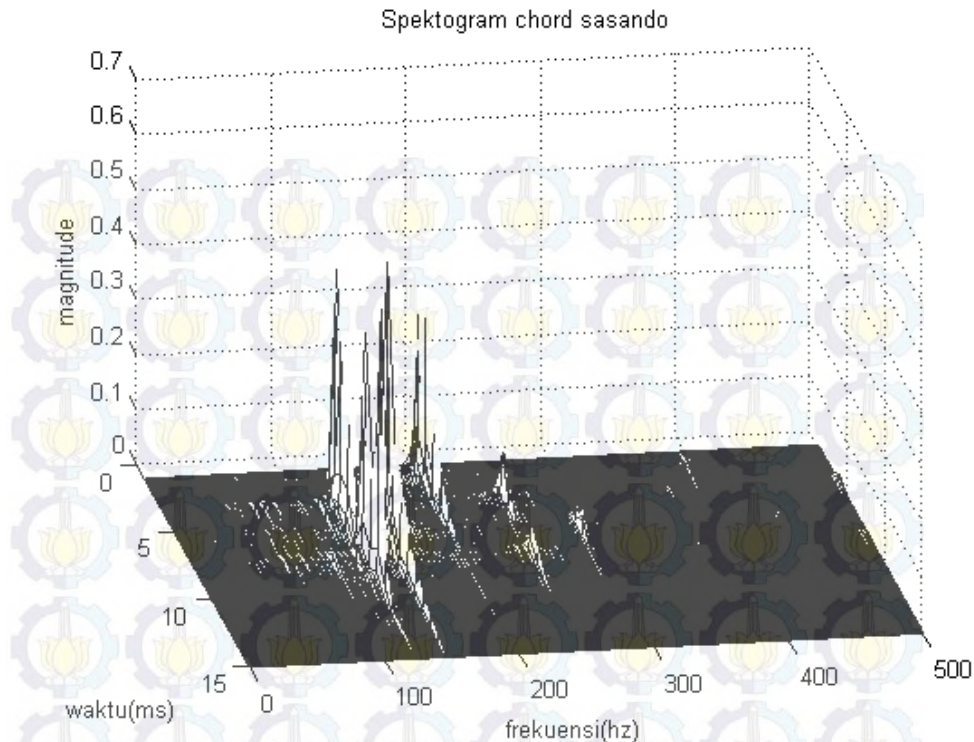


Gambar 4.24. *Auto-correlation chord C* pada skenario 4 penyusun pada tempo 60

Gambar 4.24., menunjukkan hasil proses *auto-correlation* pada *chord C*. Amplitudo yang dihasilkan sebesar 1 dan bentuk belah ketupat merupakan salah satu ciri khas dari proses *auto-correlation*.

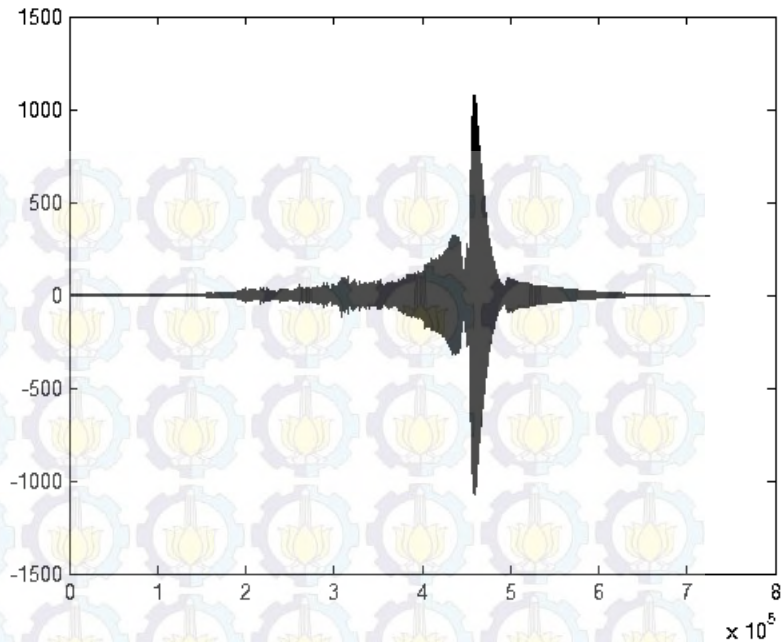
- **Perbandingan *chord* yang memiliki komponen penyusun nada yang sama**

Pada skenario ini dilakukan perbandingan antara *chord C* (C – E – G) dengan *chord G* (G – B – D) yang memiliki kesamaan dalam komponen penyusun *chord* yaitu pada nada G. Spektogram dari *chord G* dapat dilihat pada gambar 4.25. Pada skenario ini, masing-masing jenis *chord* terdiri dari 4 nada. Nada yang dibunyikan merupakan nada do – mi – sol – mi. Hal ini menunjukkan bahwa nada mi akan muncul sebanyak dua kali data yang digunakan.



Gambar 4.25. Spektogram *chord* G pada skenario 4 penyusun pada tempo 60

Berdasarkan gambar 4.25, terlihat bahwa *chord* G tersusun atas 3 nada utama yaitu nada **G(196 Hz)**, **B(123 Hz)** dan **D(147 Hz)**. Spektogram juga menunjukkan bahwa nada **mi(B)** dibunyikan sebanyak dua kali. Hal ini sesuai dengan proses pengambilan data dimana proses perekaman dilakukan dengan membunyikan nada mi sebanyak dua kali. Keberadaan sinyal lainnya disebabkan oleh adanya *noise* selama proses pengambilan data dilakukan. Kedua sinyal tersebut (*chord* C dan G) kemudian akan dibandingkan dengan metode *cross-correlation* dan menghasilkan sinyal baru seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.26.

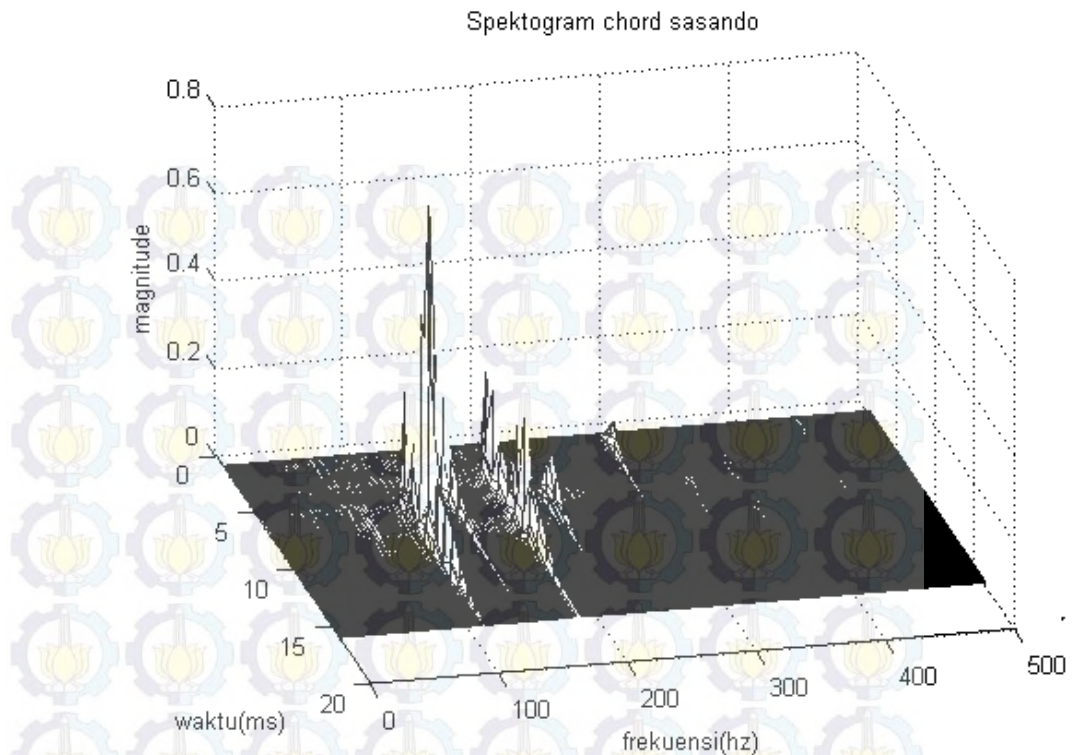


Gambar 4.26. *Cross-correlation* antara *chord C* dan *G* pada skenario 4 penyusun pada tempo 60

Gambar 4.26., menunjukkan nilai dari amplitudo yang cukup besar yaitu mencapai angka 0.15. Nilai dari amplitudo menunjukkan bahwa kedua jenis *chord* ternyata memiliki komponen nada penyusun yang sama. Selain itu, bentuk dari sinyal menyerupai setengah belah ketupat yang juga menunjukkan adanya komponen penyusun yang sama diantara kedua sinyal yang dibandingkan.

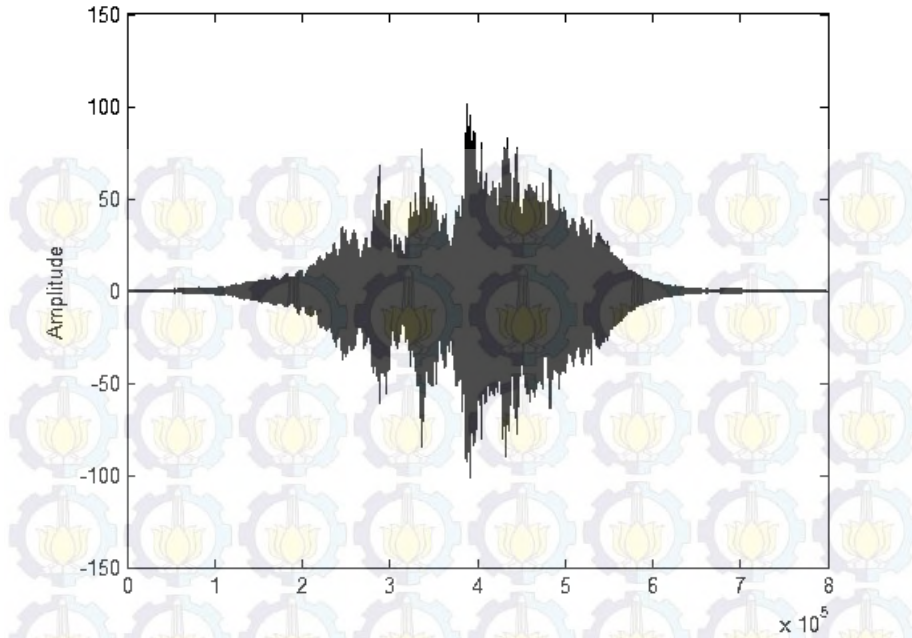
- **Perbandingan *chord* yang memiliki komponen penyusun nada yang berbeda**

Pada skenario ini digunakan perbandingan antara *chord C* (C – E – G) dengan *chord D* (D – F# - A). Pada skenario ini, Kedua jenis *chord* tersebut tidak memiliki komponen penyusun nada yang sama. Pada skenario ini, masing-masing jenis *chord* terdiri dari 4 nada. Nada yang dibunyikan merupakan nada do – mi – sol – mi. Hal ini menunjukkan bahwa nada mi akan muncul sebanyak dua kali data yang digunakan. Spektogram dari *chord D* dapat dilihat pada gambar 4.27.



Gambar 4.27. Spektogram *chord* D pada skenario 4 penyusun pada tempo 60

Berdasarkan gambar 4.27, terlihat bahwa *chord* D tersusun atas 3 nada utama yaitu nada **D(147 Hz)**, **F#(185 Hz)** dan **A(110 Hz)**. Spektogram juga menunjukkan bahwa nada **mi(F#)** dibunyikan sebanyak dua kali. Hal ini sesuai dengan proses pengambilan data dimana proses perekaman dilakukan dengan membunyikan nada mi sebanyak dua kali. Keberadaan sinyal lainnya disebabkan oleh adanya *noise* selama proses pengambilan data dilakukan. Kedua sinyal tersebut (*chord* C dan G) kemudian akan dibandingkan dengan metode *cross-correlation* dan menghasilkan sinyal baru seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.28.



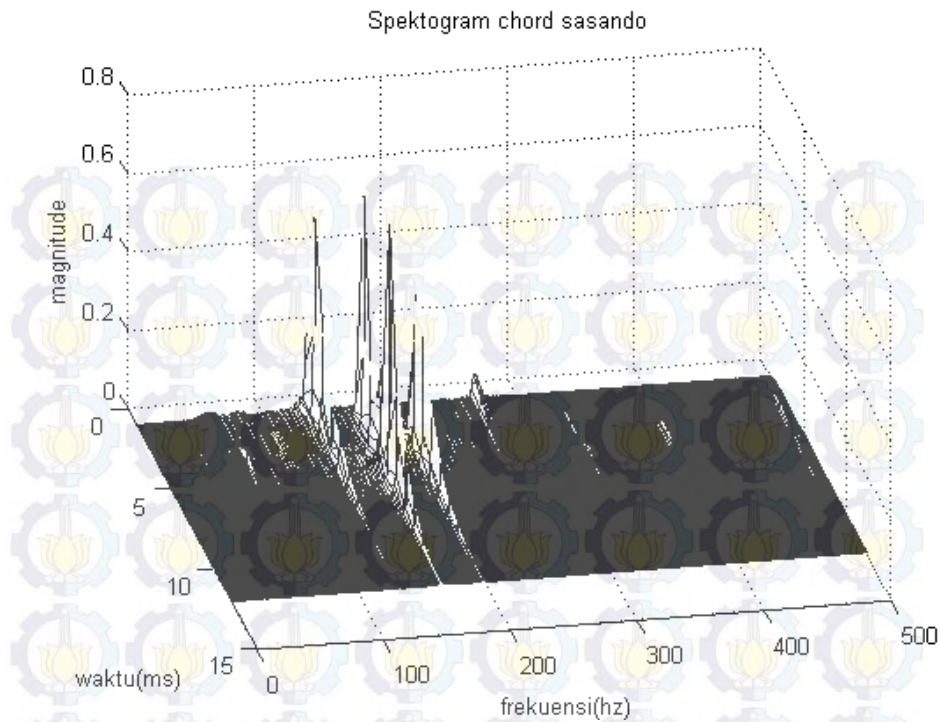
Gambar 4.28. *Cross-correlation* antara *chord* C dan D pada skenario 4 penyusun pada tempo 60

Berdasarkan gambar 4.28., dapat dilihat bahwa sinyal yang dihasilkan hanya memiliki amplitudo maksimal sebesar 0.014. Nilai tersebut sangat kecil bila dibandingkan dengan nilai amplitudo maksimal pada dua skenario sebelumnya. Selain itu, sinyal yang dihasilkan juga tidak memiliki bentuk yang teratur. Kedua faktor tersebut menunjukkan bahwa tidak adanya kesamaan komponen penyusun diantara kedua sinyal yang dibandingkan.

4.4.5. Perbandingan *chord* (4 nada penyusun) dengan *chord* (4 nada penyusun) dengan tempo yang berbeda

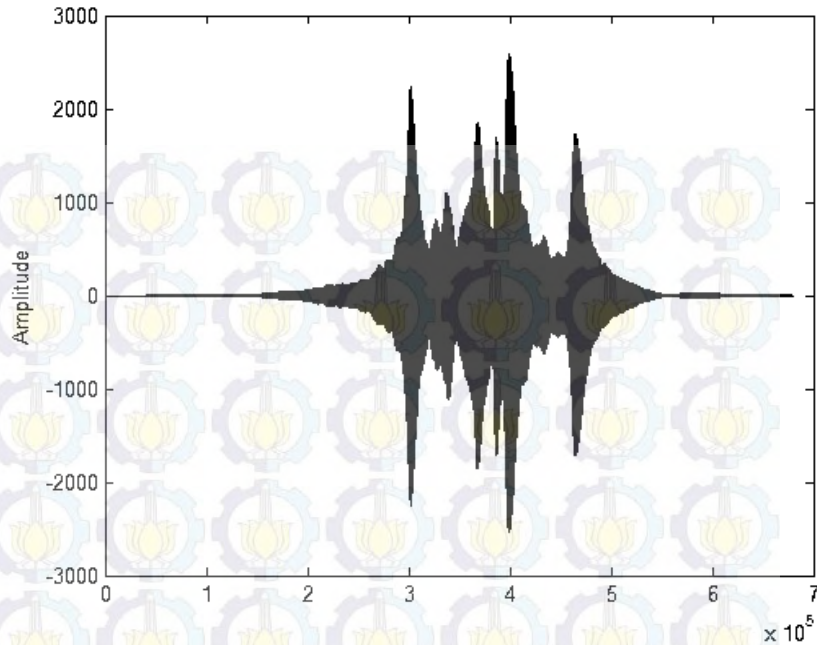
- **Proses *Auto-Correlation***

Skenario ini membandingkan 2 jenis *chord* yang sama namun memiliki tempo yang berbeda. Pada skenario ini digunakan *chord* C pada tempo 60 dan 90 sebagai acuan. Spektrogram dari sinyal *chord* C pada tempo 90 dapat dilihat pada gambar 4.29.



Gambar 4.29. Spektogram *chord C* pada skenario 4 penyusun pada tempo 90

Berdasarkan gambar 4.29., dapat dilihat bahwa spektogram menunjukkan 3 buah sinyal utama sebagai penyusun *chord C* yaitu **C(131 Hz)**, **E(165 Hz)** dan **G(196Hz)**. Spektogram juga menunjukkan munculnya nada **E** sebanyak dua kali. Hal ini sesuai dengan proses pengambilan data yang mengulang nada **mi(E)** sebanyak dua kali. Namun jika dibandingkan dengan spektogram *chord C* pada tempo 60 (gambar) dapat dilihat bahwa jarak antar sinyal pada tempo 90 ternyata lebih pendek. Hal ini disebabkan karena adanya tempo yang semakin cepat . Keberadaan sinyal-sinyal kecil lainnya disebabkan oleh *noise* yang timbul selama proses pengambilan data dilakukan. Sinyal ini kemudian akan dibandingkan dengan dirinya sendiri dan menghasilkan sinyal baru hasil *cross-correlation* seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.30.

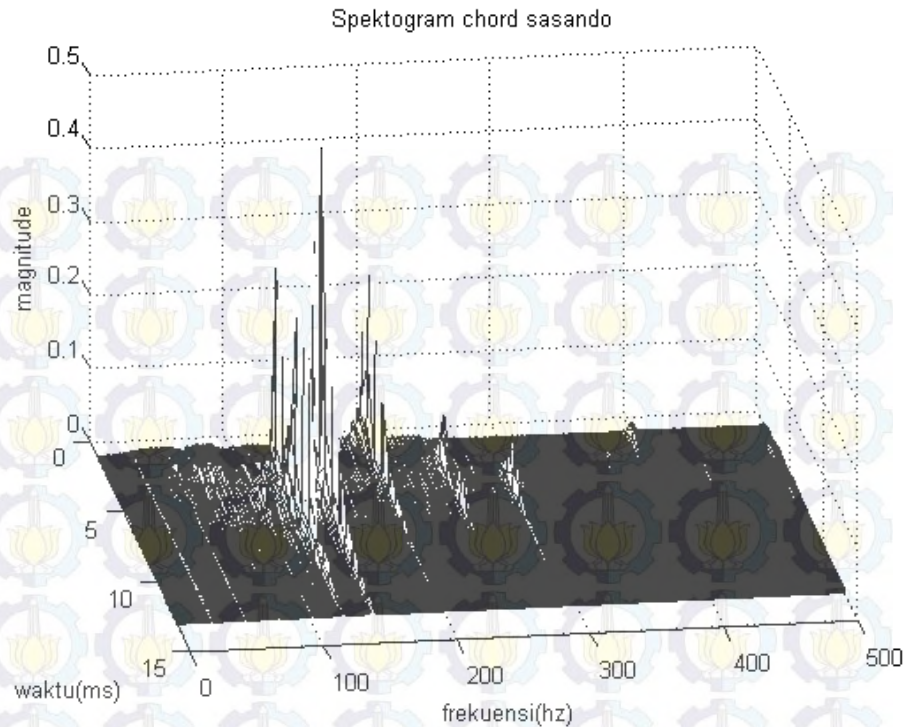


Gambar 4.30. *Cross-correlation chord C* pada tempo 60 dan 90 pada skenario 4 penyusun

Berdasarkan gambar 4.30., dapat dilihat bahwa nilai amplitudo maksimum dari sinyal tersebut mencapai angka 0.31. Selain itu, bentuk dari sinyal tersebut memiliki komponen yang hampir menyerupai belah ketupat. Berdasarkan kedua faktor tersebut dapat disimpulkan bahwa terdapat kesamaan komponen penyusun sinyal namun adanya perbedaan tempo membuat selisih antar komponen penyusun sinyal sehingga tidak dapat membentuk belah ketupat secara sempurna.

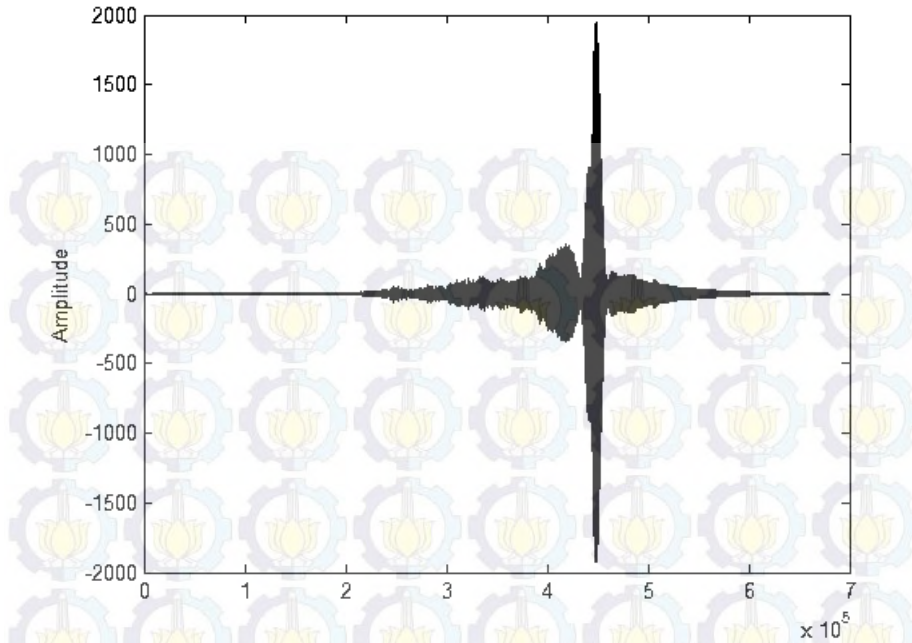
- **Perbandingan *chord* yang memiliki komponen penyusun nada yang sama**

Pada skenario ini dilakukan perbandingan antara *chord C* (C – E – G) pada tempo 60 dengan *chord G* (G – B – D) pada tempo 90 yang memiliki kesamaan dalam komponen penyusun *chord* yaitu pada nada G. Spektogram dari *chord G* pada tempo 90 dapat dilihat pada gambar 4.31.



Gambar 4.31. Spektogram *chord* G pada skenario 4 penyusun pada tempo 90

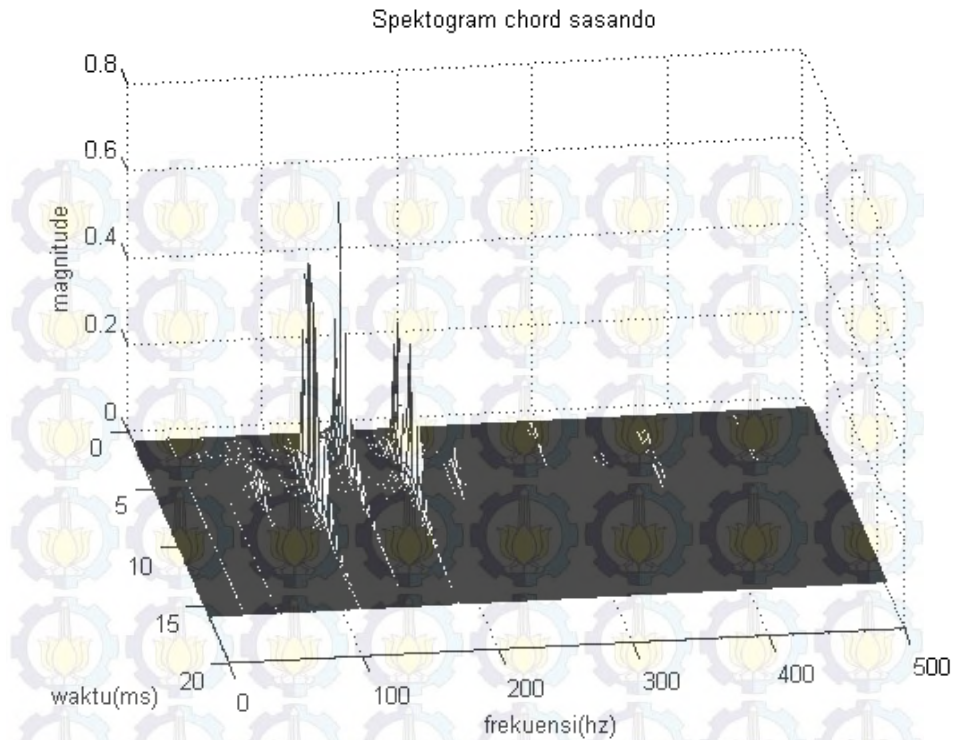
Berdasarkan gambar 4.31., dapat dilihat bahwa spektogram menunjukkan 3 buah sinyal utama sebagai penyusun *chord* G yaitu **G(196 Hz)**, **B(123 Hz)** dan **D(147 Hz)**. Spektogram juga menunjukkan munculnya nada **B** sebanyak dua kali. Hal ini sesuai dengan proses pengambilan data yang mengulang nada **mi(E)** sebanyak dua kali. Namun jika dibandingkan dengan spektogram *chord* C pada tempo 60 (gambar 4.16) dapat dilihat bahwa jarak antar sinyal pada tempo 90 ternyata lebih pendek. Hal ini disebabkan karena adanya tempo yang semakin cepat . Keberadaan sinyal-sinyal kecil lainnya disebabkan oleh *noise* yang timbul selama proses pengambilan data dilakukan. Sinyal ini kemudian akan dibandingkan dengan dirinya sendiri dan menghasilkan sinyal baru hasil *cross-correlation* seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.32.



Gambar 4.32. *Cross-correlation* antara *chord C*(tempo 60) dan *chord G*(tempo 90) pada skenario 4 penyusun

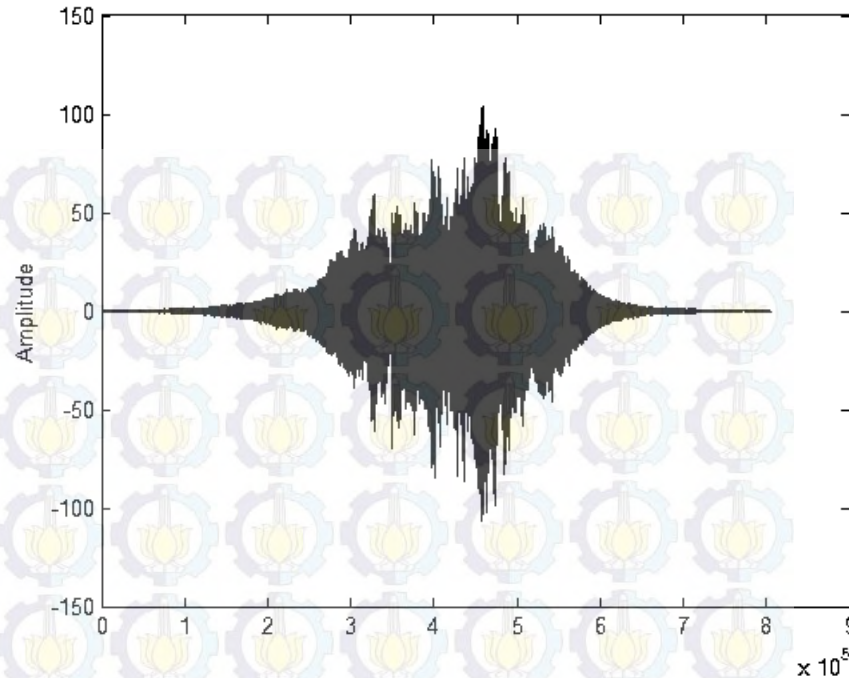
Berdasarkan gambar 4.32., dapat dilihat bahwa nilai amplitudo maksimum dari sinyal tersebut mencapai angka 0.24. Selain itu, bentuk dari sinyal tersebut memiliki komponen yang hampir menyerupai belah ketupat. Berdasarkan kedua faktor tersebut dapat disimpulkan bahwa terdapat kesamaan komponen penyusun sinyal namun adanya perbedaan tempo membuat selisih antar komponen penyusun sinyal sehingga tidak dapat membentuk belah ketupat secara sempurna.

- **Perbandingan *chord* yang memiliki komponen penyusun nada yang berbeda**
 Pada skenario ini digunakan perbandingan antara *chord C* (C – E – G) pada tempo 60 dengan *chord D* (D – F# - A) pada tempo 90. Kedua jenis *chord* tersebut tidak memiliki komponen penyusun nada yang sama. Spektogram dari *chord D* pada tempo 90 dapat dilihat pada gambar 4.33.



Gambar 4.33. Spektrogram *chord* D pada skenario 4 penyusun pada tempo 90

Berdasarkan gambar 4.33., dapat dilihat bahwa *chord* D memiliki 3 nada penyusun utama yaitu **D(147 Hz)**, **F#(185 Hz)** dan **A(110 Hz)**. Namun bila dibandingkan dengan gambar 4.3., dapat dilihat bahwa jarak masing-masing puncak sinyal dalam domain waktu ternyata lebih dekat. Hal ini dikarenakan adanya perbedaan tempo dari proses perekaman. Tempo yang rendah mengakibatkan jarak antar puncak sinyal semakin jauh begitupun sebaliknya, jika tempo semakin cepat maka akan memperpendek jarak antara puncak sinyal. Spektrogram juga menunjukkan munculnya nada **F#** sebanyak dua kali. Hal ini sesuai dengan proses pengambilan data yang mengulang nada **mi(F#)** sebanyak dua kali. Keberadaan sinyal lainnya disebabkan oleh *noise* yang timbul selama proses pengambilan data. Kedua sinyal tersebut kemudian dibandingkan dengan *cross-correlation*. Hasil sinyal hasil perbandingan dapat dilihat pada gambar 4.34.



Gambar 4.34. *Cross-correlation* antara *chord C* (tempo 60) dan *chord D* (tempo 90) pada skenario 4 penyusun

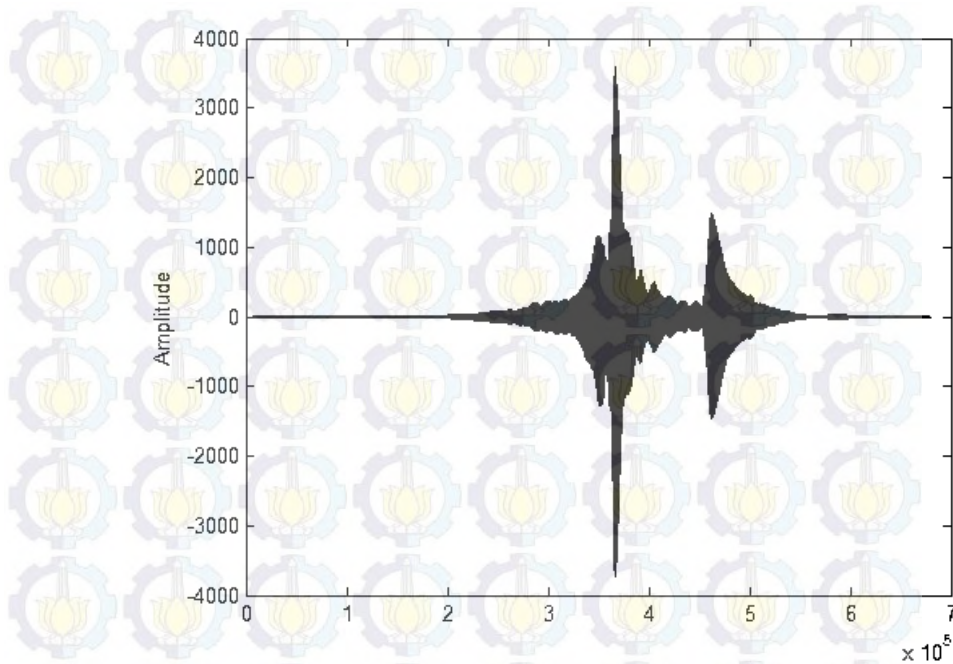
Berdasarkan gambar 4.34., dapat dilihat bahwa sinyal yang dihasilkan hanya memiliki amplitudo maksimal sebesar 0.013. Nilai tersebut sangat kecil bila dibandingkan dengan nilai amplitudo maksimal pada dua skenario sebelumnya. Selain itu, sinyal yang dihasilkan juga tidak memiliki bentuk yang teratur. Kedua faktor tersebut menunjukkan bahwa tidak adanya kesamaan komponen penyusun diantara kedua sinyal yang dibandingkan.

4.4.6. Perbandingan *chord* (3 nada penyusun) dengan *chord* (4 nada penyusun) dengan tempo yang sama

- **Perbandingan jenis *chord* sejenis**

Skenario ini membandingkan 2 jenis *chord* yang memiliki nada penyusun yang sama namun memiliki jumlah penyusun yang berbeda dengan tempo yang sama. Skenario ini menggunakan *chord C* sebagai acuan. *Chord C* yang digunakan terdiri dari 2 jenis penyusun yaitu 3 penyusun (do – mi – sol) dan 4 penyusun (do – mi – sol – mi) pada tempo 60. Kedua jenis *chord* tersebut kemudian saling

dibandingkan dengan menggunakan *cross-correlation*. Hasil dari perbandingan tersebut dapat dilihat pada gambar 4.35.



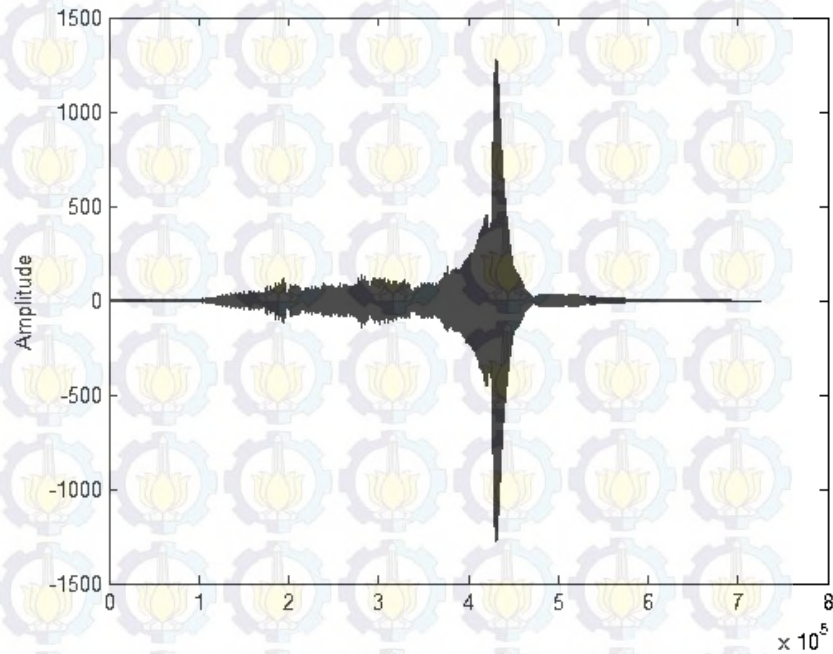
Gambar 4.35. *Cross-correlation chord C* pada skenario 3 penyusun dan 4 penyusun pada tempo 60

Berdasarkan gambar 4.35., dapat dilihat bahwa sinyal yang dihasilkan memiliki nilai amplitudo sebesar 0.48. Selain itu, sinyal juga menunjukkan adanya 2 buah grafik yang hampir menyerupai belah ketupat. Kedua faktor tersebut menunjukkan bahwa terdapat kesamaan komponen penyusun diantara dua buah sinyal yang saling dibandingkan. Terbentuknya 2 buah grafik belah ketupat juga dikarenakan adanya jumlah penyusun yang berbeda diantara kedua sinyal yang dibandingkan.

- **Perbandingan *chord* yang memiliki komponen penyusun nada yang sama**

Skenario ini membandingkan dua buah *chord* yang berbeda baik dari segi jenis maupun jumlah penyusun pada tempo 60. Namun kedua *chord* yang dibandingkan memiliki kesamaan komponen nada penyusun *chordi*. Skenario ini

menggunakan *chord* C (C – E –G) dan *chord* G(G – B – D) sebagai acuan. Kedua *chord* tersebut memiliki kesamaan komponen penyusun yaitu pada nada G. Kedua *chord* tersebut kemudian saling dibandingkan dengan menggunakan *cross-correlation* seperti terlihat pada gambar 4.36.

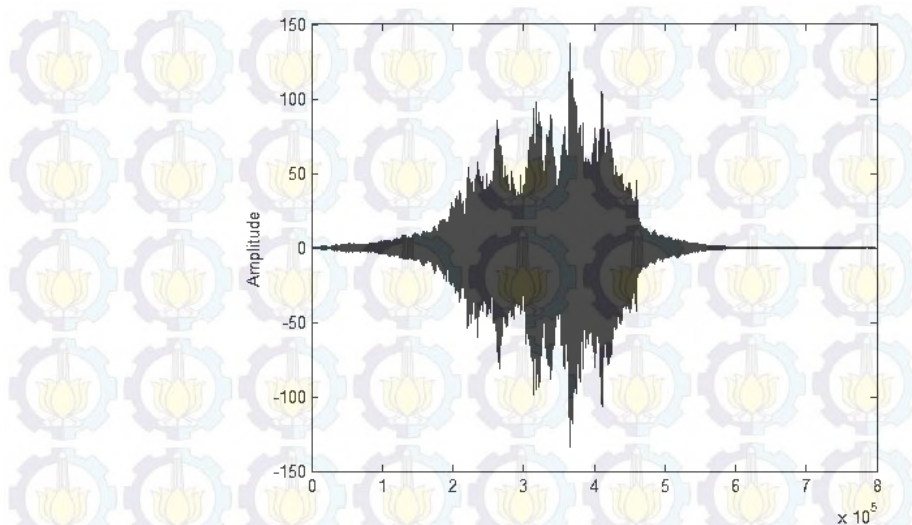


Gambar 4.36. *Cross-correlation* antara *chord* C (3 penyusun) dan *chord* G (4 penyusun) pada tempo 60

Berdasarkan gambar 4.36., dapat dilihat bahwa sinyal yang dihasilkan memiliki nilai amplitudo sebesar 0.16. Selain itu, sinyal juga menunjukkan adanya grafik yang hampir menyerupai belah ketupat. Kedua faktor tersebut menunjukkan bahwa terdapat kesamaan komponen penyusun diantara dua buah sinyal yang saling dibandingkan.

- **Perbandingan *chord* yang memiliki komponen penyusun nada yang berbeda**
Skenario ini membandingkan dua buah *chord* yang berbeda baik dari segi jenis maupun jumlah penyusun pada tempo 60. Kedua jenis *chord* yang dibandingkan juga tidak memiliki kesamaan dalam hal komponen penyusun nada chord. Skenario ini menggunakan *chord* C (C – E –G) dan *chord* D(D – F# – A)

sebagai acuan. Kedua *chord* tersebut kemudian saling dibandingkan dengan menggunakan *cross-correlation* seperti terlihat pada gambar 4.37.



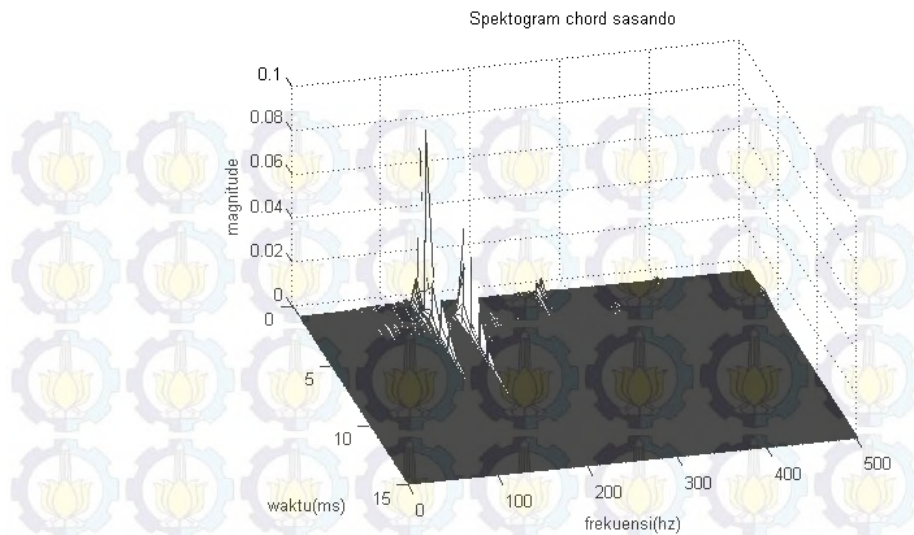
Gambar 4.37. *Cross-correlation* antara *chord* C (3 penyusun) dan *chord* D (4 penyusun) pada tempo 60

Berdasarkan gambar 4.37., dapat dilihat bahwa sinyal yang dihasilkan memiliki nilai amplitudo sebesar 0.018. Selain itu, sinyal juga menunjukkan adanya grafik tidak memiliki bentuk yang sempurna. Kedua faktor tersebut menunjukkan bahwa tidak terdapat kesamaan komponen penyusun diantara dua buah sinyal yang saling dibandingkan.

4.4.7. Perbandingan *chord* (3 nada penyusun) dengan *chord* (2 nada penyusun) dengan tempo yang sama

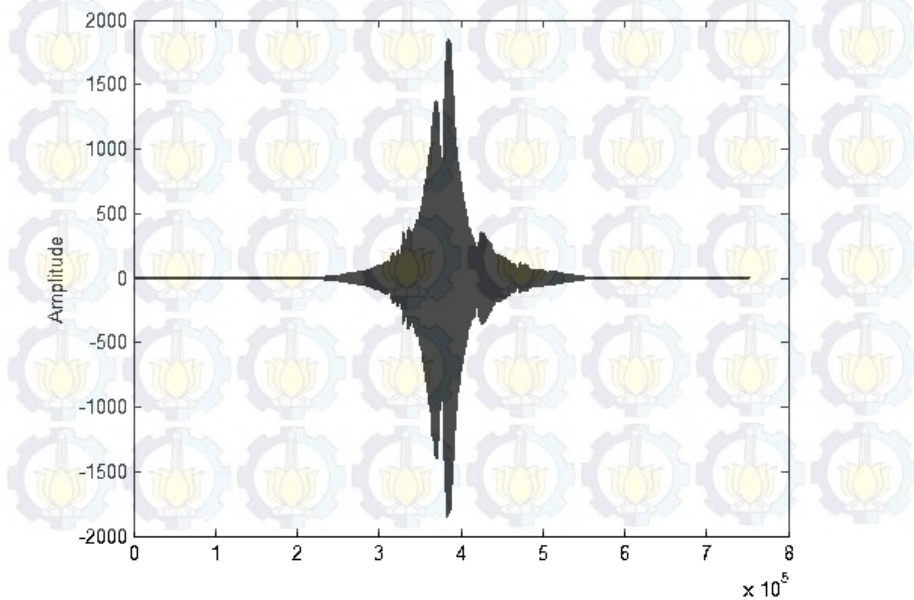
- Perbandingan *chord* sejenis

Pada skenario ini, dilakukan perbandingan antara *chord* dengan *arpeggio* 3 penyusun terhadap *arpeggio* 2 petikan dengan menggunakan *chord* C sebagai acuan. *Chord* C yang digunakan terdiri dari 2 jenis penyusun yaitu 3 penyusun (do – mi – sol) dan 2 penyusun (do – mi) pada tempo 60. Kedua jenis *chord* tersebut kemudian saling dibandingkan dengan menggunakan *cross-correlation*. Spektogram dari *chord* C 2 petikan dapat dilihat pada gambar 4.38.



Gambar 4.38. Spektogram *chord C* pada skenario 2 penyusun pada tempo 60

Berdasarkan gambar 4.38., dapat dilihat bahwa spektogram menunjukkan 2 buah sinyal utama sebagai penyusun *chord C* yaitu **C(131 Hz)** dan **E(165 Hz)**. Keberadaan sinyal-sinyal kecil lainnya disebabkan oleh *noise* yang timbul selama proses pengambilan data dilakukan. Sinyal hasil *cross-correlation* ditunjukkan pada gambar 4.39.

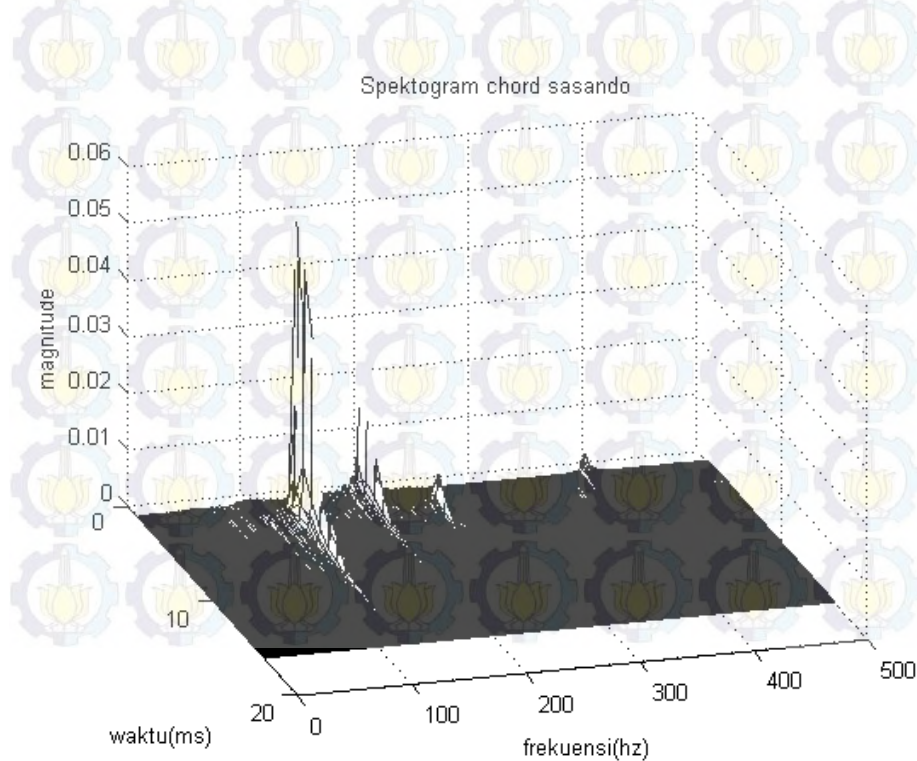


Gambar 4.39. *Cross-correlation* antara *chord C* (3 penyusun) dan *chord C* (2 penyusun) pada tempo 60

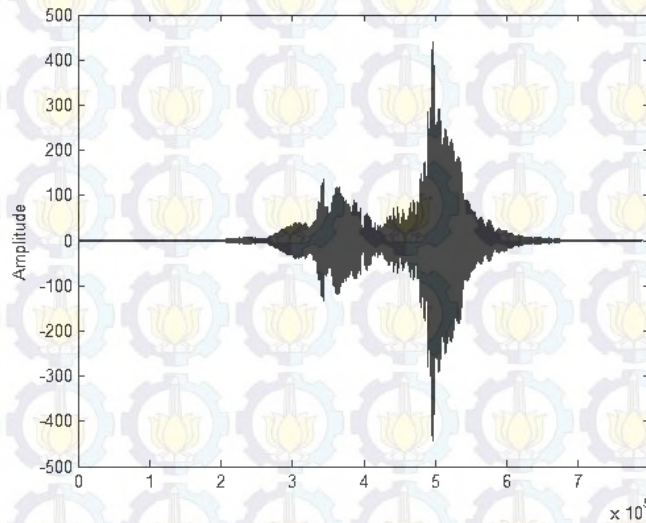
Berdasarkan gambar 4.39., dapat dilihat bahwa sinyal yang dihasilkan memiliki nilai amplitudo sebesar 0.26. Selain itu, bentuk dari sinyal juga hampir menyerupai belah ketupat. Kedua faktor tersebut menunjukkan bahwa terdapat kesamaan komponen penyusun diantara dua buah sinyal yang saling dibandingkan.

- **Perbandingan *chord* yang memiliki komponen nada yang sama**

Skenario ini membandingkan dua buah *chord* yang berbeda baik dari segi jenis maupun jumlah penyusun pada tempo 60. Namun kedua *chord* yang dibandingkan memiliki kesamaan komponen nada penyusun *chord*. Skenario ini menggunakan *chord C* (C – E –G) dan *chord G*(G – B) sebagai acuan. Kedua *chord* tersebut memiliki kesamaan komponen penyusun yaitu pada nada G. Spektogram dari *chord G* pada arpeggio 2 penyusun dapat dilihat pada gambar 4.40.



Gambar 4.40. Spektrogram *chord* G pada skenario 2 penyusun pada tempo 60. Berdasarkan gambar 4.40., dapat dilihat bahwa spektrogram menunjukkan 2 buah sinyal utama sebagai penyusun *chord* G yaitu **G(196 Hz)** dan **B(123 Hz)**. Keberadaan sinyal-sinyal kecil lainnya disebabkan oleh *noise* yang timbul selama proses pengambilan data dilakukan. Sinyal hasil *cross-correlation* ditunjukkan pada gambar 4.41.



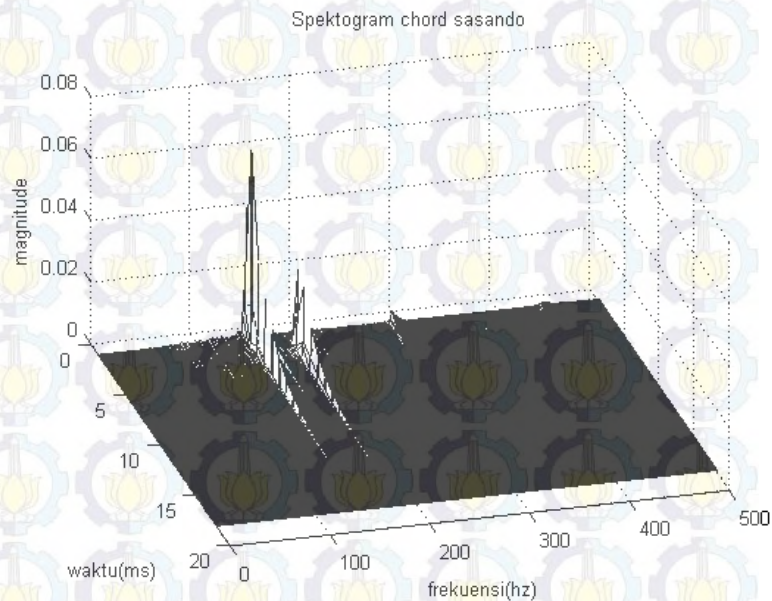
Gambar 4.41. *Cross-correlation* antara *chord* C (3 penyusun) dan *chord* G (2 penyusun) pada tempo 60

Berdasarkan gambar 4.41., dapat dilihat bahwa sinyal hasil *cross-correlation* antara *chord* C (3 penyusun) dan G(2 penyusun) memiliki amplitudo maksimal yang cukup kecil yaitu senilai 0.06. Hal ini kemungkinan dikarenakan jumlah nada dari *power chord* G yang sedikit sehingga hasil penjumlahan tidak menghasilkan nilai amplitudo yang besar. Namun jika dilihat dari segi bentuk, ternyata sinyal tersebut hampir menyerupai belah ketupat. Berdasarkan hal tersebut maka dapat dilihat hasil *cross-correlation* jika sebuah *chord triad* dibandingkan dengan *power chord*.

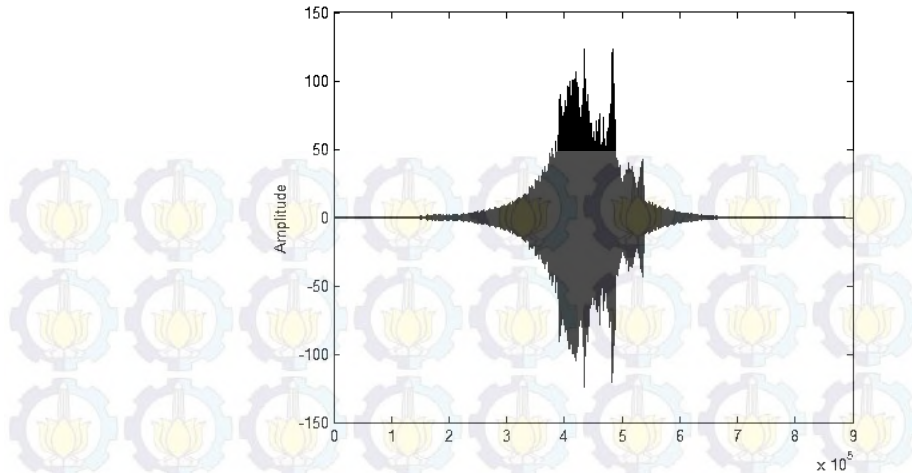
- **Perbandingan *chord* yang memiliki komponen nada berbeda**

Skenario ini membandingkan dua buah *chord* yang berbeda baik dari segi jenis maupun jumlah penyusun pada tempo 60. Kedua jenis *chord* yang dibandingkan

juga tidak memiliki kesamaan dalam hal komponen penyusun nada chord. Skenario ini menggunakan *chord* C (C – E –G) dan *chord* D(D – F#) sebagai acuan. Spektrogram dari *chord* D pada sistem arpeggio 2 penyusun dapat dilihat pada gambar 4.42.



Gambar 4.42. Spektrogram *chord* D pada skenario 2 penyusun pada tempo 60 Berdasarkan gambar 4.42., dapat dilihat bahwa *chord* D memiliki 2 nada penyusun utama yaitu **D(147 Hz)** dan **F#(185 Hz)**. Keberadaan sinyal lainnya disebabkan oleh *noise* yang timbul selama proses pengambilan data. Kedua sinyal tersebut kemudian dibandingkan dengan *cross-correlation*. Hasil sinyal hasil perbandingan dapat dilihat pada gambar 4.43.



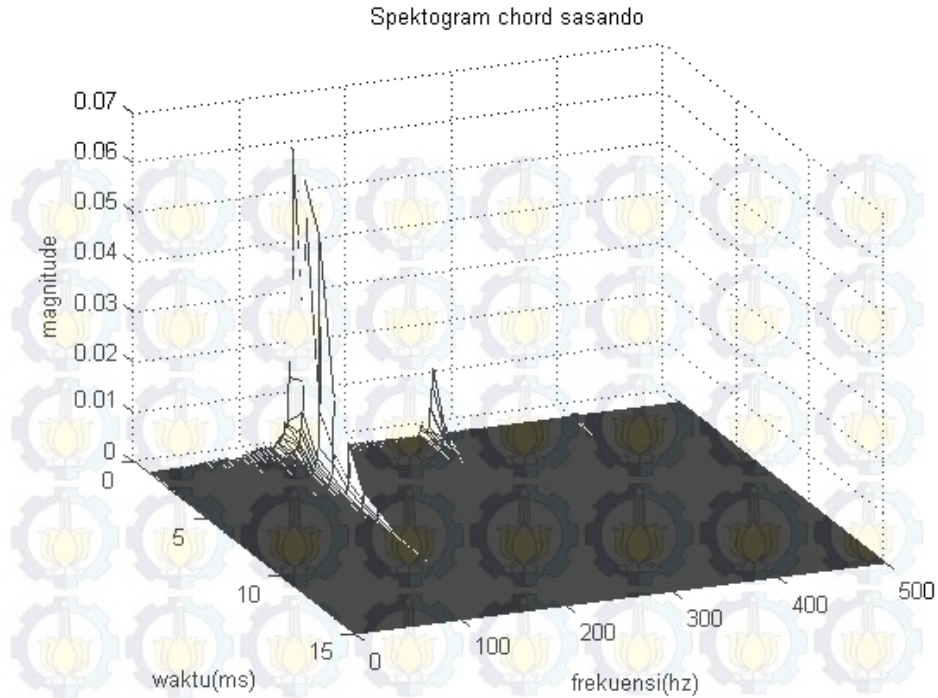
Gambar 4.43. *Cross-correlation* antara *chord C* (3 penyusun) dan *chord D* (2 penyusun) pada tempo 60

Berdasarkan gambar 4.43., dapat dilihat bahwa sinyal hasil *cross-correlation* antara *chord C* (3 penyusun) dan *D*(2 penyusun) memiliki amplitudo maksimal yang sangat kecil yaitu senilai 0.016. Selain itu, sinyal tersebut juga tidak memiliki bentuk yang sempurna. Hal ini menandakan bahwa tidak terdapat kesamaan antara komponen sinyal penyusun diantara dua *chord* tersebut.

4.4.8. Perbandingan *chord* (3 nada penyusun) dengan *chord* tunggal

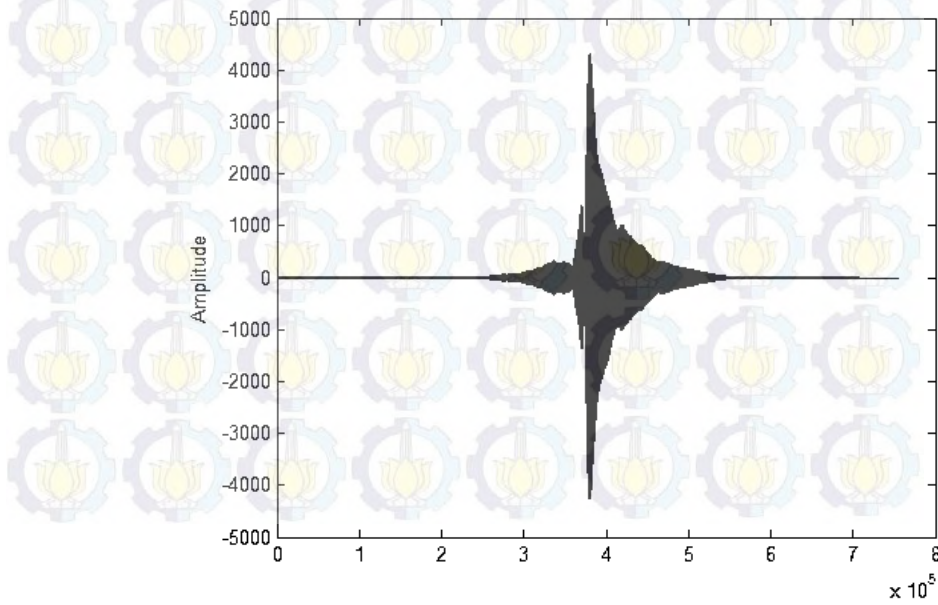
- Perbandingan *chord C* dengan nada tunggal C

Pada skenario ini dilakuka perbandingan antara *chord C* dengan nada tunggal C. Nada C dipilih karena merupakan komponen nada penyusun dari *chord C*. Spektogram dari nada C dapat dilihat pada gambar 4.44.



Gambar 4.44. Spektogram nada tunggal C

Berdasarkan gambar 4.44., dapat dilihat bahwa sinyal tersebut berada pada frekuensi ± 131 Hz. Sinyal ini kemudian dibandingkan dengan sinyal *chord C* 3 penyusun sehingga menghasilkan sinyal hasil *cross-correlation* seperti pada gambar 4.46.

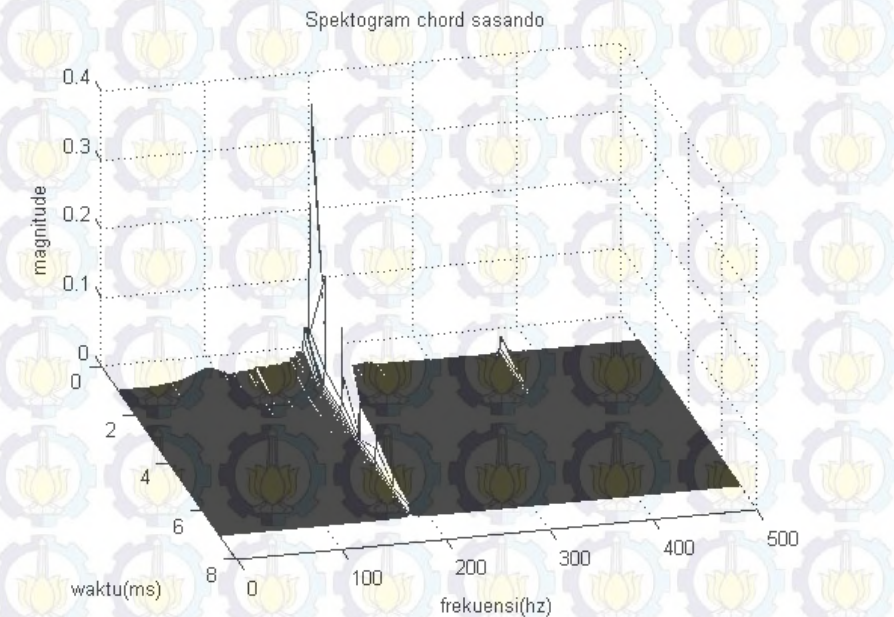


Gambar 4.45. Hasil *cross-correlation* antara *chord C* dengan nada C

Berdasarkan gambar 4.45. dapat dilihat bahwa nilai amplitudo maksimal menunjukkan angka 0.5. Selain itu, bentuk dari sinyal tersebut juga memiliki komponen yang menyerupai belah ketupat walaupun tidak sempurna. Salah satu kemungkinan disebabkan karena jumlah komponen sinyal yang saling dibandingkan tidak seimbang.

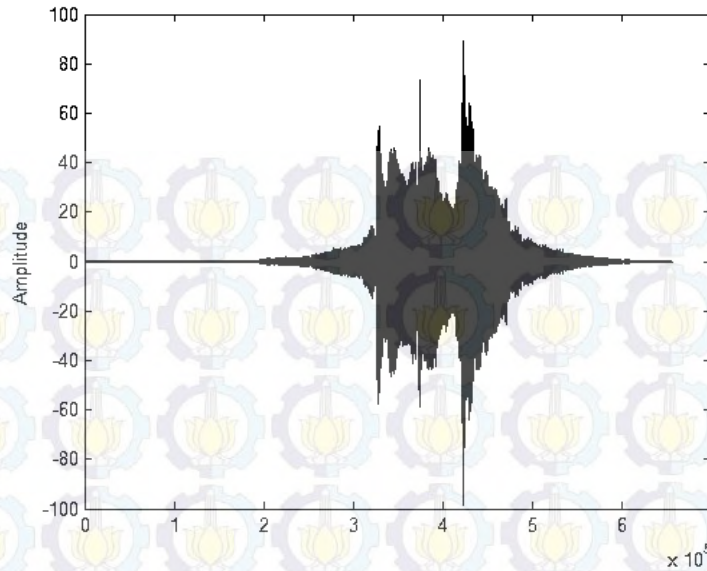
- **Perbandingan *chord C* dengan nada tunggal F#**

Pada skenario ini dilakukan perbandingan antara *chord C* dengan nada tunggal F#. Hal ini dilakukan untuk melihat hubungan antara kedua sinyal tersebut meskipun nada tunggal F# bukan merupakan komponen penyusun *chord C*. Spektrogram dari nada tunggal F# ditunjukkan pada gambar 4.46.



Gambar 4.46. Spektrogram nada tunggal F#

Berdasarkan gambar 4.47., dapat dilihat bahwa sinyal tersebut berada pada frekuensi ± 185 Hz. Sinyal ini kemudian dibandingkan dengan sinyal *chord C* 3 penyusun sehingga menghasilkan sinyal hasil *cross-correlation* seperti pada gambar 4.47.



Gambar 4.47. Hasil *cross-correlation* antara *chord C* dengan nada tunggal F#
 Berdasarkan gambar 4.47, nilai dari amplitudo maksimal menunjukkan angka yang sangat kecil yaitu ± 0.025 . Meskipun bentuk sinyal memiliki beberapa komponen yang menyerupai belah ketupat namun bila dilihat dari nilai amplitudonya maka dapat disimpulkan bahwa tidak terdapat kesamaan komponen penyusun dari kedua sinyal yang dibandingkan.

Berdasarkan percobaan yang telah dilakukan dapat ditemukan bahwa hasil perbandingan antara *chord* dengan beberapa skenario yang dilakukan ternyata dapat membentuk sebuah pola. Semakin banyak kesamaan antara komponen penyusun dari dua buah sinyal yang saling dibandingkan maka semakin tinggi nilai amplitudo maksimum yang diperoleh. Selain itu, bentuk dari sinyal hasil *cross-correlation* juga dapat digunakan sebagai acuan dalam proses analisa. Keseluruhan skenario yang telah dilakukan dapat dirangkum dalam table 4.10.

Tabel 4.10. Rangkuman percobaan

No	Jenis Skenario	Sinyal yang dibandingkan		Karakter sinyal cross-correlation	
		Sinyal uji	Sinyal referensi	nilai amplitudo rata-rata	Bentuk sinyal
1	3 nada - 3 nada (tempo 60)	Chord C (3 nada)	Chord C (3 nada)	± 7000	Simetris
2		Chord C (3 nada)	Chord G (3 nada)	± 4000	Setengah simetris
3		Chord C (3 nada)	Chord D (3 nada)	± 2000	Tidak beraturan
4	3 nada - 3 nada (tempo 60-90)	Chord C (3 nada)	Chord C (3 nada)	± 4000	Setengah simetris
5		Chord C (3 nada)	Chord G (3 nada)	± 2000	Setengah simetris
6		Chord C (3 nada)	Chord D (3 nada)	± 500	Tidak beraturan
7	4 nada - 4 nada (tempo 60)	Chord C (4 nada)	Chord C (4 nada)	± 7000	Simetris
8		Chord C (4 nada)	Chord G (4 nada)	± 3000	Setengah simetris
9		Chord C (4 nada)	Chord D (4 nada)	± 1000	Tidak beraturan
10	4 nada - 4 nada (tempo 60-90)	Chord C (4 nada)	Chord C (4 nada)	± 3000	Setengah simetris
11		Chord C (4 nada)	Chord G (4 nada)	± 1500	Setengah simetris
12		Chord C (4 nada)	Chord D (4 nada)	± 500	Tidak beraturan
13	3 nada - 4 nada (tempo 60)	Chord C (3 nada)	Chord C (4 nada)	± 5000	Simetris
14		Chord C (3 nada)	Chord G (4 nada)	± 2000	Setengah simetris
15		Chord C (3 nada)	Chord D (4 nada)	± 800	Tidak beraturan
16	3 nada - 2 nada (tempo 60)	Chord C (3 nada)	Chord C (2 nada)	± 3000	Simetris
17		Chord C (3 nada)	Chord G (2 nada)	± 1000	Setengah simetris
18		Chord C (3 nada)	Chord D (2 nada)	± 500	Tidak beraturan
19	3 nada - 1 nada (tempo 60)	Chord C (3 nada)	nada tunggal C	± 4000	Setengah simetris
20		Chord C (3 nada)	nada tunggal F#	± 500	Setengah simetris

4.4.9. Pengklasifikasian nilai ambang (*threshold*) amplitudo dari masing-masing jenis data *chord* sasando.

Salah satu kelemahan yang dimiliki oleh alat musik sasando ialah karakteristik dari frekuensi nada sasando yang terkadang tidak tetap. Hal ini dikarenakan bentuk fisik dari alat musik sasando yang masih dibuat dengan cara tradisional sehingga posisi dari dawai terkadang mengalami pergeseran. Meskipun pergeseran posisi dawai yang terjadi tidak terlalu signifikan, namun hal ini dapat mengakibatkan perubahan frekuensi dari *chord* yang dihasilkan. Oleh karena itu perlu dilakukan pengklasifikasian terhadap nilai ambang (*threshold*) dari sinyal hasil *cross-correlation* untuk melihat karakteristik dari nilai amplitudo meskipun terdapat kemungkinan adanya penyimpangan frekuensi dari data sinyal *chord* sasando. Berdasarkan pengujian, perubahan frekuensi pada *chord* sasando yang masing bisa ditoleransi bernilai $\pm 3\text{Hz}$. Sebagai contoh, jika *chord* C Mayor memiliki frekuensi normal 262 Hz, maka toleransi frekuensi bernilai $\pm 259\text{Hz}-265\text{Hz}$. Simpangan frekuensi *chord* pada sasando ternyata mempengaruhi nilai amplitudo maksimal dari sinyal hasil *cross-correlation* pada *chord* tersebut. Pada skenario ini dilakukan perbandingan antara *chord* dengan teknik *arpeggio* 3 penyusun. Proses pengujian dilakukan dengan membandingkan 10 buah sampel data sinyal *chord* uji terhadap 1 buah sampel data sinyal *chord* referensi. Sinyal hasil *cross-correlation* kemudian dikalkulasi menggunakan koefisien korelasi. Klasifikasi nilai ambang (*threshold*) pada skenario ini dapat dilihat pada tabel 4.11, 4.12 dan 4.13.



Tabel 4.11. Wilayah ambang batas dari amplitudo maksimal sinyal hasil *cross-correlation* pada chord referensi C,D dan Em

Jenis Chord		Nilai Amplitudo Sinyal hasil <i>Cross-correlation</i>										Rentang Amplitudo		
Chord Referensi (1 sampel)	Chord Uji (10 sampel)	Sam pel uji 1	Sam pel uji 2	Sam pel uji 3	Sam pel uji 4	Sam pel uji 5	Sam pel uji 6	Sam pel uji 7	Sam pel uji 8	Sam pel uji 9	Sam pel uji 10	Amplitudo min	Amplitudo Maks	Rata-rata
C Mayor	C Mayor	8100	7900	6400	8000	6500	6300	7800	8200	7900	8100	0.6	0.9	7520
	D Minor	140	130	120	150	130	150	140	130	150	130	0.013	0.015	137
	E Minor	5200	5100	5400	5100	4900	5500	5800	4900	4900	5400	0.4	0.6	5220
	F Mayor	3800	3700	3900	4700	3800	3900	3800	4800	3600	3700	0.4	0.5	3970
	G Mayor	3300	3100	2600	2700	3000	3100	3000	2900	2700	2800	0.2	0.3	2920.
	A Minor	4400	4900	4500	4400	4300	5100	5200	4800	5000	4800	0.5	0.6	4740
	B Minor	2300	2700	2500	2400	2600	2500	2400	2500	2300	2600	0.02	0.03	2480
D Mayor	D Mayor	120	210	220	250	240	210	210	230	140	130	0.01	0.02	196
	C Mayor	150	140	190	140	210	130	140	220	210	210	0.01	0.02	174
	D Minor	4100	3400	3500	3900	3300	3100	3100	3200	3500	3400	0.3	0.015	3450.
	E Minor	240	290	250	230	310	230	240	220	220	310	0.4	0.6	254
	F Mayor	2400	3100	2800	2500	2400	3000	3100	2400	2300	2400	0.4	0.5	2640
	G Mayor	3100	1500	2900	2400	2500	3100	2900	2400	2300	3100	0.2	0.3	2620
	A Minor	2400	2900	2500	3200	3000	3100	3100	2400	3200	3100	0.5	0.6	2890
E Minor	B Minor	4100	3800	3900	4000	4100	4800	4200	4900	4900	4500	0.02	0.03	4320
	D Mayor	6100	8000	8100	6400	6500	6300	6400	6900	8000	7100	0.01	0.02	6980
	C Mayor	4500	4900	4400	5100	4400	4300	3500	4400	4500	3400	0.01	0.02	4340
	D Minor	150	220	240	220	140	230	150	230	140	230	0.3	0.015	195
	E Minor	6400	8100	6500	6400	6300	7900	7500	6500	6300	8000	0.4	0.6	6990
	F Mayor	240	230	210	250	140	220	230	130	240	140	0.4	0.5	203
	G Mayor	5200	5000	4500	4400	4400	4900	5000	5100	5000	4400	0.2	0.3	4790
E Minor	A Minor	3100	3000	3200	2500	2800	3100	3500	2900	2400	3000	0.5	0.6	2950
	B Minor	2200	2000	1500	1900	2100	2000	2000	1800	1400	2100	0.02	0.03	1900
	D Mayor	240	220	210	250	290	310	300	250	240	250	0.01	0.02	256

Tabel 4.12. Wilayah ambang batas dari amplitudo maksimal sinyal hasil *cross-correlation* pada chord referensi F,G dan Am

Jenis Chord		Nilai Amplitudo Sinyal hasil <i>Cross-correlation</i>										Rentang Amplitudo		
Chord Referensi (1 sampel)	Chord Uji (10 sampel)	Sam pel uji 1	Sam pel uji 2	Sam pel uji 3	Sam pel uji 4	Sam pel uji 5	Sam pel uji 6	Sam pel uji 7	Sam pel uji 8	Sam pel uji 9	Sam pel uji 10	Amplitudo min	Amplitudo Maks	Rata-rata
F Mayor	C Mayor	3600	3800	4800	3900	3800	4700	3900	3800	3700	3700	0.01	0.02	3970
	D Minor	5100	4400	4800	4900	5000	4400	4800	5100	5000	4900	0.3	0.015	4840
	E Minor	230	240	220	360	250	240	250	230	370	240	0.4	0.6	263
	F Mayor	8100	7900	6500	6400	7800	6400	6300	7800	7900	6400	0.4	0.5	7150
	G Mayor	230	250	230	310	250	240	300	250	290	250	0.2	0.3	260
	A Minor	5100	4900	4600	5000	4400	4800	5000	5100	4500	5100	0.5	0.6	4850
	B Minor	230	310	220	240	250	300	310	2400	290	230	0.02	0.03	478
	D Mayor	2200	2000	1400	1900	1800	1400	1500	2100	2000	1800	0.01	0.02	1810
G Mayor	C Mayor	3100	2900	3000	2500	2800	2900	2400	3100	3000	2900	0.01	0.02	2860
	D Minor	1300	1800	1400	1400	1500	1300	1900	1500	1300	1400	0.3	0.015	1480
	E Minor	5500	5400	5800	5900	5900	5400	5500	5400	5400	5500	0.4	0.6	5570
	F Mayor	230	240	150	210	190	1400	180	220	210	1900	0.4	0.5	493
	G Mayor	7400	7500	6500	7900	7800	6400	7900	8000	7400	8100	0.2	0.3	7490
	A Minor	230	240	240	230	290	250	240	240	310	240	0.5	0.6	251
	B Minor	6100	5400	5900	5500	5900	5800	6000	5400	5400	6100	0.02	0.03	5750
	D Mayor	3100	3000	2500	2900	3000	2500	2800	2900	3100	2400	0.01	0.02	2820
A Minor	C Mayor	4400	4500	4900	4400	4500	5100	4300	4400	4500	4400	0.01	0.02	4540
	D Minor	2500	2900	2400	2500	2500	2400	2300	2800	2500	2400	0.3	0.015	2520
	E Minor	3100	3000	2400	2800	2500	3100	2900	3000	2500	2400	0.4	0.6	2770
	F Mayor	5100	4900	4400	5000	4500	5100	5100	4400	4500	4800	0.4	0.5	4780
	G Mayor	240	230	280	250	240	310	330	250	240	230	0.2	0.3	260
	A Minor	6400	6500	6400	8100	6500	8200	8000	6400	6500	6400	0.5	0.6	6940
	B Minor	250	230	310	240	250	290	240	310	240	310	0.02	0.03	267
	D Mayor	1400	1500	1400	1300	1900	1500	1800	1400	1500	1500	0.01	0.02	1520

Tabel 4.13. Wilayah ambang batas dari amplitudo maksimal sinyal hasil *cross-correlation* pada chord referensi Bm dan Dm

Jenis Chord		Nilai Amplitudo Sinyal hasil <i>Cross-correlation</i>										Rentang Amplitudo		
Chord Referensi (1 sampel)	Chord Uji (10 sampel)	Sam pel uji 1	Sam pel uji 2	Sam pel uji 3	Sam pel uji 4	Sam pel uji 5	Sam pel uji 6	Sam pel uji 7	Sam pel uji 8	Sam pel uji 9	Sam pel uji 10	Amplitudo min	Amplitudo Maks	Rata-rata
B Minor	C Mayor	230	290	240	250	250	280	240	250	240	250	0.01	0.02	252
	D Minor	2000	2100	1500	1900	1400	1800	2100	2000	1500	2100	0.3	0.015	1840
	E Minor	2100	2000	2200	1900	1400	1800	2200	2100	2200	2100	0.4	0.6	2000
	F Mayor	230	240	220	150	190	180	210	240	230	210	0.4	0.5	210
	G Mayor	6100	5900	4500	5800	4400	6000	4400	5800	5500	5900	0.2	0.3	5430
	A Minor	230	220	240	310	250	300	240	230	310	250	0.5	0.6	258
	B Minor	8100	6500	7800	6400	7500	6500	8100	8000	6400	7900	0.02	0.03	7320
	D Mayor	4400	4900	4500	5100	4400	4500	4300	5000	4500	4400	0.01	0.02	4600
D Minor	C Mayor	140	150	130	190	140	180	140	150	190	150	0.01	0.02	156
	D Minor	8100	8000	6500	7900	6400	7500	6400	7900	8100	6300	0.3	0.015	7310
	E Minor	220	240	150	180	190	220	150	210	200	190	0.4	0.6	195
	F Mayor	4400	4500	5100	5000	4500	4900	4500	5100	4400	5000	0.4	0.5	4740
	G Mayor	1400	1500	1400	1400	1800	1300	1300	1500	1400	1900	0.2	0.3	1490
	A Minor	3100	2500	2400	2400	2800	2900	2500	2400	2300	2500	0.5	0.6	2580
	B Minor	2400	2500	2300	2400	2500	2800	2500	2800	2300	2500	0.02	0.03	2500
	D Mayor	4400	4500	4400	4700	4300	4800	4400	4300	4500	4500	0.01	0.02	4480

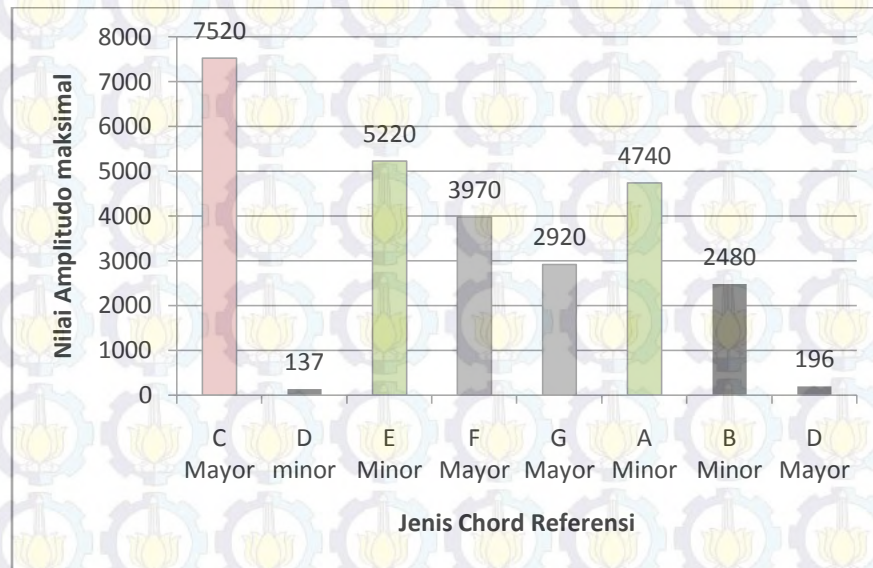
Keterangan Tabel 4.11 hingga 4.13:

 Chord saling memiliki 3 komponen nada yang sama (*chord sejenis*)

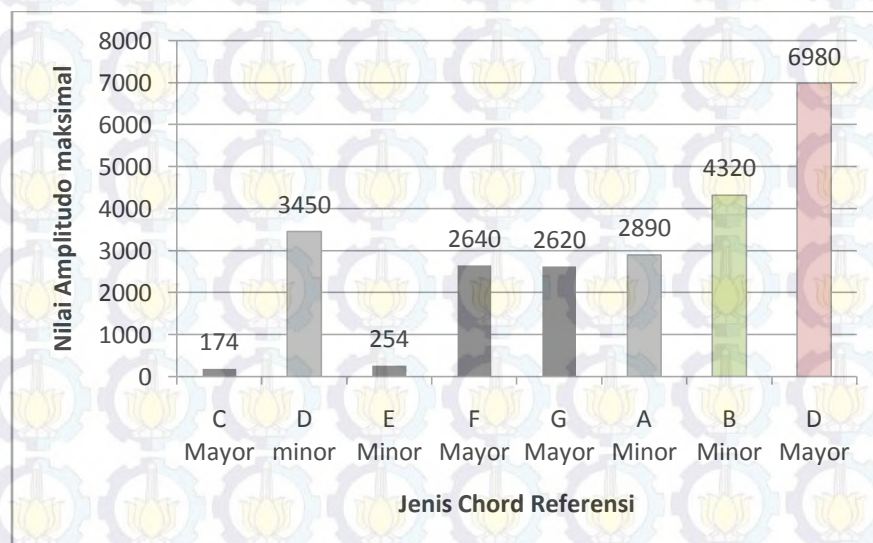
 Chord saling memiliki 1 komponen nada yang sama

 Chord saling memiliki 2 komponen nada yang sama

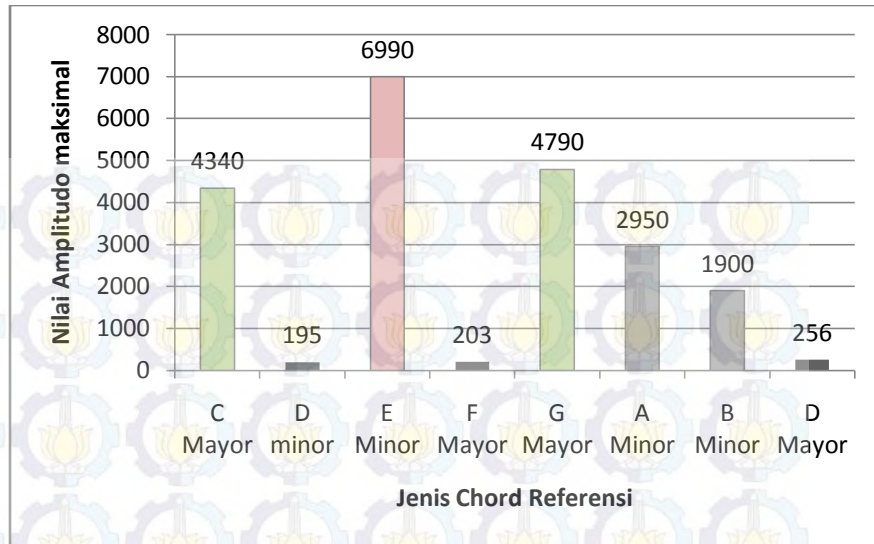
Berdasarkan tabel 4.11, 4.12 dan 4.13 dapat dilihat bahwa pada proses *cross-correlation* pada *chord* sejenis (tabel warna merah) memiliki nilai rata-rata dari amplitudo maksimal pada masing-masing jenis *chord* berada di atas nilai 6900. Adapun rangkuman rata-rata nilai amplitudo maksimum dari sinyal hasil *cross-correlation* dapat dilihat pada gambar 4.48 hingga 4.55.



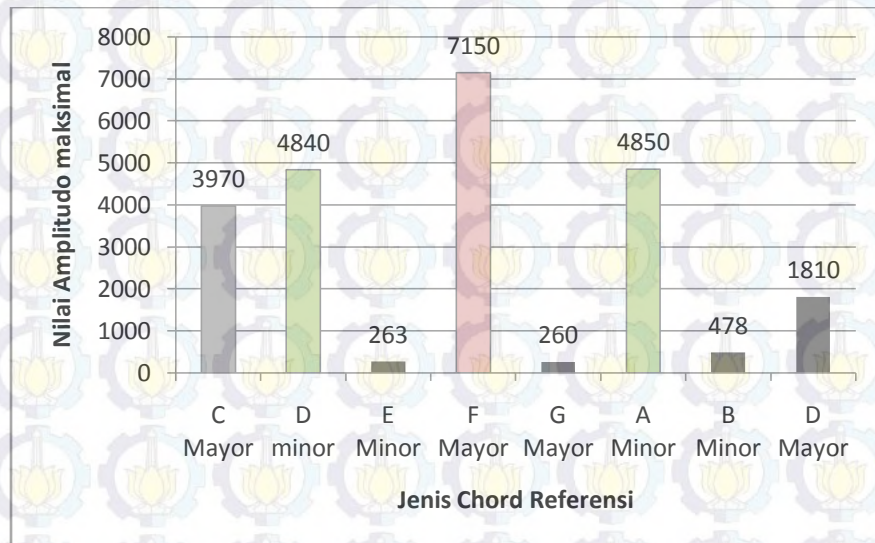
Gambar 4.48. Nilai rata-rata amplitudo maksimum dari sinyal hasil *cross-correlation* terhadap *chord* referensi C Mayor



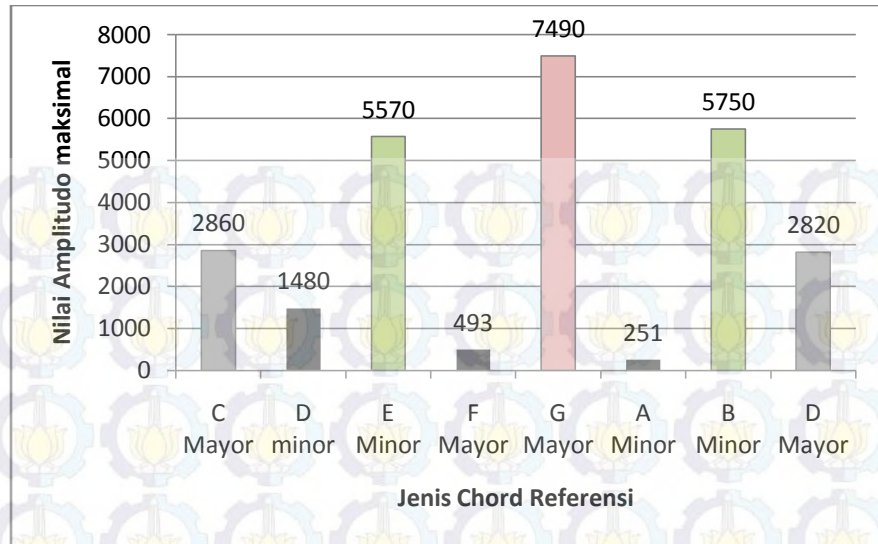
Gambar 4.49. Nilai rata-rata amplitudo maksimum dari sinyal hasil *cross-correlation* terhadap *chord* referensi D Mayor



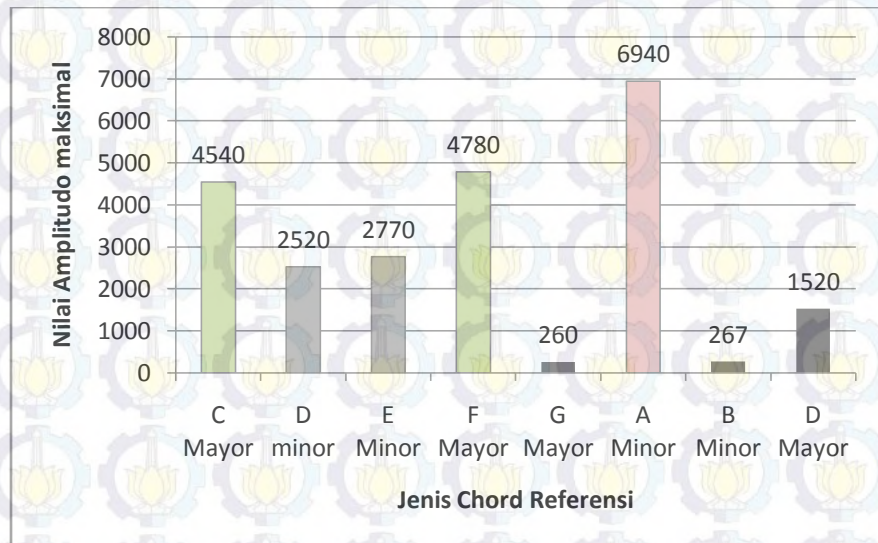
Gambar 4.50. Nilai rata-rata amplitudo maksimum dari sinyal hasil *cross-correlation* terhadap *chord* referensi E Minor



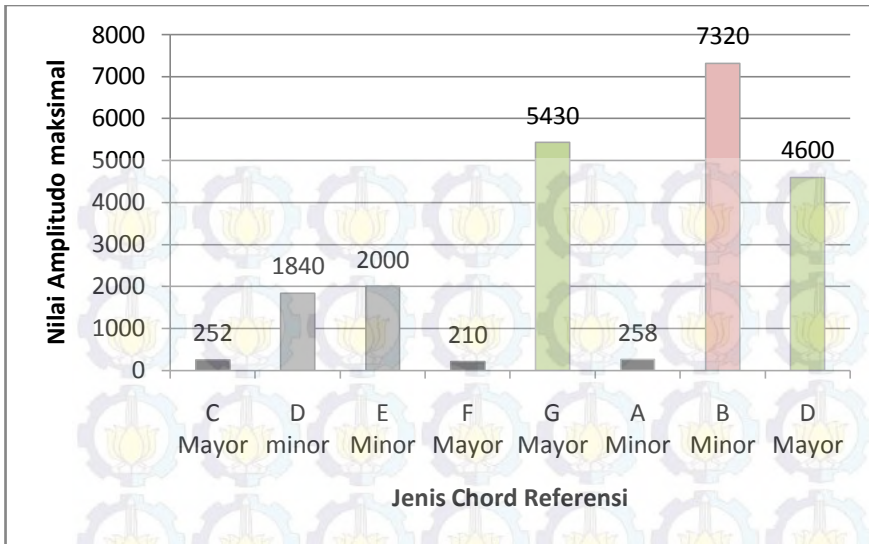
Gambar 4.51. Nilai rata-rata amplitudo maksimum dari sinyal hasil *cross-correlation* terhadap *chord* referensi F Mayor



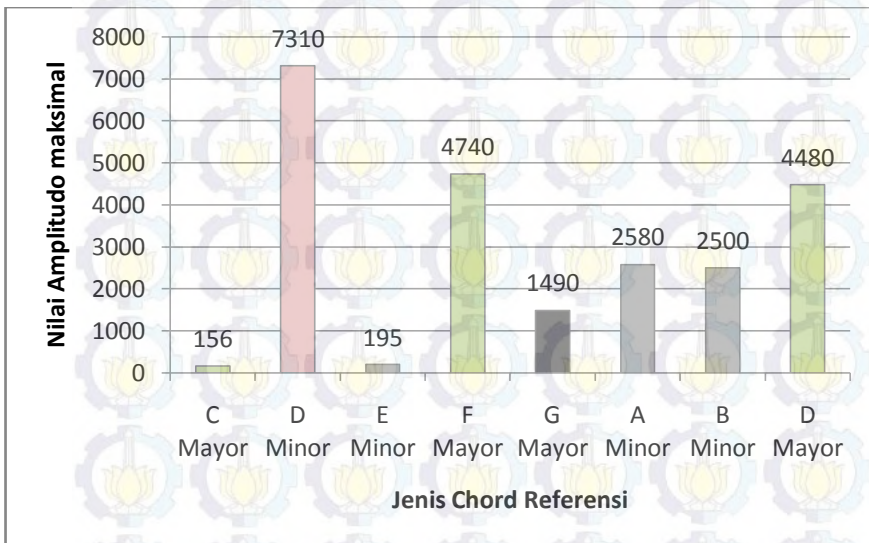
Gambar 4.52. Nilai rata-rata amplitudo maksimum dari sinyal hasil *cross-correlation* terhadap *chord* referensi G Mayor



Gambar 4.53. Nilai rata-rata amplitudo maksimum dari sinyal hasil *cross-correlation* terhadap *chord* referensi A Minor



Gambar 4.54. Nilai rata-rata amplitudo maksimum dari sinyal hasil *cross-correlation* terhadap *chord* referensi B Minor



Gambar 4.55. Nilai rata-rata amplitudo maksimum dari sinyal hasil *cross-correlation* terhadap *chord* referensi D Minor

Berdasarkan grafik pada gambar 4.48 hingga 4.55, dapat dilihat bahwa nilai rata-rata amplitudo maksimum pada proses *cross-correlation* pada *chord* sejenis (bagian warna merah) berada di atas nilai 6900. Hal ini menunjukkan bahwa dengan menggunakan metode *correlation* dapat diperoleh karakteristik nilai amplitudo maksimum yang dapat dijadikan acuan dalam

menentukan jenis *chord* uji. Adapun karakteristik lainnya yang nampak yaitu dapat dilihat pada tabel 4.14

Tabel 4.14. Wilayah batas (*threshold*) dari amplitudo maksimum sinyal hasil *cross-correlation*

Jenis <i>chord</i> berdasarkan jumlah nada yang sama	Nilai <i>threshold</i> dari amplitudo rata-rata sinyal hasil <i>cross-correlation</i>	
	Batas bawah	Batas Atas
3 komponen nada yang sama (<i>chord</i> sejenis)	6900	7600
2 komponen nada yang sama	4300	5800
1 komponen nada yang sama	1800	4000
Tidak memiliki keterkaitan nada	0	<1800

Berdasarkan tabel 4.14 dapat dilihat bahwa terdapat karakteristik dari nilai ambang batas (*threshold*) terhadap nilai rata-rata nilai amplitudo maksimum dari sinyal hasil *cross-correlation* antara sinyal uji dan sinyal referensi pada *chord* C,Dm,Em,F,G,Am,Bm dan D. Proses *cross-correlation* pada *chord* sejenis memiliki nilai *threshold* paling besar diikuti dengan *chord* yang memiliki kesamaan 2 nada dan 1 nada. Bentuk karakteristik *threshold* pada tabel 4.14 menunjukkan pola dimana semakin banyak jumlah komponen nada penyusun nada yang sama antara *chord* yang saling dibandingkan maka semakin tinggi nilai amplitudo maksimum dari sinyal hasil *cross-correlation*.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

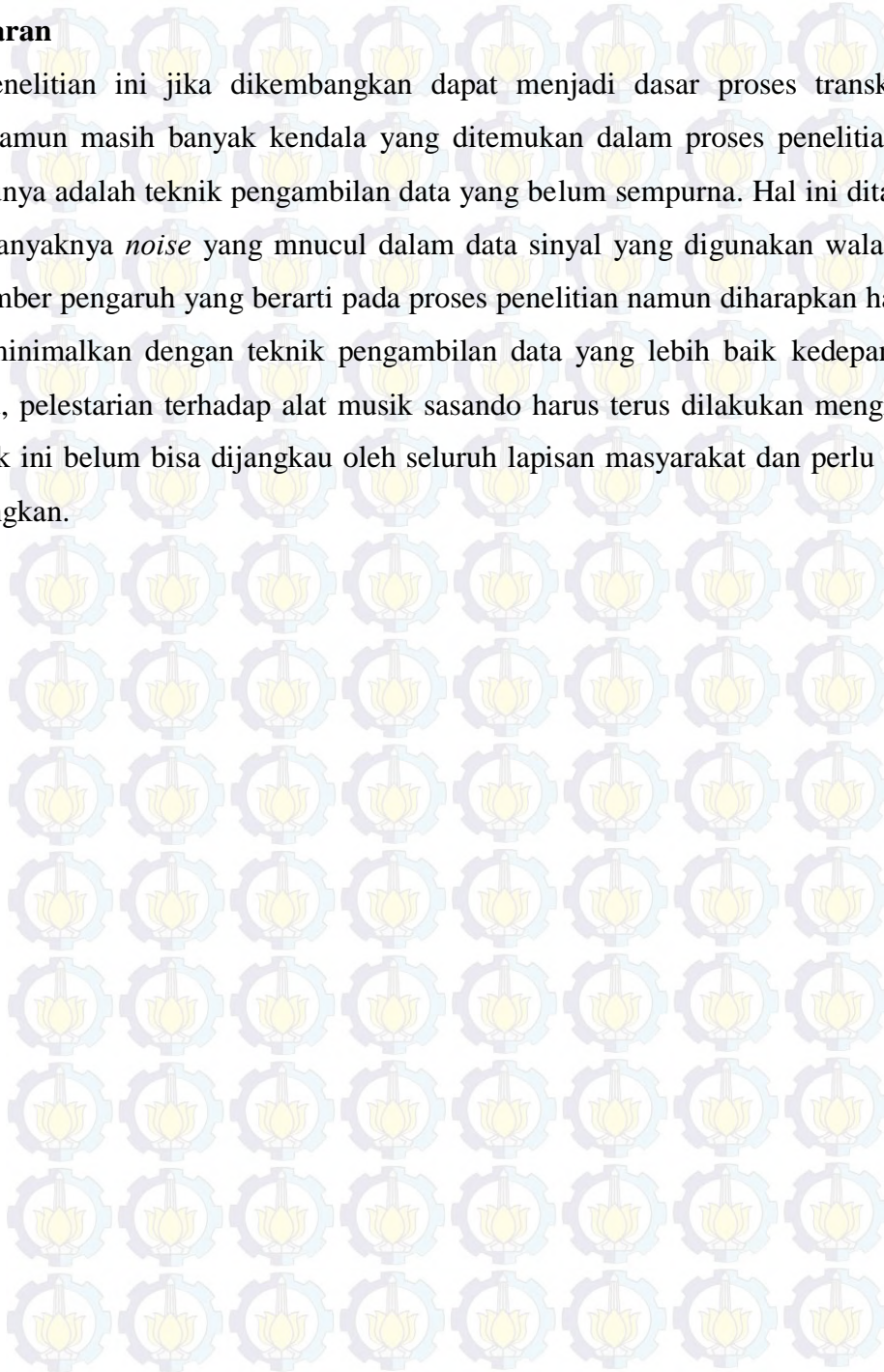
Dari percobaan yang dilakukan dengan membandingkan berbagai jenis *chord* menggunakan metode *cross-correlation* pada berbagai jenis skenario, maka dapat disimpulkan:

1. Terdapat karakteristik pola yang muncul dari hasil perbandingan *chord* menggunakan *cross-correlation* yang dapat dilihat dari besaran nilai amplitudo maupun bentuk sinyal yang dihasilkan. Berdasarkan karakteristik tersebut dapat disimpulkan bahwa:
 - a. Sinyal hasil proses *autocorrelation* memiliki nilai amplitudo terbesar, hal ini disebabkan karena sinyal yang saling dibandingkan memiliki komponen penyusun yang sama. Selain itu, bentuk sinyal hasil *autocorrelation* pada umumnya memiliki bentuk simetris. Hal ini dikarenakan ciri dari sinyal hasil *autocorrelation* yang memiliki energi maksimum pada saat kedua sinyal yang dibandingkan tepat saling bertindihan yaitu pada saat nilai dari variabel l (*delay*) pada sinyal uji $= 0$.
 - b. Semakin banyak tingkat kecocokkan dari komponen penyusun antar sinyal yang dibandingkan maka semakin besar nilai amplitudo dari sinyal hasil *cross-correlation*.
2. Nilai ambang batas (*threshold*) pada perbandingan antar *chord* sejenis (memiliki 3 nada yang sama) berada antara 6900-7600. Pada wilayah nada tersebut maka *chord* uji akan dikenali sebagai *chord* referensi.
3. Metode *correlation* dapat digunakan dalam proses pencocokkan sinyal baik *monophonic* maupun *polyphonic* karena adanya keunikan karakteristik dari sinyal hasil *correlation* tersebut.
4. Bila dibandingkan dengan transformasi Fourier maka metode *cross-correlation* memiliki tingkat akurasi yang lebih rendah dikarenakan dipengaruhi oleh penjumlahan dari perkalian energi antar sinyal. Pada spektogram yang diolah

menggunakan transformasi Fourier dapat terlihat dengan jelas komponen penyusun dari sinyal *polyphonic* berupa *chord* sasando.

5.2. Saran

Penelitian ini jika dikembangkan dapat menjadi dasar proses transkripsi musik. Namun masih banyak kendala yang ditemukan dalam proses penelitian ini salah satunya adalah teknik pengambilan data yang belum sempurna. Hal ini ditandai dengan banyaknya *noise* yang muncul dalam data sinyal yang digunakan walaupun tidak member pengaruh yang berarti pada proses penelitian namun diharapkan hal ini dapat diminimalkan dengan teknik pengambilan data yang lebih baik kedepannya. Selain itu, pelestarian terhadap alat musik sasando harus terus dilakukan mengingat alat musik ini belum bisa dijangkau oleh seluruh lapisan masyarakat dan perlu terus dikembangkan.

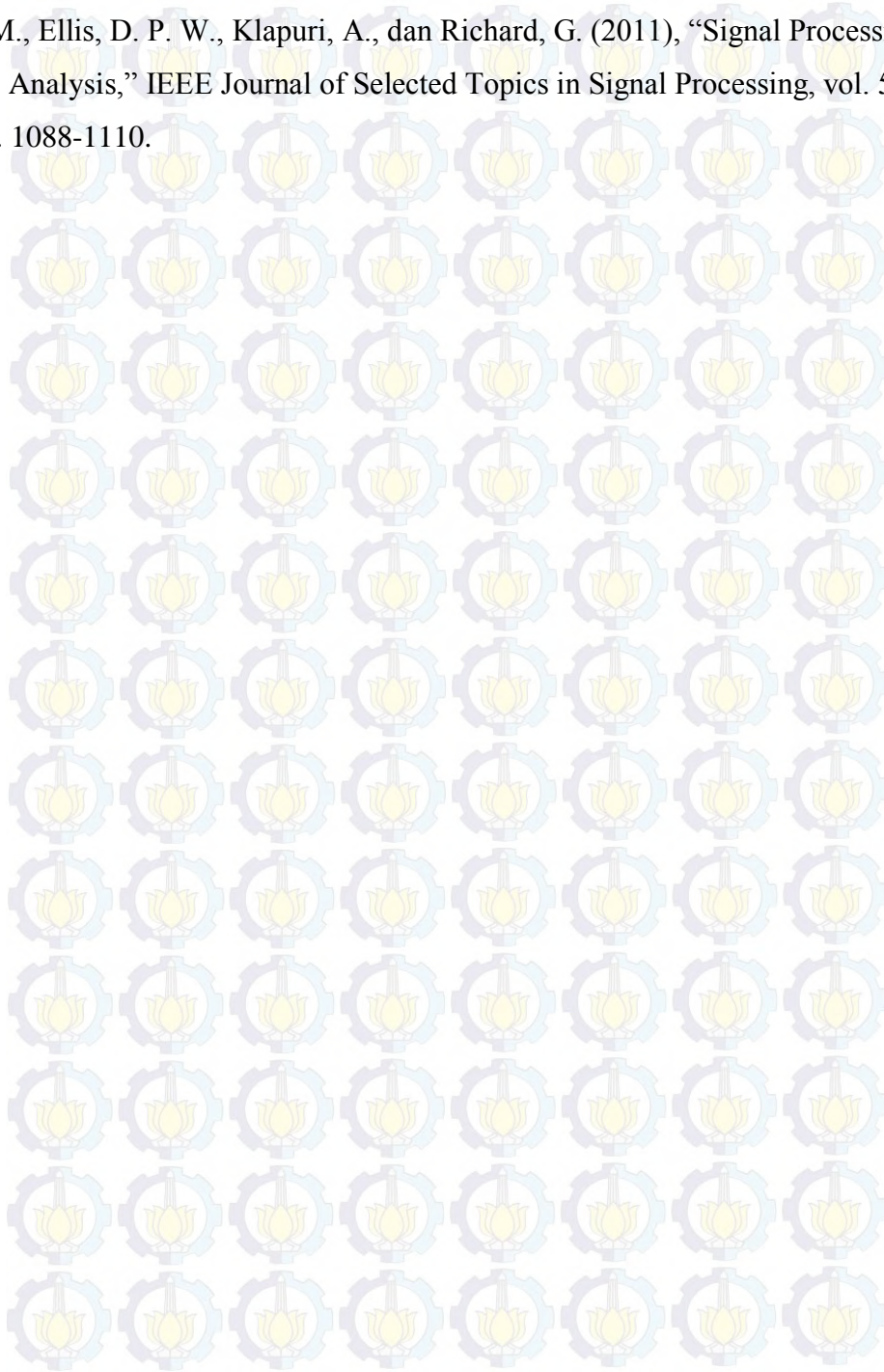


DAFTAR PUSTAKA

- 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.
- Haning, P.A. "Sasandu: Alat Musik Tradisional," CV.Kairos, ISBN-978-979-1443-06-7, 2009
- Park, H.T., "Introduction to Digital Signal Processing Computer Musically Speaking," World Scientific, Tulane University, ISBN-13 978-981-279-027-9, 2010.
- Madisetu, V.K., "The Digital Signal Processing Handbook-Video, Speech and Audio Signal Processing and Associated Standards, second edition," CRC Press, ISBN 978-1-4200-4608-3, 2010.
- Vaseghi, S.V., "Multimedia Signal Processing, Theory and application in speech, Music and Communication," Wiley, Brunel University-UK, ISBN 978-0-470-06201-2, 2007.
- Orfanidis, S.J., "Introduction to Signal Processing," Rutgers University, 2010.
- Smith, S.W., "The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing," California Technical Publishing, ISBN-0-9660176-6-8, 1999.
- Mallat, Stephane, "A Wavelet Tour of Signal Processing," Academic Press, ISBN 13 978-0-12-374370-1, 2009.
- Vass, J., Ofir, H., "Automatic Transcription of Monophonic Audio to MIDI," The International Society of Music Information Retrieval, 2000.
- Y.K. Suprpto, M. Hariadi, M.H. Purnomo. "Traditional music sound extraction based on spectral density model using adaptive cross-correlation for automatic transcription". IAENG International Journal of Computer Science. 2011; 38(2)
- Bello, J.P., Monti, G. and Mark Sandler. "Techniques for Automatic Music Transcription". The International Society of Music Information Retrieval, 2000.
- Paiement, J.F., Eck, D. and Samy Bengio. "A Probabilistic Model for Chord Progressions". The International Society of Music Information Retrieval, 2000.

Y.K.Suprpto,V.E.Pradhana. “High Performance Gamelan Analyzer Using Adaptive Waveform Pattern Matching”. Journal of Theoretical and Applied Information Technology, 2015.

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.



BIOGRAFI PENULIS



Louis Ferdinand Boesday lahir pada tanggal 28 April 1990 di Kupang, Nusa Tenggara-Timur (NTT). Penulis merupakan anak bungsu dari tiga bersaudara. Penulis menamatkan studi (S1) di Jurusan Teknik Elektro Universitas Kristen Petra, dengan judul Tugas Akhir “Aplikasi *Mobile Chat* berbasis Android”. Pada tahun 2013 penulis melanjutkan studi S2 di Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS). Tesis ini disusun sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Magister Teknik untuk periode wisuda Maret 2016. Berkaitan dengan penelitian tesis ini, penulis bisa dihubungi melalui alamat louisferdinand28@gmail.com.