



TESIS – TE142599

**DETEKSI DAN ANALISIS GELOMBANG
ALPHA PADA SINYAL EEG TERHADAP
RANGSANG SUARA MUSIK MENGGUNAKAN
TRANSFORMASI *WAVELET***

FERA PUTRI AYU LESTARI
07111450050009

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. Mauridhi Hery Purnomo, M.Eng, Ph.D.
Prof. Dr. Ir. Yoyon Kusnendar Suprpto, M.Sc.

PROGRAM MAGISTER

BIDANG KEAHLIAN JARINGAN CERDAS MULTIMEDIA
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI ELEKTRO
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018





TESIS – TE142599

**DETEKSI DAN ANALISIS GELOMBANG
ALPHA PADA SINYAL EEG TERHADAP
RANGSANG SUARA MUSIK MENGGUNAKAN
TRANSFORMASI WAVELET**

FERA PUTRI AYU LESTARI
07111450050009

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. Mauridhi Hery Purnomo, M.Eng, Ph.D.
Prof. Dr. Ir. Yoyon Kusnendar Suprpto, M.Sc.

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN JARINGAN CERDAS MULTIMEDIA
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI ELEKTRO
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018



LEMBAR PENGESAHAN

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (M.T)

di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

oleh:

Fera Putri Ayu Lestari

NRP. 07111450050009

Tanggal Ujian : 19 Desember 2017

Periode Wisuda : Maret 2018

Disetujui oleh:

1. Prof. Ir. Mauridhi Hery Purnomo, M.Eng., Ph.D. (Pembimbing I)
NIP: 195809161986011001

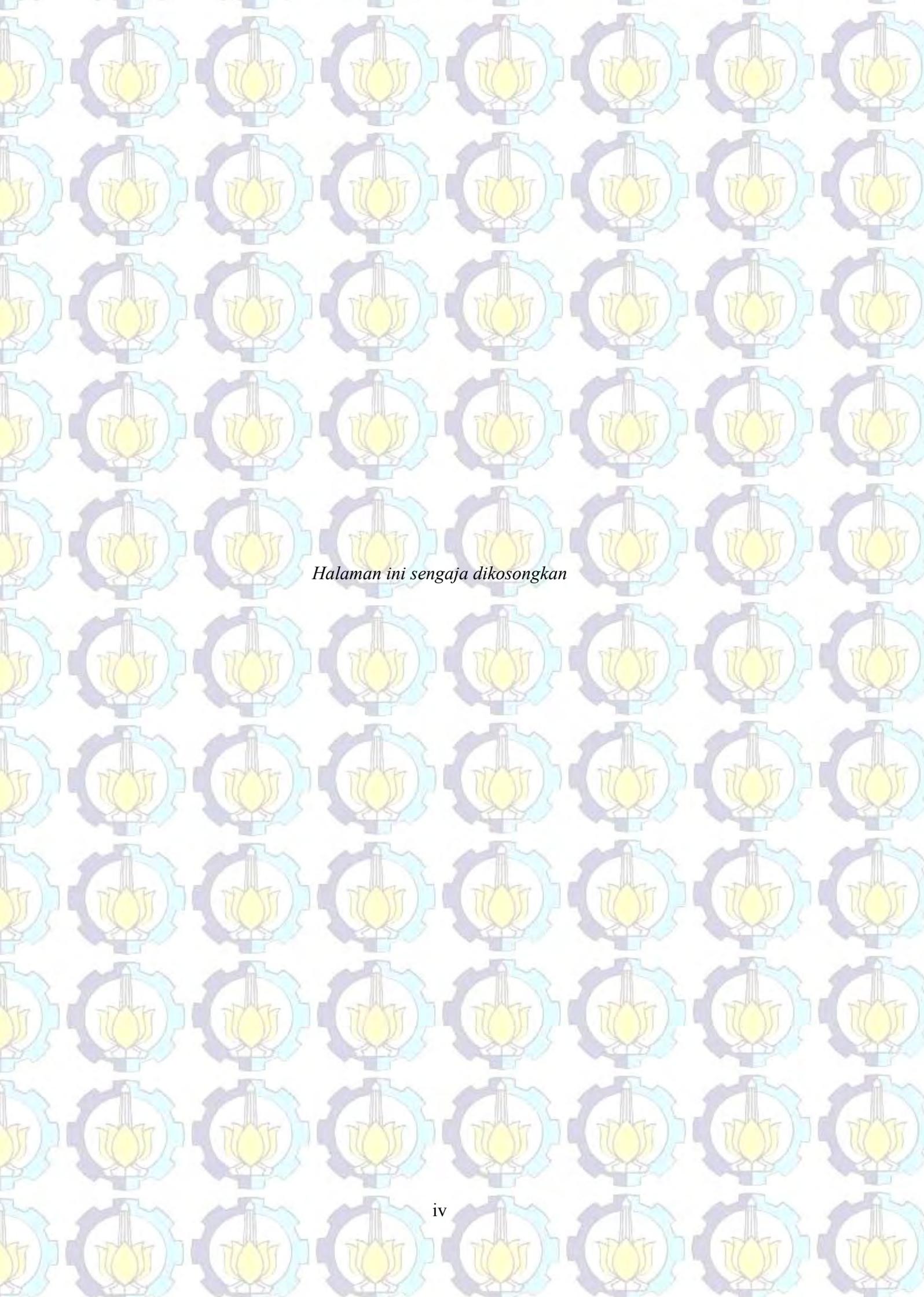
2. Prof. Dr. Ir. Yoyon Kusnendar Suprpto, M.Sc. (Pembimbing II)
NIP: 195409251978031001

3. Dr. Eko Mulyanto Yuniarno, S.T., M.T. (Penguji)
NIP: 196806011995121009

4. Mochamad Hariadi, S.T., M.Sc., Ph.D. (Penguji)
NIP: 196912091997031002

Dekan Fakultas Teknologi Elektro

Dr. Tri Arief Sardjono, S.T., M.T.
NIP. 197002121995121001



Halaman ini sengaja dikosongkan

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi keseluruhan Tesis saya dengan judul **“DETEKSI DAN ANALISIS GELOMBANG ALPHA PADA SINYAL EEG TERHADAP RANGSANG SUARA MUSIK MENGGUNAKAN TRANSFORMASI WAVELET”** adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Januari 2018

Fera Putri Ayu Lestari
NRP. 07111450050009



Halaman ini sengaja dikosongkan

DETEKSI DAN ANALISIS GELOMBANG ALPHA PADA SINYAL EEG TERHADAP RANGSANG SUARA MUSIK MENGGUNAKAN TRANSFORMASI WAVELET

Nama mahasiswa : Fera Putri Ayu Lestari
NRP : 07111450050009
Pembimbing : 1. Prof. Ir. Mauridhi Hery Purnomo, M.Eng, Ph.D.
2. Prof. Dr. Ir. Yoyon Kusnendar Suprpto, M.Sc.

ABSTRAK

Pada penelitian ini dilakukan deteksi dan analisis gelombang alpha pada sinyal EEG. Gelombang alpha dipilih sebagai indikator kondisi relaks secara umum. Suara musik sering kali digunakan untuk membantu menimbulkan suasana relaks. Penelitian ini dimaksudkan untuk meneliti hubungan antara suara musik dengan kemunculan gelombang alpha pada sinyal EEG.

Proses deteksi dilakukan menggunakan transformasi *wavelet* kontinu yang dapat menampilkan domain frekuensi dan waktu data tanpa menghilangkan informasi yang dibutuhkan serta dapat mengurangi aspek non-stationer pada sinyal EEG. Proses analisis selanjutnya dilakukan dengan menganalisa hasil koefisien *wavelet* pada tiap-tiap frekuensi alpha (8-13 Hz). Analisa yang dilakukan adalah analisa amplitudo dan fase gelombang. Gelombang alpha sebagai indikator kondisi relaks adalah gelombang dengan amplitudo/energy tinggi dan fase gelombang yang panjang.

Data sinyal EEG dalam penelitian ini didapatkan dari hasil rekam 10 naracoba yang dipilih secara bebas. Suara musik yang diujicobakan berasal dari musik pilihan naracoba yang mereka anggap menenangkan. Proses perekaman dilakukan dengan tiga pembagian, yaitu: 15 detik sebelum musik diperdengarkan, 2-4 menit selama musik diperdengarkan, dan 15 detik setelah musik selesai diperdengarkan. Setiap naracoba dilakukan perekaman sebanyak 2 hingga 4 kali dengan 2 suara musik yang berbeda untuk mendapatkan variasi data.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa gelombang alpha terdeteksi mengalami peningkatan saat mendengarkan musik sebesar 8,34%-15,1% dan mengalami penurunan intensitas setelah musik berhenti diperdengarkan sebesar 17,11%-18,61%. Gelombang alpha indikator relaks lebih banyak dijumpai saat musik diperdengarkan. Hal ini selaras dengan beberapa penelitian pendahulu. Mendengarkan suara musik pilihan dapat membantu 80% subjek memasuki fase relaksasi dengan ditunjukkan oleh peningkatan intensitas gelombang alpha saat mendengarkan musik.

Kata kunci: gelombang alpha, sinyal EEG, transformasi *wavelet* kontinu.



Halaman ini sengaja dikosongkan

DETECTION AND ANALYSIS OF ALPHA WAVE ON EEG SIGNAL TOWARDS MUSIC SOUNDS USING WAVELET TRANSFORM

By : Fera Putri Ayu Lestari
Student Identity Number : 07111450050009
Supervisor(s) : 1. Prof. Ir. Mauridhi Hery Purnomo, M.Eng, Ph.D.
2. Prof Dr. Ir.Yoyon Kusnendar Suprpto, M.Sc.

ABSTRACT

This research do detection and analysis of alpha waves on EEG signals. Alpha waves have choose as an indication of relaxation state as general. Sound of music sometimes used as source to help us achieve the relaxed state. This research are purposed to find relation between music sound and the appearing of alpha waves on EEG signals.

The detection process is performed using a continuous wavelet transform that can display the frequency domain and time data without losing the required information and can reduce the non-stationary aspects of the EEG signal. The next process of analysis is done by analyzing the results of wavelet coefficients at each alpha frequency (8-13 Hz). The analysis performed is amplitude and wave phase analysis. Alpha waves as an indicator of relaxed conditions are waves with high amplitude / energy and long wave phases.

The data of EEG signal on this research are collected from 10 respondents. The music sounds of this research are came from the respondent choice which can make they feel comfortable. The recording process are do at three parts: 15 seconds before listening the music sound, 2-4 minutes during listening the music sound, and 15 seconds after listening the music sound. Every respondent do the recording session 2 till 4 times with two different music sound, so the variation of the data can be achieve.

The results showed that alpha waves were increased when listening to music by 8.34% -15.1% and decreased after the music stop played by 17.11% -18.61%. Alpha relaxation indicators are more common when music is played. This is consistent with some predecessor studies. Listening to selected music sounds can help 80% of subjects enter the relaxation phase by being shown by increased intensity of alpha waves while listening to music.

Keywords: alpha waves, EEG signals, continuous wavelet transform.



Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah dipanjatkan kepada Allah SWT, berkat rahmat dan karunia-Nya tesis ini dapat diselesaikan. Berbagai suka dan duka telah dilalui untuk dapat menyelesaikan tesis ini, penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang tak terhingga kepada semua pihak, yang dengan ikhlas telah membantu dalam menyelesaikan tesis ini. Secara khusus penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang tulus kepada :

1. Prof. Ir. Mauridhi Hery Purnomo, M.Eng, Ph.D dan Prof. Dr. Ir. Yoyon Kusnendar Suprpto, M.Sc. selaku dosen pembimbing yang telah dengan sabar mengarahkan, memberi koreksi, dan memotivasi dalam pengerjaan tesis ini.
2. Bapak Dr. Eko Mulyanto Yuniarno, S.T, M.T., selaku dosen wali dan koordinator bidang keahlian Jaringan Cerdas Multimedia Program Studi Teknik Elektro atas saran, izin dan motivasinya selama ini.
3. Para dosen penguji yang telah memberikan saran dan kritik dalam tesis ini.
4. Bapak/Ibu dosen pengajar di Program Studi Teknik Elektro, bidang keahlian Jaringan Cerdas Multimedia.
5. Keluarga besar dan suami tercinta, Fery Pratama Putra beserta mertua atas motivasi dan doa-doanya yang selalu menyertai dalam setiap langkah.
6. Semua rekan-rekan mahasiswa S2 Teknik Elektro bidang keahlian Jaringan Cerdas Multimedia, Gametech, Telematika, dan CIO atas diskusi, dukungan, semangat, dan doa, khususnya Amalia Chairy, Vika, Afif, Mbak Putri, Mbak Alfi, Mas Andik, Mas Gio.
7. Teman-teman di Lab Visi computer yang telah membantu dan mengizinkan penulis bergabung dalam Lab Visi computer untuk menyelesaikan Tesis ini: Joko, Wega, pak yose, pak made, bu yuhana, bu tita, bu Rika.
8. Semua pihak yang telah banyak membantu proses penyelesaian tesis ini, yang mana tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Akhirnya dengan segala kerendahan hati penulis menyadari bahwa tesis ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu masukan, saran dan kritik untuk perbaikan



sangat diharapkan oleh penulis. Dan selanjutnya, semoga penelitian dalam tesis ini bermanfaat bagi semua pihak yang membutuhkan.

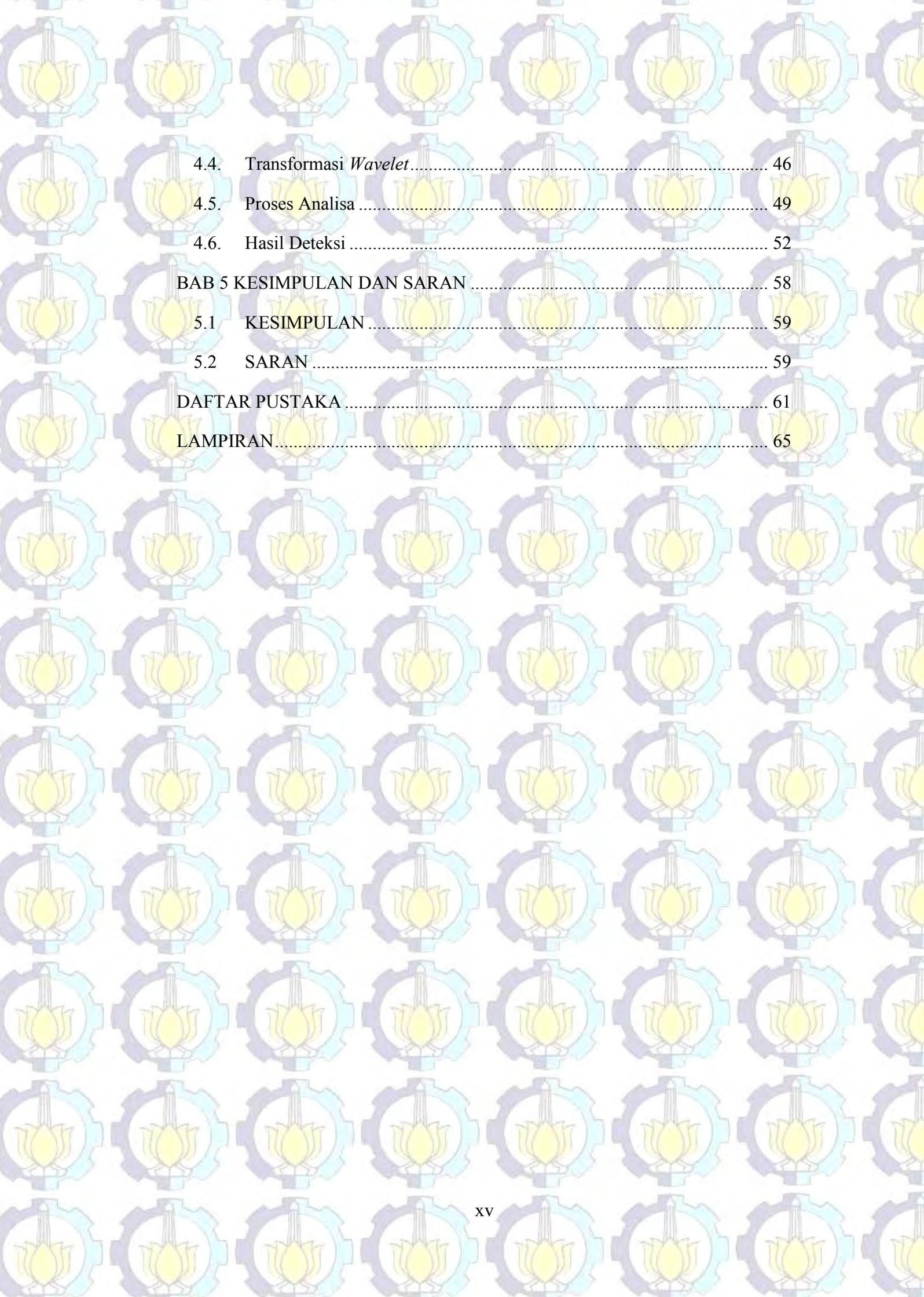
Surabaya, 12 Januari 2018

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR TABEL	xix
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Sistematika Penulisan	3
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA	5
2.1 State of The Art	5
2.2 Otak Manusia	5
2.3 <i>Electroencephalogram (EEG)</i>	8
2.4 Gelombang Otak dan Karakteristiknya	10
2.4.1 <i>Delta Waves</i>	12
2.4.2 <i>Theta Waves</i>	12
2.4.3 <i>Alpha Waves</i>	13
2.4.4 <i>Beta Waves</i>	13

2.4.5	<i>Gamma Waves</i>	14
2.5	Suara Musik	14
2.6	Pengolahan Sinyal Digital.....	15
2.6.1	Pengertian Sinyal.....	15
2.6.2	Klasifikasi sinyal.....	16
2.6.3	Domain Sinyal.....	18
2.6.4	Analisis Spektrum.....	20
2.7	<i>Wavelet</i>	23
2.7.1	Transformasi <i>wavelet</i>	24
2.7.2	<i>Continuous Wavelet Transform (CWT)</i>	26
2.7.3	<i>Discrete Wavelet Transform (DWT)</i>	27
2.7.4	<i>Wavelet Morlet</i>	29
2.8	<i>Filter Digital</i>	29
2.8.1	<i>Filter IIR (Infinite Impulse Response) Butterworth</i>	30
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN		35
3.1	Persiapan Pra-Penelitian	36
3.2	Desain Metode Penelitian	36
3.2.1.	Musik Stimuli	36
3.2.2.	Perekaman Sinyal	37
3.2.3.	<i>Band-pass Filtering</i>	38
3.2.4.	Transformasi <i>Wavelet</i>	39
3.2.5.	Analisa	42
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN		43
4.1	Persiapan Pra Penelitian.....	43
4.2	Perekaman Sinyal.....	43
4.3	<i>Band-pass Filtering</i>	45



4.4.	Transformasi <i>Wavelet</i>	46
4.5.	Proses Analisa	49
4.6.	Hasil Deteksi	52
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN		58
5.1	KESIMPULAN	59
5.2	SARAN	59
DAFTAR PUSTAKA		61
LAMPIRAN.....		65



Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1. Diagram Tulang Ikan	1
Gambar 2. 2. 10-20 electrode placement International standard [13].....	8
Gambar 2. 3. Gelombang Otak [13].....	10
Gambar 2. 4. Sinyal EEG 4 kanal 1 dimensi [21].....	16
Gambar 2. 5. (a) sinyal waktu kontinyu dan (b) sinyal waktu diskrit [22]	17
Gambar 2. 6. Sinyal digital (atas) dan sinyal analog (bawah)	17
Gambar 2. 7. (a) Sinyal periodik dan (b) sinyal non periodik [22].....	18
Gambar 2. 8. Sinyal sinus dalam domain waktu (atas) dan domain frekuensi (bawah)	19
Gambar 2. 9. Analisis FFT	21
Gambar 2. 10. Analisa dengan STFT.....	23
Gambar 2. 11.(a) Gelombang (wave), (b) wavelet [20].....	23
Gambar 2. 12. Perbandingan beberapa teknik analiis sinyal	25
Gambar 2. 13. Keluarga wavelet: (a) Haar, (b) Daubechies, (c) Coiflet, (d) Symlet, (e) Meyer, (f) Morlet, (g)Mexican Hat. Dengan sumbu x adalah waktu t dan sumbu y adalah $\psi(t)$	26
Gambar 2. 14. Dekomposisi Wavelet tiga tingkat	28
Gambar 2. 15. Contoh respon frekuensi filter IIR (atas) dan FIR (bawah) [21]...	30
Gambar 2. 16. Respon frekuensi lowpass filter tipe Butterworth [21]	32
Gambar 2. 17. Respon frekuensi lowpass filter tipe Butterworth [21]	32
Gambar 2. 18. Respon frekuensi lowpass filter tipe Butterworth [21].....	33
Gambar 3. 1. Blok Diagram Penelitian.....	35
Gambar 3. 2. Perekaman sinyal EEG menggunakan Emotiv Epoch maupun Enobio	37
Gambar 3. 3. Bandpass filter respons	38
Gambar 3. 4. Order filter butterworth.....	39
Gambar 3. 5. Langkah awal transformasi wavelet.....	40
Gambar 3. 6. Proses translasi wavelet	40
Gambar 3. 7. Penskalaan/stretched wavelet.....	41
Gambar 3. 8. Diagram waktu-skala koefisien wavelet (C).....	41

Gambar 4. 1. Proses perekaman naracoba	44
Gambar 4. 2. Sinyal EEG hasil perekaman pada channel O1 dan O2	44
Gambar 4. 3. Sinyal EEG hasil filtering pada channel O1 dan O2	46
Gambar 4. 4. Hasil CWT terhadap sinyal asli	47
Gambar 4. 5. Hasil CWT terhadap sinyal yang telah di-filter	47
Gambar 4. 6. Hasil koefisien wavelet pada skala 5 (frekuensi 12Hz), 12 (frekuensi 10Hz), dan 22 (frekuensi 8Hz)	49
Gambar 4. 7. Sinyal absolut	50
Gambar 4. 8. Thresholding sinyal	50
Gambar 4. 9. Sinyal onset dan offset gelombang alpha selama 30 detik pertama pada subjek 1	52
Gambar 4. 10. Diagram Hasil deteksi kehadiran gelombang alpha subjek 1-5 channel O1	55
Gambar 4. 11. Diagram Hasil deteksi kehadiran gelombang alpha subjek 6-10 channel O1	55
Gambar 4. 12. Diagram Hasil deteksi kehadiran gelombang alpha subjek 1-5 channel O2	56
Gambar 4. 13. Diagram Hasil deteksi kehadiran gelombang alpha subjek 1-5 channel O1	56

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1. Perbandingan lima gelombang otak [17].....	11
Tabel 2. 2. Transfer Function filter prototype tipe Butterworth [21].....	33
Tabel 2. 3. Transformasi Frekuensi pada filter analog [21].....	34
Tabel 4. 1. Korelasi antara skala koefisien wavelet dan frekuensi dengan frekuensi sampling 500Hz	48
Tabel 4. 2. Korelasi antara skala koefisien wavelet dan frekuensi gelombang alpha dengan frekuensi sampling 500Hz	48
Tabel 4. 3. Hasil analisa onset dan offset gelombang alpha selama 30 detik pertama pada subjek 1	51
Tabel 4. 4. Hasil deteksi kehadiran gelombang alpha pada channel O1.....	53
Tabel 4. 5. Hasil deteksi kehadiran gelombang alpha pada channel O2.....	54



Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Gelombang alpha pada sinyal EEG telah diketahui merupakan indikasi kondisi relaksasi [1, 2]. Relaksasi merupakan suatu proses yang membebaskan mental dan fisik dari segala macam faktor yang menyebabkan adanya ketegangan dengan menggunakan berbagai macam teknik. Sederhananya menurut Richard relaksasi berarti membuat seluruh tubuh menjadi tenang dan tentram [3]. Salah satu hal yang dapat membantu menciptakan kondisi yang tenang dan tentram adalah alunan musik. Dengan mendengarkan musik untuk relaksasi, dapat membantu tubuh menjadi relaks, nyaman, tenang, bahkan menyeimbangkan detak jantung dan metabolisme tubuh. Dimana kondisi tersebut sangat baik dan sesuai untuk terapi penyembuhan.

Perkembangan musik saat ini melahirkan berbagai jenis dan genre yang bervariasi. Yang dapat dimanfaatkan untuk merubah mood atau emosi. Dimana setiap individu memberikan respon yang berbeda terhadap berbagai suara musik. Namun hal itu tidak menutup kemungkinan, bahkan membuka peluang, bahwa musik jenis tertentu bisa dimanfaatkan sebagai musik relaksasi bagi individu tertentu.

Tentunya tidak semua jenis musik dapat digunakan sebagai musik relaksasi. Musik relaksasi merupakan musik yang sederhana, menenangkan dan mempunyai tempo teratur yang dapat digunakan sebagai salah satu cara untuk mengatasi stres dan menimbulkan kondisi rileks pada seseorang [4]. Hanya musik dengan tempo rendah dan stabil (teratur) yang dapat membantu tubuh untuk relaks. Karena musik dengan tempo sedang hingga cepat cenderung meningkatkan emosional, detak jantung, dan semangat [5]. Hal ini saja masih belum cukup untuk menentukan atau menemukan musik relaksasi yang sesuai bagi seseorang.

Tantangan yang muncul selanjutnya adalah bagaimana mengetahui suatu musik cocok untuk relaksasi seseorang atau tidak. Dimana parameter untuk mengetahui kondisi relaks seseorang hingga saat ini masih terlalu abstrak jika dipandang dari sisi fisiologis. Dalam penelitian ini akan dilakukan proses deteksi dan analisa gelombang alpha pada sinyal EEG (*electroencephalography*) terhadap rangsang suara musik.

EEG merupakan perekaman sinyal elektrostatis pada otak manusia dengan menggunakan elektroda yang diletakkan di kulit kepala. EEG mampu menggambarkan aktifitas otak secara real time. Teknologi ini cukup membantu untuk memonitor kondisi fisiologis seseorang.

1.2 Rumusan Masalah

Kondisi relaksasi yang dibangun dengan memperdengarkan berbagai jenis suara dan dianalisa menggunakan EEG telah cukup banyak diteliti sebelumnya [1, 2, 6]. Jenis musik klasik, alami, hingga musik relaksasi tertentu telah digunakan dalam penelitian. Sebagian besar penelitian memberikan kesimpulan yang sama, bahwa kondisi relaksasi diindikasikan oleh adanya peningkatan gelombang alpha pada sinyal EEG [1, 2]. Meski ada beberapa yang menyebutkan adanya peningkatan gelombang theta yang mengiringi gelombang alpha pada kondisi yang mengindikasikan relaksasi [6].

Berbagai penelitian sebelumnya memanfaatkan suara-suara tertentu dan khusus untuk meneliti kemunculan gelombang alpha dan sekitarnya (beta dan theta). Sehingga pada penelitian kali ini penulis mencoba melakukan deteksi dan analisis gelombang alpha (secara khusus) pada sinyal EEG terhadap rangsang suara musik bebas sesuai pilihan naracoba dengan menggunakan transformasi *wavelet*.

1.3 Batasan Masalah

Demi kelancaran dan mengurangi berbagai kemungkinan kekeliruan dalam penelitian ini, maka penelitian dilakukan dalam beberapa kondisi yang telah

ditentukan. Pertama, naracoba dalam penelitian ini dipilih secara bebas tanpa memperhatikan background keilmuan. Dimana sebelum proses perekaman data, para naracoba diberi pengarahan terlebih dahulu. Kedua, suara musik yang digunakan bervariasi berdasarkan pilihan naracoba (musik yang paling digemari). Ketiga, proses perekaman data dilakukan pada ruang tertutup agar tidak terpengaruh interferensi dari luar. Naracoba juga dikondisikan dalam posisi yang paling nyaman dengan mata tertutup. Terakhir, tidak melakukan pembahasan detail terkait musik.

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa dan mendeteksi kehadiran gelombang alpha pada sinyal EEG sebagai indikator kondisi relaks yang dirangsang dengan suara musik.

1.5 Sistematika Penulisan

Untuk memudahkan pembacaan dan pemahaman buku tesis ini maka diberikan sistematika penulisan sebagai berikut:

BAB I : PENDAHULUAN

Sebagai pengantar, Bab ini memberikan deskripsi secara singkat latar belakang penelitian, rumusan masalah, batasan masalah dan tujuan yang menjadi sasaran penelitian.

BAB II : KAJIAN PUSTAKA

Bab ini berisi penjelasan kajian pustaka dan dasar teori yang berkaitan tentang penelitian. Diawali dari *State of The Art*, musik relaksasi, otak manusia, EEG, gelombang otak dan karakteristiknya, serta metode yang akan digunakan baik yang bersumber dari publikasi ilmiah maupun buku yang berkaitan dengan materi penelitian ini.

BAB III : METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisi uraian mengenai metodologi penelitian yang digunakan dalam melakukan kegiatan penelitian. Alur secara garis besar dan pemetaan capaian yang diinginkan berikut aspek evaluasinya dijabarkan pada bab ini.

BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menjelaskan proses deteksi gelombang alpha pada sinyal EEG terhadap rangsang suara musik menggunakan transformasi wavelet kontinyu. Yang selanjutnya dianalisis secara subject independent untuk dapat mengetahui efek suara musik pilihan naracoba terhadap kemunculan gelombang alpha pada sinyal EEG.

BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan dari hasil analisa dan proses deteksi serta saran untuk pengembangan dan perbaikan penelitian selanjutnya.

BAB 2 KAJIAN PUSTAKA

2.1 State of The Art

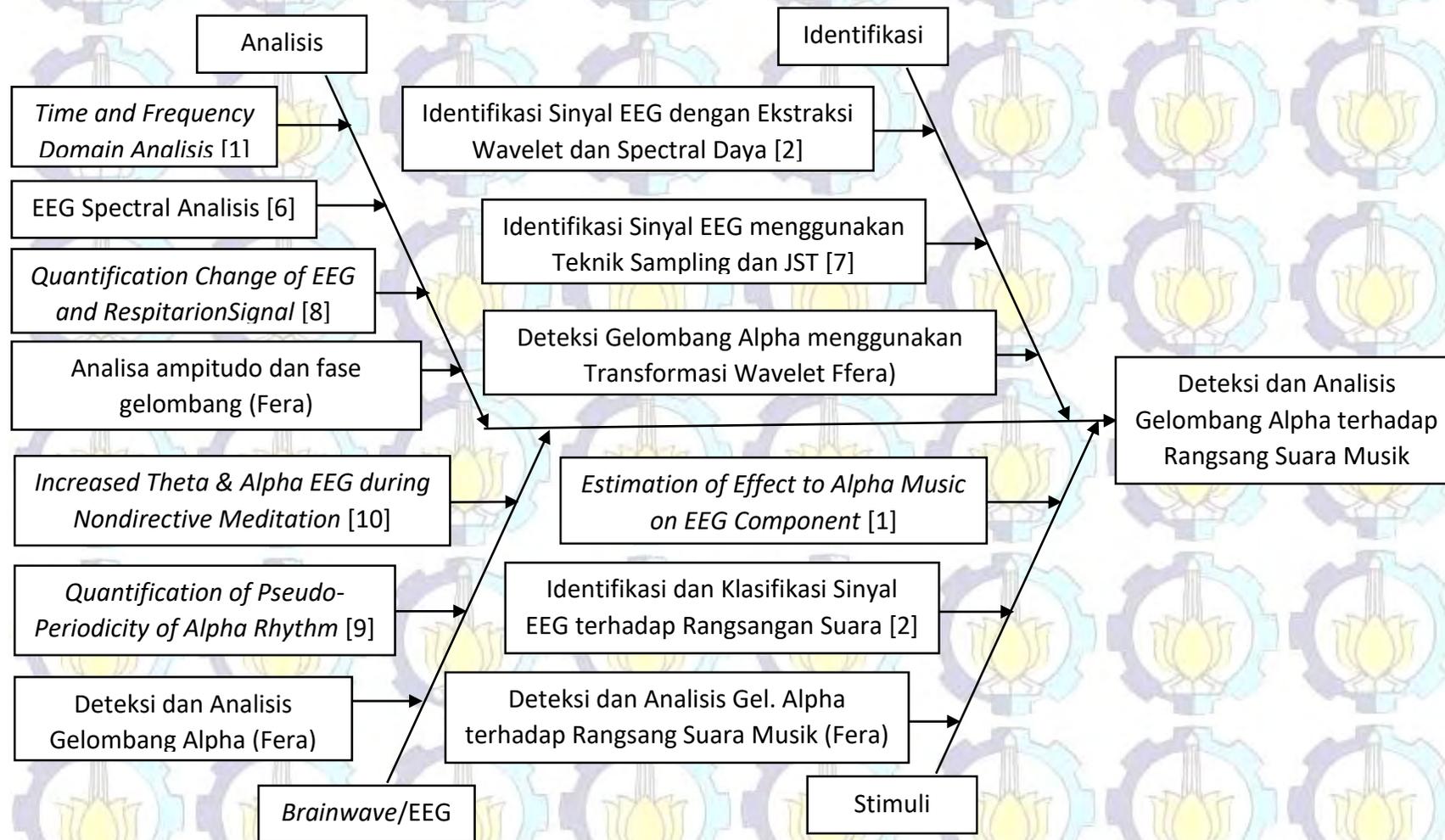
Penelitian terkait proses deteksi dan analisis sinyal EEG terhadap rangsang suara telah beberapa kali dilakukan dengan berbagai metode dan pendekatan yang berbeda-beda. Beberapa penelitian selama 1 dekade (10 tahun) silam penulis rangkum dalam bagan tulang ikan (*fishbone diagram*) seperti pada gambar 2.1.

Dalam penelitian ini, terdapat empat bagian utama sebagai ranah penelitian, antara lain: proses deteksi, analisis, sinyal EEG/*brainwave*, dan stimulus yang digunakan untuk memancing kemunculan gelombang tertentu. Pada dua penelitian sebelumnya [2, 7], proses deteksi sinyal EEG dilakukan dengan kombinasi metode yang berbeda.

Beberapa metode analisis pun telah dilakukan, antara lain: analisis domain waktu dan frekuensi [1], *spectral analysis* [6], dan analisa kuantitatif [8]. Adapun sinyal EEG yang diteliti, selain gelombang alpha secara spesifik [9], gelombang theta juga digunakan sebagai bahan pertimbangan analisa [10]. Selanjutnya untuk jenis stimulus sama-sama menggunakan musik. Namun penelitian [1] menggunakan musik jenis khusus (musik alpha) dalam penelitiannya. Sedangkan djamal [2] menggunakan suara musik tertentu (*single/duo instrument*) dan suara alam.

2.2 Otak Manusia

Otak manusia tidak sama seperti sebuah komputer yang memiliki sebuah prosesor sentral gabungan. Namun, otak manusia merupakan gabungan yang kompleks dari beberapa sub-sistem yang masing-masing memiliki kemampuan super yang spesial dan spesifik. Berdasarkan berbagai penelitian, otak manusia dapat dipetakan menjadi beberapa bagian dengan fungsi kognitif yang berbeda-beda.



Gambar 2. 1. Diagram Tulang Ikan

Secara umum, otak manusia dapat dibagi menjadi 2 bagian, *cerebral cortex* dan *sub-cortical regions*. Bagian *sub-cortical* biasanya mengontrol hal-hal yang merupakan fungsi dasar dan vital seperti pernafasan, detak jantung, penjagaan suhu tubuh, emosi dan insting manusia. Sedangkan *cerebral cortex* merupakan bagian yang paling besar dan kompleks dalam otak manusia. *Cerebral cortex* mengolah fungsi-fungsi pemikiran yang lebih tinggi seperti berfikir nalar, melakukan perencanaan, pengolahan bahasa dan pola. Bagian inilah yang paling relevan dalam relasinya untuk pengukuran EEG.

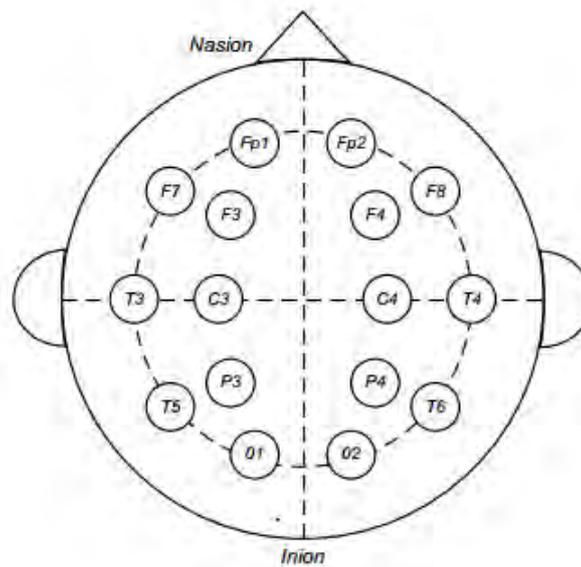
Cerebral cortex atau yang kita kenal sebagai otak besar secara umum dibagi lagi menjadi 2; otak kanan dan otak kiri. Otak kanan berperan dalam kontrol tubuh sebelah kiri serta pemikiran-pemikiran tekstual atau bahasa. Sebaliknya, otak kiri berperan dalam kontrol tubuh sebelah kanan serta pemikiran yang berhubungan dengan sesuatu yang lebih abstrak atau seni. Selain dua hal utama tersebut, sebenarnya masih banyak bagian-bagian otak yang bekerja untuk masing-masing fungsi yang lebih spesifik untuk mengingat, menghitung, menggerakkan anggota tubuh, memproses data visual, dan lain sebagainya. Namun pada faktanya, beberapa area di otak mampu memproses beberapa fungsi sekaligus dan banyak fungsi diolah di lebih dari satu area.

Otak manusia dibangun oleh triliunan *neuron*. Saat lahir, otak manusia tersusun dari kurang lebih 100 triliun (10¹¹) *neuron* dengan rata-rata 104 *neuron* per mm² [11]. Jumlah *neuron* akan bertambah sejalan dengan usia. *Neuron* memiliki sifat dan karakteristik yang sama dengan sel lain. Namun *neuron* memiliki kemampuan untuk mentransmisikan sinyal elektrik dan bertukar pesan dengan sel *neuron* lain untuk jarak yang jauh. Demikianlah cara kerja otak dalam menerima dan merespon setiap sinyal untuk mengorganisir seluruh bagian tubuh manusia.

Komunikasi antar *neuron* akan menghasilkan *brain electrical activity* yang mengandung beberapa ion [12]. Sinyal elektrik yang dihasilkan, terutama di daerah *cortex* dan mencapai lapisan luar kulit kepala manusia yang terekam sebagai EEG.

2.3 Electroencephalogram (EEG)

Electroencephalogram (EEG) didefinisikan sebagai aktifitas elektrik dari tipe alternatif oleh struktur otak dan direkam dari kulit kepala oleh elektroda metal dan media konduktif [11]. Perekaman sinyal pada kulit kepala bisa menggunakan piringan metal elektroda kecil maupun *bipolar linkage* dengan letak posisi yang spesifik pada kulit kepala. Posisi elektroda telah distandarkan pada tahun 1949 oleh *International Federation of Societies for Electroencephalography and Clinical Neurophysiology (IFSECN)* dengan mengadopsi system yang diutarakan oleh Jasper [13]. Yang mana kini dikenal umum dengan istilah *10-20 electrode placement International standard* seperti pada gambar 2.2.



Gambar 2. 2. *10-20 electrode placement International standard* [13]

Untuk mendapatkan sinyal yang stabil, maka lapisan kulit kepala luar harus bersih dari beberapa penghalang seperti keringat, minyak, produk-produk rambut, dan kulit yang mengering. Voltase yang ditentukan dalam mikrovolt harus direkam dengan hati-hati untuk menghindari interferensi kemudian didigitalisasi sehingga dapat disimpan dan ditampilkan di komputer.

Sinyal EEG memiliki beberapa properti yang dapat digunakan untuk membedakan fungsi otak dan kini dapat juga digunakan sebagai mekanisme

masukannya untuk kontrol maupun komunikasi. Property sinyal EEG untuk sistem BCI dapat dikategorikan menjadi:

a. *Rhythmic brain activity*

Rhythmic brain activity didasarkan pada range frekuensi: 0.1-3.5 Hz (*delta*, δ), 4-7.5 Hz (*theta*, θ), 8-13 Hz (*alpha*, α), 14-30 Hz (*beta*, β) dan >30 Hz (*gamma*, γ) [14]. Range frekuensi berasosiasi dengan ritme otak, terutama *beta* dan *gamma*, dapat dipecah menjadi sub-sub untuk mendeskripsikan proses otak yang lebih spesifik [15]. Ritme EEG manusia dipengaruhi oleh aksi berbeda, pemikiran dan stimulus.

b. *Event-related potentials (ERPs)*

Event-related potentials (ERPs) merupakan sinyal EEG yang timbul atas respon terhadap suatu event atau stimulus. Sinyal EEG dapat dengan mudah dideteksi karena sinyal akan muncul bersamaan dengan saat stimulus diberikan. Metode ERP cocok untuk mempelajari aspek proses kognitif yang normal maupun abnormal seperti gangguan neurologi atau psikiatri. ERP digunakan Birbaumer [16] pada sistem BCI yang mereka buat, *Thought Translation Device (TTD)*.

c. *Event-related desynchronization (ERD) dan event-related synchronization (ERS)*

ERD merupakan penurunan amplitudo dan ERS merupakan amplitudo yang menguat pada ritme sinyal EEG terkait. Untuk mengukur ERD dan ERS, kekuatan dari rentang frekuensi yang dipilih dihitung sebelum dan sesudah event diberikan dalam sekian kali percobaan. Nilai rata-rata dari sekian kali percobaan kemudian dihitung dalam prosentase relatif terhadap nilai interfal referensi. Nilai interfal referensi dapat berupa periode event yang menggambarkan ketidakaktifan atau waktu istirahat. ERS merupakan kenaikan nilai (dalam persen) dan ERD merupakan penurunan nilai secara relative terhadap interfal referensi yang didefinisikan dengan nilai 100%. ERD/ERS biasanya digunakan untuk memvisualisasikan kebiasaan fungsional otak.

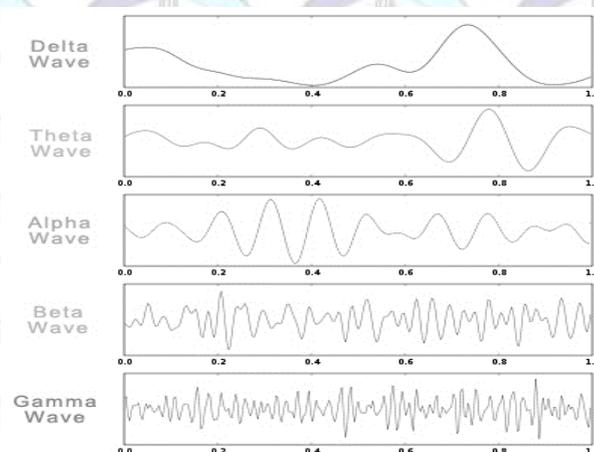
2.4 Gelombang Otak dan Karakteristiknya

Rentang frekuensi EEG normal rata-rata dari 0,1 Hz hingga 100 Hz, tetapi umumnya hanya antara 0,5 Hz hingga 70 Hz. Variasi dari sinyal EEG yang terkait dengan frekuensi dan amplitudo mempengaruhi diagnostik. Berdasarkan rentang frekuensinya, EEG dapat diklasifikasikan menjadi lima bagian untuk analisis EEG, yaitu: Delta (δ), Theta (θ), Alpha (α), Beta (β), dan Gamma (γ).

Kemunculan gelombang delta, theta, alpha, beta, dan gamma sangat dipengaruhi oleh kondisi fisik dan mental. Masing-masing gelombang menggambarkan jenis aktivitas dan kondisi yang berbeda-beda. Misalnya gelombang delta mengindikasikan bahwa seseorang sedang lelap tertidur, theta menggambarkan kondisi mengantuk, alpha adalah indikasi kondisi relaks dan tenang, beta terjadi saat kita berfikir, dan gamma menunjukkan adanya aktivitas yang lebih kompleks.

Hal diatas tidak lekas menggambarkan bahwa pada satu kondisi otak kita hanya menghasilkan satu jenis gelombang saja. Pada satu waktu dan kondisi, otak menghasilkan beberapa gelombang secara bersamaan. Hanya saja masing-masing gelombang muncul lebih dominan pada kondisi-kondisi tertentu seperti keterangan di atas. Hal ini dapat dilihat dan disimpulkan dari semua penelitian yang pernah dilakukan. Belum ada penelitian yang membuktikan bahwa pada satu kondisi otak hanya menghasilkan satu jenis gelombang saja.

Secara garis besar, perbandingan antar gelombang otak dapat dilihat pada gambar 2.3 dan table 2.1.



Gambar 2.3. Gelombang Otak [13]

Tabel 2. 1. Perbandingan lima gelombang otak [17].

	Gamma	Beta	Alpha	Theta	Delta
Jika berlebihan	Tidak nyaman, cemas, antusias tinggi, stress	Adrenalin, tidak nyaman, cemas, antusias tinggi, sulit untuk relaks, stress	Daydreaming, sulit fokus, terlalu relaks	ADHD, depresi, hiperaktif, gegabah, sulit memperhatikan	Kerusakan otak, masalah belajar, tidak dapat berfikir, ADHD akut
Jika kekurangan	ADHD, depresi, ketidakmampuan dalam belajar	ADHD, depresi, daydreaming, kognitif lemah	Tidak nyaman, cemas, stress berat, insomnia, OCD	Tidak nyaman, cemas, emosional tinggi, stress	Tidak dapat merefresh tubuh dan otak, kualitas tidur rendah
Kondisi optimal	Perasaan yang kuat, kognisi baik, mudah belajar dan memproses informasi serta persepsi, tidur REM	Kesadaran yang fokus, ingatan baik, mampu memecahkan masalah	Relaksasi	Kreativitas, hubungan emosional baik, intuisi, relaksasi	Sistim imun, penyembuhan alami, tidur nyenyak yang menyegarkan
Cara untuk meningkatkan	Meditasi	Kopi, minuman energi, berbagai macam stimulus	Alkohol, marijuana, obat anti depresi, relaksasi	depressants	depressants, tidur

2.4.1 *Delta Waves*

Gelombang delta memiliki frekuensi antara 0,1 - 4 Hz. Biasanya diasosiasikan dengan kondisi tidak sadar atau tidur lelap. Namun juga memungkinkan untuk ditemukan pada kondisi sadar [18]. Semakin banyak kuantitas gelombang delta yang dihasilkan oleh otak menggambarkan semakin lelap nya kondisi tidur seseorang. Tidur lelap disini berbeda dengan kondisi tidur bermimpi.

Dalam meditasi, gelombang delta dapat ditemukan saat meditator memasuki meditasi tingkat tertinggi yang disebut *Samadhi*. Hal ini hanya dapat dilakukan oleh para meditator handal yang terlatih. Indikator seorang meditator telah memasuki tingkat *Samadhi* yakni adanya peningkatan kuantitas gelombang delta [17].

Gelombang delta juga merupakan indikasi adanya proses perbaikan bahkan penyembuhan atau regenerasi sel tubuh manusia. Gelombang ini menggambarkan perintah otak dalam memajemen fungsi kerja tubuh yang berjalan secara otomatis dan simultan seperti kerja jantung dan paru-paru

2.4.2 *Theta Waves*

Frekuensi gelombang Theta berkisar antara 4-7.5 Hz. Muncul dalam kondisi antara sadar dan tertidur atau mengantuk. Diasosiasikan juga dengan kondisi meditasi yang mendalam, inspirasi kreatif, dan ketidaksadaran diri. Adanya gelombang theta dalam jumlah besar saat seseorang berada dalam kondisi sadar menandakan adanya ketidaknormalan dan menyebabkan *pathological problems*, masalah dimana seseorang tidak dapat mengontrol tubuhnya. Perubahan ritme gelombang theta diteliti dalam mendeteksi kedewasaan dan emosional seseorang. Karena gelombang theta memegang peranan penting pada bayi dan anak-anak [18].

Tidur bermimpi dapat diindikasikan dengan kemunculan gelombang theta. Hipnotis dan akses ingatan jarak pendek juga berhubungan dengan kemunculan gelombang theta. Kemunculan gelombang theta akan semakin

mengurangi tingkat kesadaran atau disebut kondisi tidur tingkat pertama (*twilight state*) [17]. Kondisi dimana muncul perasaan antara tertidur tapi masih sadar.

2.4.3 *Alpha Waves*

Gelombang alpha dapat dideteksi pada otak bagian *posterior* dengan range frekuensi antara 8-13 Hz. Selain pada bagian *posterior*, gelombang ini biasanya juga muncul pada bagian *occipital*. Pada daerah *occipital*, gelombang alpha memiliki amplitude yang lebih tinggi, yang mana normalnya kurang dari 50 mikrovolt. Kehadiran gelombang ini mengindikasikan kondisi relaks dengan tingkat kesadaran tanpa adanya konsentrasi. Gelombang alpha umumnya berupa gelombang sinusoidal [18].

Selain relaks dalam kesadaran, gelombang ini juga berkorelasi dengan pemikiran kreatif, ketenangan, dan rasa damai. Sehingga disebut sebagai gelombang relaksasi. Peningkatan jumlah gelombang alpha diketahui sebagai kondisi relaksasi maupun meditasi. Selain dengan metode relaksasi maupun meditasi, gelombang alpha dapat ditingkatkan intensitasnya dengan pemakaian marijuana dan obat-obat terlarang yang memberi efek ketenangan [17].

2.4.4 *Beta Waves*

Gelombang beta merupakan gelombang otak yang paling umum dijumpai pada kondisi sadar. Diasosiasikan dengan aktifitas berfikir aktif, fokus, dan menunjukkan perhatian. Gelombang ini dapat ditemukan pada semua orang dewasa yang normal. Intensitas tinggi dari gelombang beta menandakan bahwa seseorang tersebut sedang dalam kondisi panik. Aktivitas ritmis gelombang beta dapat ditemukan pada bagian depan dan tengah otak manusia dengan range frekuensi antara 14-26 Hz [18].

Disebut juga sebagai gelombang kesadaran yang paling sering muncul dibandingkan gelombang otak lain. Konsentrasi tingkat tinggi dalam meditasi juga dapat mentrigger otak kita untuk menghasilkan gelombang beta [17]. Meskipun tidak semua orang dapat memunculkan

gelombang beta saat meditasi. Hanya praktisi yang berpengalaman saja yang mungkin melakukannya.

2.4.5 *Gamma Waves*

Gelombang gamma menggambarkan adanya aktivitas yang lebih banyak dan kompleks dari aktivitas gelombang beta. Merupakan gabungan dari proses visual, audio, dan motorik [17]. Range frekuensi gelombang ini antara 30-100 Hz.

2.5 Suara Musik

Musik adalah bunyi yang diatur menjadi pola yang dapat menyenangkan telinga kita atau mengkomunikasikan perasaan atau suasana hati. Musik mempunyai ritme, melodi, dan harmoni yang memberikan kedalaman dan memungkinkan penggunaan beberapa instrumen atau bunyi-bunyian (Oxford Ensiklopedi Pelajar, 2005)

Dalam Kamus Besar Bahasa Indonesia (Depdiknas, 2001), musik adalah nada atau suara yang disusun sedemikian rupa sehingga mengandung irama, lagu dan keharmonisan (terutama yang menggunakan alat-alat yang menghasilkan bunyi). Masing-masing atribut musik memberikan pengaruh yang berbeda terhadap jenis maupun efek relaksasi pada manusia.

Bassano menulis dalam bukunya [19], musik ritmis dapat memberikan pengaruh pada tubuh fisik. Sebagaimana musik nyaring atau bernada sumbang dapat merusak indra pendengaran, bahkan memecahkan kaca. Sebaliknya, musik dansa yang ritmis dapat mempengaruhi pendengarnya untuk menggerakkan tubuh mengikuti irama. Orang yang menderita keterbelakangan mental akan lebih senang dan terbantu jika mendengarkan musik ritmis yang stabil dan terstruktur dari pada mendengarkan melodi yang rumit.

Musik melodis berpengaruh pada emosi, dapat membantu dalam pengembangan ekspresi dan kreativitas. Sedangkan musik yang harmonis berkaitan dengan energy spiritual. Harmoni musik dapat membawa pendengarnya ke tingkat pemahaman diri yang lebih tinggi, memahami diri

lebih dalam. Sehingga harmoni musik lebih dapat mempengaruhi sifat seseorang dari pada ajaran agama [19].

Dengan demikian, apapun jenis dan bagaimanapun bentuk musik dapat mempengaruhi tubuh dan pikiran manusia. Meskipun respon tiap individu tidaklah sama persis terhadap suatu jenis musik. Sehingga memungkinkan bahwa tidak setiap musik memberikan efek relaks yang sama bagi tiap individu.

2.6 Pengolahan Sinyal Digital

Pengolahan sinyal digital merupakan teknik, algoritma dan bentuk matematis yang digunakan untuk memanipulasi data sinyal yang diubah dalam bentuk digital. Tujuan utama pengolahan sinyal digital adalah untuk mendapatkan atau mengekstrak informasi yang dibawa oleh sinyal seperti meningkatkan kualitas gambar, mengenal dan membentuk speech, kompresi data untuk penyimpanan dan lain-lain [20].

Beberapa operasi dasar dalam pengolahan sinyal digital antara lain [20]:

- a. *Spectral Analysis*, untuk mengetahui dan menganalisa *spectrum* frekuensi dari sinyal (transformasi).
- b. *Synthesis*, untuk membangkitkan sesuatu seperti bunyi yang sederhana hingga suara manusia.
- c. *Correlation*, untuk mencari hubungan kedekatan (keterkaitan) antara sinyal yang sama (*auto correlation*) contohnya suara manusia atau dua buah sinyal yang berbeda (*cross correlation*) contohnya radar.
- d. *Control*, merupakan proses input digital untuk menghasilkan output digital untuk mengontrol suatu peralatan.

2.6.1 Pengertian Sinyal

Sinyal adalah besaran fisik yang berubah dalam waktu dan atau dalam ruang, serta membawa suatu informasi. Secara matematis, sinyal merupakan fungsi dari satu atau lebih variabel bebas. Hanya saja, hubungan fungsional tersebut tidak selalu diketahui atau kadang terlalu rumit untuk dirumuskan (biasanya disebut sebagai sinyal acak/*random signal*) sehingga

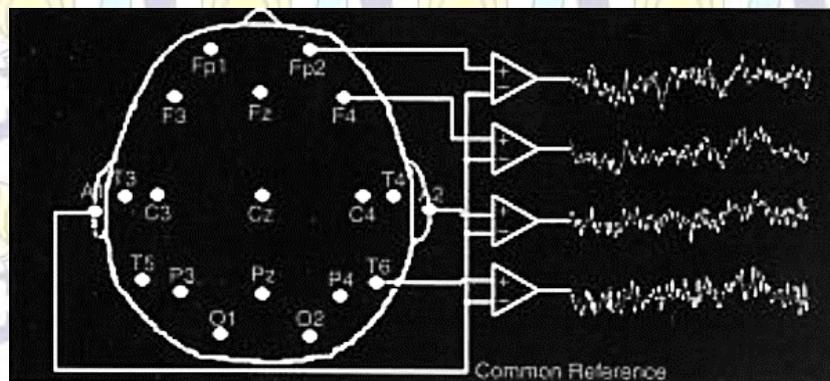
dinyatakan dalam fungsi-fungsi statistik [21]. Suatu sinyal mempunyai beberapa informasi yang dapat diamati, misalnya amplitudo, frekuensi, perbedaan fase, dan gangguan akibat *noise*.

2.6.2 Klasifikasi sinyal

Sinyal sangat banyak macamnya, misalnya sinyal-sinyal listrik, sinyal mekanik, sinyal akustik, dan masih banyak lagi yang lain. Klasifikasi sinyal dilakukan menurut beberapa kriteria, antara lain [22]:

2.6.2.1 Berdasarkan jumlah kanal dan dimensi

Representasi sinyal berdasarkan dimensinya dibagi menjadi 3, yaitu: Dimensi-1 (contoh: sinyal audio), Dimensi-2 (contoh: citra), Dimensi-3 (contoh: video). Sedangkan kanal (*channel*) artinya banyaknya sumber sinyal. Misalnya sebuah video berwarna (sinyal 3 dimensi) umumnya terdiri dari 3 kanal warna primer (merah, hijau, biru). Dan pada sinyal EEG sering kali digambarkan dalam beberapa kanal, seperti pada gambar 2.4:



Gambar 2. 4. Sinyal EEG 4 kanal 1 dimensi [21]

2.6.2.2 Sinyal waktu kontinu dan sinyal waktu diskrit

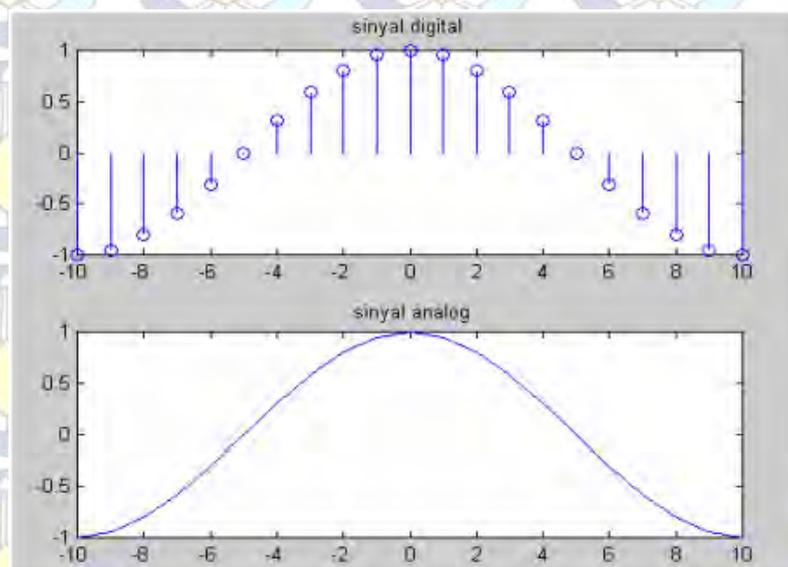
Sinyal waktu kontinu yaitu sinyal yang terdefinisi untuk setiap nilai pada sumbu waktu t , dimana t adalah bilangan riil. Sedangkan sinyal waktu diskrit adalah sinyal yang terdefinisi hanya pada nilai waktu diskrit n , dimana n adalah bilangan bulat. Sinyal waktu kontinu dan sinyal waktu diskrit ditunjukkan pada gambar 2.4:



Gambar 2. 5. (a) sinyal waktu kontinu dan (b) sinyal waktu diskrit [22]

2.6.2.3 Sinyal analog dan sinyal digital

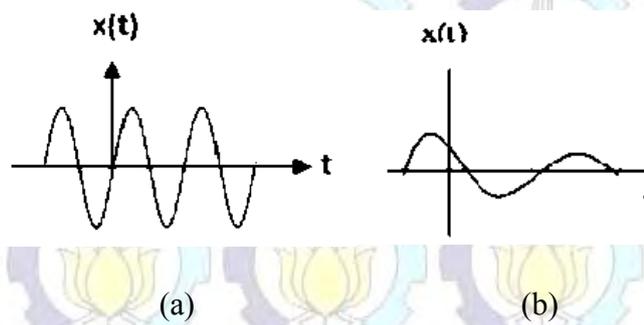
Sinyal analog adalah sinyal data dalam bentuk gelombang yang kontinu, yang membawa informasi dengan mengubah karakteristik gelombang. Sedangkan sinyal digital adalah sinyal data dalam bentuk pulsa yang dapat mengalami perubahan yang tiba-tiba dan mempunyai besaran 0 dan 1. Sinyal ini ditunjukkan pada gambar 2.6.



Gambar 2. 6. Sinyal digital (atas) dan sinyal analog (bawah)

2.6.2.4 Sinyal periodik dan sinyal non periodik

Sinyal yang nilainya berulang dalam periode waktu tertentu disebut sinyal periodik, seperti pada gambar 2.6. Sebaliknya, sinyal dengan nilai yang acak dan tidak berulang pada setiap periode waktu tertentu disebut sinyal non periodik. Sinyal EEG merupakan salah satu contoh sinyal non periodik.



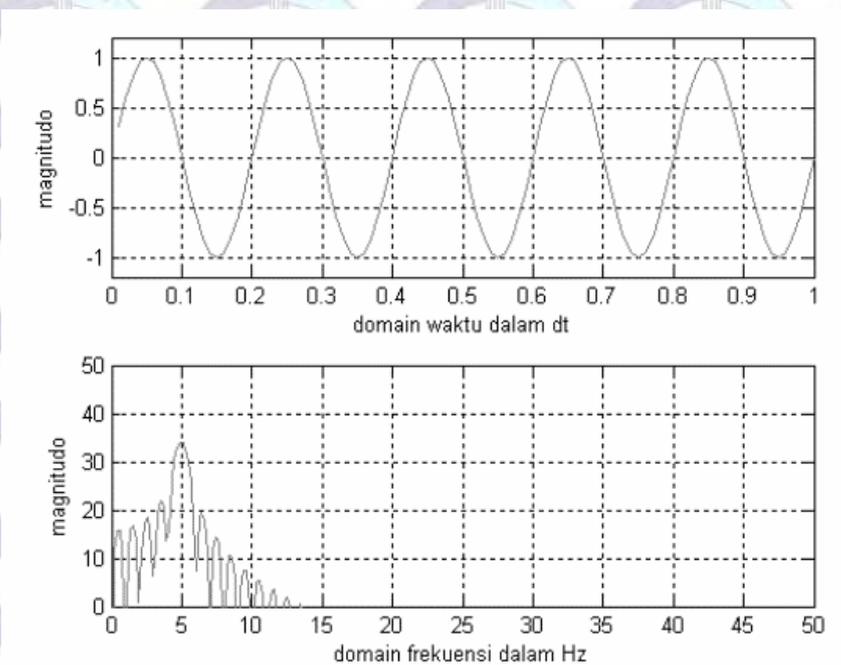
Gambar 2. 7. (a) Sinyal periodik dan (b) sinyal non periodik [22]

2.6.2.5 Sinyal deterministik dan sinyal random

Sinyal deterministik adalah sinyal yang keseluruhan nilainya dapat ditentukan dengan suatu persamaan matematis, contohnya sinyal sinus. Sedangkan sinyal random mempunyai nilai random atau tidak diketahui dengan pasti untuk waktu yang diberikan, contohnya *noise* tegangan pada penguat [22].

2.6.3 Domain Sinyal

Domain merupakan suatu kawasan penggambaran sinyal. Sinyal dapat digambarkan/direpresentasikan dalam beberapa domain/kawasan, yaitu pada domain waktu dan domain frekuensi. Pada umumnya sinyal selalu digambarkan dalam domain waktu. Sebuah fungsi atau sinyal yang diberikan dapat dikonversi antara domain waktu dan frekuensi dengan sepasang operator matematika yang disebut transformasi.



Gambar 2. 8. Sinyal sinus dalam domain waktu (atas) dan domain frekuensi (bawah)

2.6.3.1 Sinyal Domain Waktu

Apapun sinyal yang diukur adalah fungsi waktu. Dimana dalam penggambarannya, grafik menunjukkan bagaimana perubahan sinyal dari waktu ke waktu. Ketika diplot, sinyal domain waktu berupa gelombang berjalan yang direpresentasikan pada waktu terhadap amplitudo dari sinyal, seperti pada gambar 2.7 atas. Amplitudo pada sinyal domain waktu menunjukkan keras lemahnya sinyal yang diterima. Sehingga, sinyal yang diterima tidak memiliki karakteristik yang berbeda tiap waktunya. Sehingga dalam analisisnya, seringkali suatu sinyal dirubah kedalam domain frekuensi.

2.6.3.2 Sinyal Domain Frekuensi

Sinyal domain frekuensi mengacu pada analisis fungsi matematika atau sinyal sehubungan dengan frekuensi daripada waktu. Dimana dalam penggambarannya, grafik menunjukkan berapa banyak sinyal terletak dalam setiap pita frekuensi yang diberikan pada rentang frekuensi tertentu seperti ditunjukkan pada gambar 2.7 bawah. Sebuah representasi domain frekuensi juga dapat mencakup informasi tentang

fase pergeseran yang harus diterapkan untuk setiap sinusoid agar dapat bergabung kembali komponen-komponen frekuensi untuk memulihkan sinyal waktu asli.

Untuk mengkonversi sinyal dari domain asal (waktu) kedalam domain frekuensi diperlukan sepasang operator matematika yang disebut transformasi. Dalam hal ini seringkali digunakan transformasi Fourier, yang merubah fungsi waktu ke dalam sejumlah gelombang sinus frekuensi yang berbeda, yang masing-masing merupakan komponen frekuensi.

2.6.4 Analisis Spektrum

Suatu Sinyal dapat didekomposisi menjadi komponen-komponen sinusoidal (atau eksponensial kompleks). Dengan dekomposisi semacam itu, sebuah sinyal dikatakan direpresentasikan dalam Domain Frekuensi. Dengan melakukan analisis frekuensi, kita dapat melihat representasi matematis komponen-komponen frekuensi yang terkandung dalam suatu sinyal. Rangkaian frekuensi yang terkandung dalam sinyal tersebut disebut *spectrum*.

2.6.4.1 Fast Fourier Transform (FFT)

Deret fourier dipakai sebagai perangkat untuk menghitung spektrum dari sinyal periodik. Untuk sinyal bukan periodik, perangkat yang digunakan adalah transformasi fourier. Definisi dari deret Fourier eksponensial kompleks digambarkan dalam persamaan 2.1:

$$y(t) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} c_n e^{jn\omega_0 t} \quad (2.1)$$

dimana:

- $\omega_0 = 2\pi f_0 = 2\pi/T_0$ disebut frekuensi sudut fundamental
- c_n = keffisien Furier, ditulis dalam persamaan 2.2
- t_0 = parameter yang bebas dipilih

$$c_n = \frac{1}{T_0} \int_{t_0}^{t_0+T_0} y(t) e^{-jn\omega_0 t} dt \quad (2.2)$$

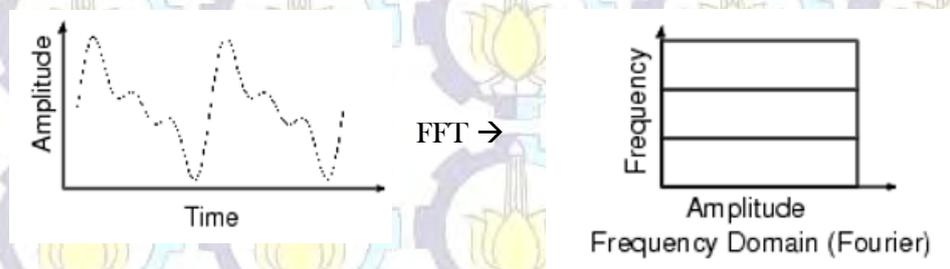
Sedangkan untuk transformasi fourier yang umum digunakan untuk merubah sinyal dari domain waktu ke domain frekuensi digambarkan dalam persamaan 2.3:

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

Persamaan 2.3 merupakan bentuk transformasi Fourier yang siap dikomputasi secara langsung dari bentuk sinyal $x(t)$. Dimana $x(t)$ merupakan fungsi yang tidak periodik terhadap waktu t . Jika $X(\omega)$ diketahui, maka dapat diperoleh nilai $x(t)$ dari persamaan invers transformasi fourier seperti pada persamaan 2.4:

$$x(t) = F^{-1}\{X(\omega)\} = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} X(\omega) e^{j\omega t} dt \quad (2.4)$$

Untuk menghitung frekuensi dari suatu sinyal, sebuah implementasi diskrit dari analisa Fourier dapat digunakan, yang kemudian lebih disempurnakan dengan suatu algoritma yang kita kenal sebagai *Fast Fourier transform* (FFT). Secara umum teknik ini merupakan pendekatan yang terbaik untuk transformasi. Contoh hasil FFT adalah seperti yang terlihat pada gambar 2.8 bawah. Dan model analisisnya ditunjukkan dalam gambar 2.9:



Gambar 2.9. Analisis FFT

Untuk kebanyakan sinyal, analisis Fourier adalah sangat berguna karena kandungan frekuensi sinyal adalah betul-betul penting.

Akan tetapi analisis Fourier memiliki kelemahan yang serius. Pada transformasi ke ranah frekuensi, informasi tentang waktu menjadi hilang. Saat melihat hasil transformasi Fourier, adalah hal yang mustahil untuk menjelaskan dengan tepat kapan suatu peristiwa terjadi.

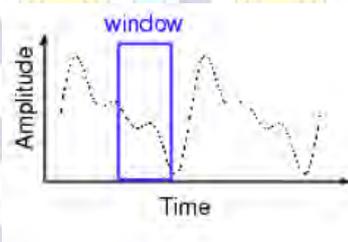
Jika karakteristik sebuah sinyal tidak berubah banyak terhadap waktu, disebut juga sebagai sinyal stasioner, kelemahan itu tidak terlalu penting. Akan tetapi kebanyakan sinyal adalah mengandung sejumlah karakteristik nonstasioner: trend, perubahan mendadak, serta awal/akhir dari kejadian. Karakteristik tersebut seringkali merupakan bagian penting dari sinyal, dan analisis Fourier tidak cocok untuk mendeteksi karakteristik tersebut.

2.6.4.2 Short-Time Fourier Transform (STFT)

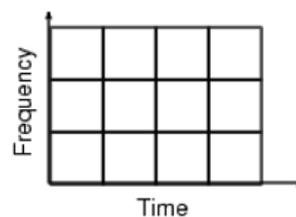
Sebagai upaya untuk memperbaiki kekurangan analisis Fourier, Dennis Gabor (1946) memanfaatkan transformasi Fourier untuk menganalisis hanya sebagian kecil dari sinyal pada suatu waktu, disebut sebagai windowing dari sinyal. Upaya perbaikan Gabor tersebut dikenal sebagai *Short-Time Fourier Transform* (STFT), yang memetakan sebuah sinyal menjadi fungsi dua dimensi dari waktu dan frekuensi.

STFT merupakan sebuah kompromi dari sudut pandang berdasar-waktu dan berdasar-frekuensi. Dengan cara tersebut kedua informasi tentang frekuensi dan kapan peristiwa (event) dari sinyal dapat diketahui. Akan tetapi kedua informasi tersebut diperoleh dalam ketelitian yang terbatas, dan ketelitian tersebut ditentukan oleh ukuran windownya.

Bila STFT memberikan kompromi antara informasi tentang waktu dan frekuensi adalah berguna, kelemahannya adalah begitu



dipilih
sebuah
ukuran
window



waktu, window tersebut akan sama untuk seluruh frekuensi, seperti ditunjukkan pada gambar 2.10. Padahal banyak sinyal yang memerlukan pendekatan yang fleksibel, suatu saat diperlukan variasi ukuran window dalam menentukan waktu atau frekuensi secara lebih akurat.

STFT →

Gambar 2. 10. Analisa dengan STFT

2.7 Wavelet

Gelombang (*wave*) adalah sebuah fungsi yang bergerak naik turun ruang dan waktu secara periodic (gambar 2.11. a). Sedangkan *wavelet* dapat dikatakan sebagai gelombang pendek, yakni merupakan gelombang yang dibatasi atau teralokasi (gambar 2.11. b). *Wavelet* ini mengkonsentrasikan energinya dalam ruang dan waktu sehingga cocok untuk menganalisis sinyal yang sifatnya sementara.



Gambar 2. 11.(a) Gelombang (*wave*), (b) *wavelet* [20]

Definisi *wavelet* adalah himpunan fungsi dalam ruang vektor $L^2\mathbb{R}$, yang mempunyai sifat-sifat sebagai berikut (Burrus *et al*, 1998):

- berenergi terbatas
- merupakan sebuah fungsi *band-pass* pada domain frekuensi
- merupakan hasil penggeseran (*translasi*) dan penskalaan (*dilatasi*) dari sebuah fungsi tunggal/induk sebagaimana digambarkan dalam persamaan 2.5.

$$\psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (2.5)$$

dengan $a, b \in \mathbb{R}$ (bilangan nyata), dan $a \neq 0$. Dalam hal ini a adalah parameter penskalaan dan b adalah parameter penggeser posisi terhadap sumbu t . faktor normalisasi $|a|^{-1/2}$ digunakan untuk memastikan bahwa $\|\psi_{a,b}(t)\| = \|\psi(t)\|$.

Wavelet pertama kali digunakan dalam analisis dan pemrosesan digital dari sinyal gempa bumi, yang tercantum dalam literatur oleh A. Grossman dan J. Morlet. Penggunaan *wavelet* saat ini sudah semakin berkembang dengan munculnya area sains terpisah yang berhubungan dengan analisis *wavelet* dan teori transformasi *wavelet*. *Wavelet* mulai digunakan secara luas dalam *filterasi* dan pemrosesan data, sintesis dan pemrosesan berbagai variasi sinyal, kompresi dan pemrosesan image, dll [20].

2.7.1 Transformasi *wavelet*

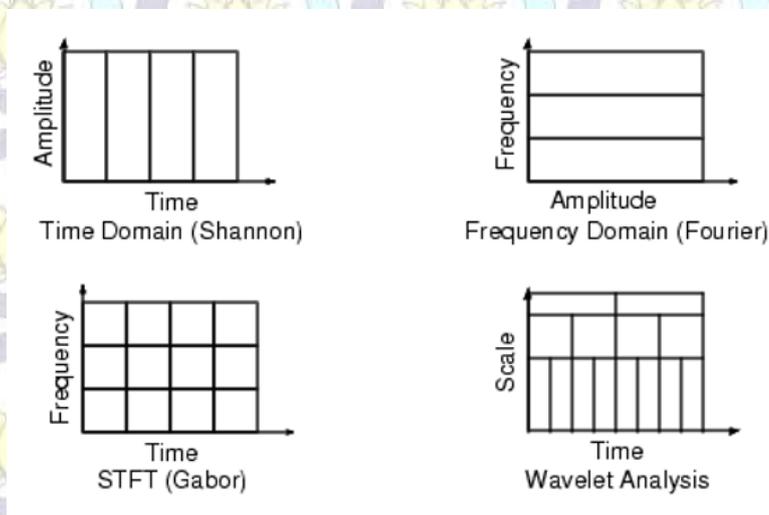
Transformasi adalah proses merepresentasikan suatu sinyal ke dalam domain/kawasan lain tanpa mengubah isi informasi dalam sinyal. Tujuan dari transformasi adalah untuk lebih menonjolkan sifat atau karakteristik sinyal tersebut. Transformasi *wavelet* menyediakan penggambaran frekuensi-waktu dari sinyal.

Pada dasarnya, transformasi *wavelet* digunakan untuk menganalisis sinyal bergerak (*non-stationary signals*) dengan menggunakan teknik *multi-resolution analysis*. Secara umum, teknik *multi-resolution analysis* adalah teknik yang digunakan untuk menganalisa frekuensi dengan cara frekuensi yang berbeda dianalisis menggunakan resolusi yang berbeda. Dengan sifat penskalaannya, *wavelet* dapat memilah-milah suatu sinyal data berdasarkan komponen frekuensi yang berbeda-beda. Dengan demikian tiap-tiap bagian dapat dipelajari berdasarkan skala resolusi yang sesuai, sehingga diperoleh gambaran data secara keseluruhan dan detail.

Jadi teori *wavelet* didasari oleh pembangkitan sejumlah tapis (*filter*) dengan cara menggeser dan menskala suatu *wavelet* induk (*mother wavelet*) berupa tapis pelewat tengah (*band-pass filter*). Dengan demikian hanya diperlukan pembangkitan sebuah tapis. Tapis lain mengikuti aturan penskalaan, baik pada kawasan waktu maupun kawasan frekuensi.

Perapatan ($0 < a < 1$) dan peregangan ($a > 1$) akan menskala tanggapan frekuensi *wavelet* yang dibangkitkan, sehingga menghasilkan sejumlah *wavelet* yang mencakup rentang frekuensi yang diinginkan. Kumpulan *wavelet* ini dapat dianggap sebagai suatu bank tapis (*filter bank*) untuk analisa sinyal.

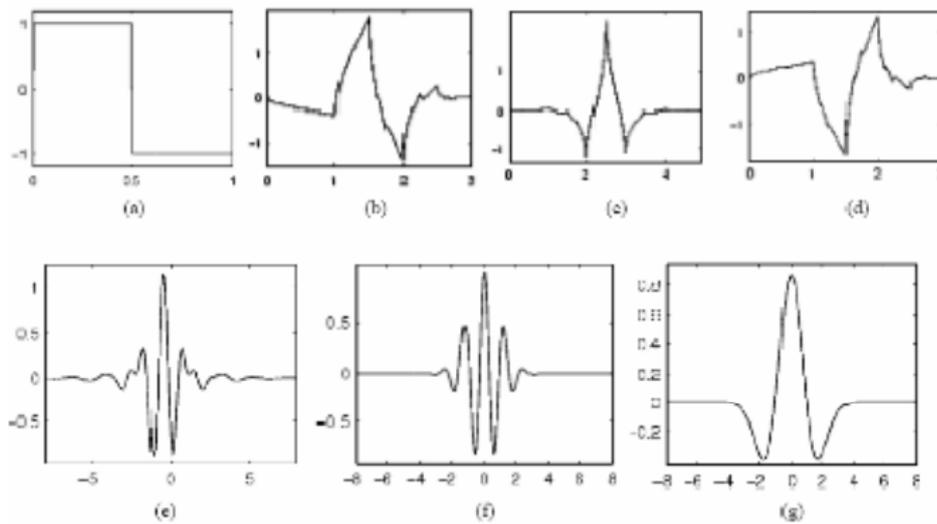
Berbeda dengan transformasi *fourier* (FFT maupun STFT), keuntungan transformasi *wavelet* adalah bahwa jendelanya bervariasi, seperti ditunjukkan dalam gambar 2.12. penambahan skala *wavelet* akan meningkatkan durasi waktu, mengurangi lebar bidang (*bandwidth*) dan menggeser frekuensi pusat ke nilai frekuensi yang lebih rendah. Sebaliknya, pengurangan skala menurunkan durasi waktu, menambah lebar bidang dan menggeser frekuensi ke nilai frekuensi yang lebih tinggi (Burrus *et al*, 1998). Untuk mengisolasi ketidakkontinyuan sinyal, dapat digunakan fungsi basis yang sangat pendek. Pada saat yang sama, untuk analisis frekuensi yang sangat terperinci dapat digunakan basis yang sangat panjang.



Gambar 2. 12. Perbandingan beberapa teknik analisis sinyal

Secara garis besar, transformasi *wavelet* dibedakan menjadi 2, yaitu Transformasi Wavelet Kontinyu (*Continuous Wavelet Transform/CWT*) dan Transformasi Wavelet Diskret (*Discrete Wavelet Transform/DWT*). Semua fungsi yang digunakan dalam transformasi *wavelet*, baik CWT maupun DWT, diturunkan dari *mother wavelet* melalui translasi/pergeseran

dan kompresi/penskalaan. *Mother wavelet* merupakan fungsi dasar yang digunakan dalam transformasi *wavelet*. Karena *mother wavelet* menghasilkan semua fungsi *wavelet* yang digunakan dalam transformasi melalui translasi dan penskalaan. Pemilihan *mother wavelet* juga akan menentukan karakteristik dari transformasi *wavelet* yang dihasilkan. Oleh karena itu, diperlukan pencatatan secara teliti terhadap penerapan *wavelet* dan pemilihan yang tepat terhadap *mother wavelet* harus dilakukan agar dapat menggunakan transformasi *wavelet* secara efisien. Fungsi-fungsi yang termasuk dalam keluarga *wavelet* dipaparkan pada gambar 2.13.



Gambar 2. 13. Keluarga *wavelet*: (a) Haar, (b) Daubechies, (c) Coiflet, (d) Symlet, (e) Meyer, (f) Morlet, (g) Mexican Hat. Dengan sumbu x adalah waktu t dan sumbu y adalah $\psi(t)$

2.7.2 Continuous Wavelet Transform (CWT)

Pada Transformasi Wavelet Kontinyu, waktu t serta penskalaan a dan penggeser b berubah secara kontinyu (dengan $a \neq 0$). Transformasi wavelet kontinyu fungsi $f(t)$ didefinisikan dalam persamaan 2.6:

$$\begin{aligned} CWT_f(a, b) &= \langle \psi_{a,b}(t), f(t) \rangle \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} \psi_{a,b}(t) f(t) dt \end{aligned}$$

$$= \frac{1}{\sqrt{|a|}} \int_{-\infty}^{\infty} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) f(t) dt \quad (2.6)$$

dimana:

- $f(t)$ adalah sinyal yang akan dianalisis,
- $\psi(t)$ adalah *mother wavelet* atau fungsi dasar yang dipilih.
- a adalah parameter translasi yang berhubungan dengan informasi waktu pada transformasi *wavelet*, dan
- b adalah skala, didefinisikan sebagai 1/frekuensi dan berhubungan dengan informasi frekuensi.

Dengan adanya penskalaan ini sinyal dapat diperbesar dan dikompresi. Penskalaan besar menyebabkan sinyal diperbesar dan dapat memberikan informasi detil yang tersembunyi pada sinyal frekuensi rendah. Sedangkan penskalaan kecil menyebabkan kompresi sinyal dan memberikan informasi global dari sinyal frekuensi tinggi.

2.7.3 Discrete Wavelet Transform (DWT)

Seri pengembangan kedua dari *wavelet* adalah *Discrete Wavelet Transform (DWT)*. Seri pengembangan ini merupakan seri CWT yang didiskritkan. Di dalam CWT, sinyal dianalisis menggunakan seperangkat fungsi dasar yang saling berhubungan dengan penskalaan dan transisi sederhana. Sedangkan dalam DWT, penggambaran sebuah skala waktu sinyal digital didapatkan dengan menggunakan teknik *filterisasi* digital. Secara garis besar proses dalam teknik ini adalah dengan melewati sinyal yang akan dianalisis pada *filter* dengan frekuensi dan skala yang berbeda. *Wavelet* dapat direalisasikan menggunakan iterasi *filter* dengan penskalaan. Resolusi dari sinyal, yang merupakan rata-rata dari jumlah detil informasi dalam sinyal, ditentukan melalui *filterisasi* dan skalanya didapatkan dengan *upsampling* dan *downsampling*.

Sebuah sinyal harus dilewatkan dalam dua *filterisasi* DWT, yaitu *highpass filter* dan *lowpass filter* agar frekuensi dari sinyal dapat dianalisis. Analisis sinyal dilakukan terhadap hasil *filterisasi*. Dimana *highpass filter*

digunakan untuk menganalisa frekuensi tinggi dan *lowpass filter* digunakan untuk menganalisa frekuensi rendah. Pembagian sinyal menjadi frekuensi tinggi dan frekuensi rendah melalui proses *filterisasi* tersebut disebut sebagai dekomposisi sinyal. Proses dekomposisi ini dapat melalui satu atau lebih tingkatan. Dekomposisi satu tingkat ditulis dengan ekspresi matematika pada persamaan 2.7 dan 2.8:

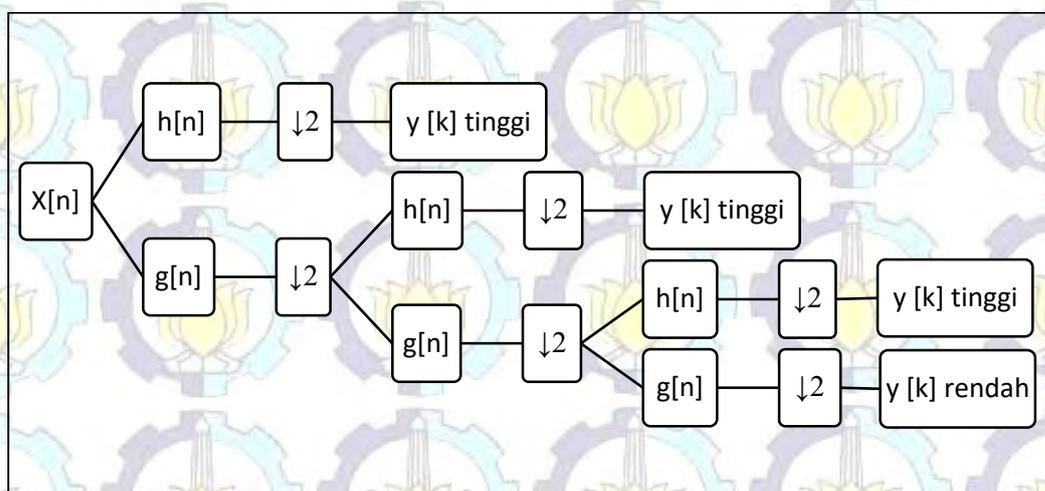
$$y_{tinggi}[k] = \sum_n x[n]h[2k - n] \quad (2.7)$$

$$y_{rendah}[k] = \sum_n x[n]g[2k - n] \quad (2.8)$$

dimana:

- $y[k]$ tinggi = hasil dari *highpass filter*,
- $y[k]$ rendah = hasil dari *lowpass filter*,
- $x[n]$ = sinyal asal,
- $h[n]$ = *highpass filter*, dan
- $g[n]$ = *lowpass filter*.

Untuk dekomposisi lebih dari satu tingkat, prosedur pada persamaan 2 dan 3 dapat digunakan pada masing-masing tingkatan. Contoh penggambaran dekomposisi dipaparkan pada gambar 2.14 dengan menggunakan dekomposisi tiga tingkat.



Gambar 2. 14. Dekomposisi *Wavelet* tiga tingkat

2.7.4 *Wavelet* Morlet

Wavelet Morlet didefinisikan dalam persamaan 2.8 dan digambarkan pada gambar 2.13 (f).

$$\text{morl}(x) = \exp\left(-x^2/2\right) * \cos(5x) \quad (2.9)$$

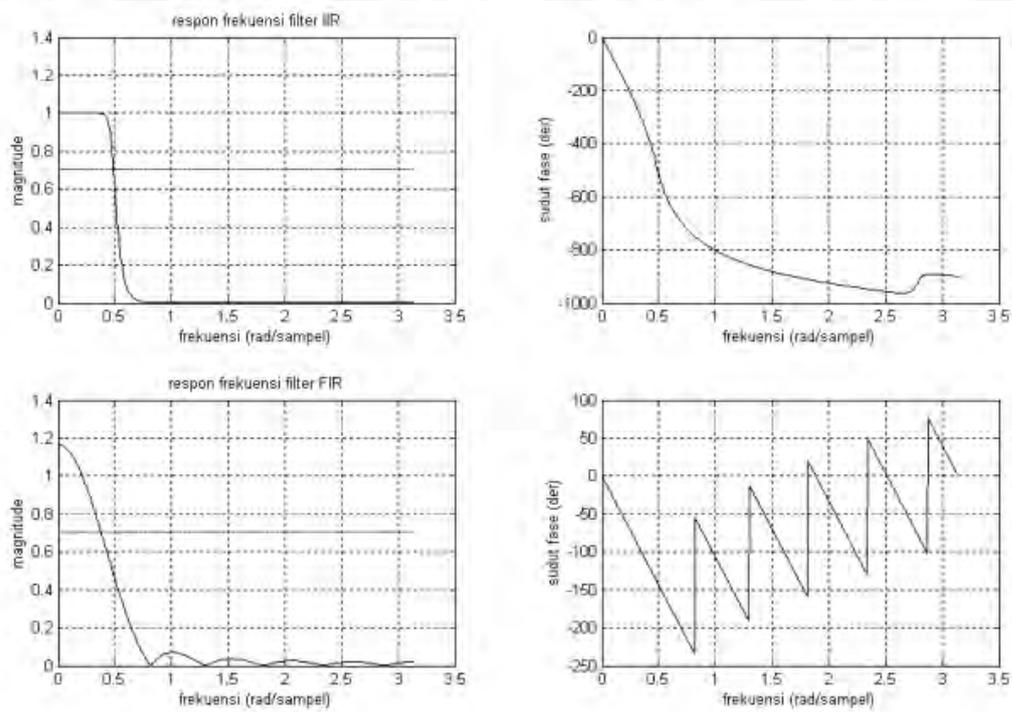
dimana x merupakan sinyal yang akan ditransformasi. Sifat-sifat dari *wavelet* Morlet antara lain [21]:

- a. Tidak bersifat *orthogonal*, *biorthogonal*, dan tidak *compactly supported*.
- b. Tidak mendukung transformasi *wavelet* diskrit.
- c. Mendukung transformasi *wavelet* kontinyu.
- d. *Support width*-nya tak terhingga.
- e. Efektivitasnya dari -4 hingga 4.
- f. Bersifat simetris.

2.8 *Filter* Digital

Filter atau tapis adalah suatu sistem yang berfungsi untuk menyaring sinyal, sebagian sinyal akan dibiarkan lewat, sebagian yang lain akan ditahan. *Filter* yang sering digunakan adalah *filter* untuk menyaring sinyal berdasarkan frekuensi sinyal, artinya sinyal dengan frekuensi tertentu akan dibiarkan lewat, sinyal frekuensi yang lain akan ditahan [21].

Secara garis besar, ada dua macam *filter* digital, yaitu *filter* IIR (*Infinite Impulse Response*) dan *filter* FIR (*Finite Impulse Response*). *Filter* FIR adalah sistem yang murni umpan maju (*feedforward*), stabil, strukturnya sederhana dan fasenya linier. Sedangkan *filter* IIR dapat berupa sistem umpan maju atau umpan balik (*feedback*). Tidak seperti FIR, *filter* IIR mempunyai fase yang tidak linier dan mempunyai potensi untuk tidak stabil. Kelebihan IIR adalah pelemahan (*attenuation*) yang tinggi untuk orde yang lebih rendah, bila dibanding dengan FIR [21]. Perbedaan dari kedua macam *filter* digital ini dapat dilihat pada gambar 2.15:



Gambar 2. 15. Contoh respon frekuensi *filter* IIR (atas) dan FIR (bawah) [21]

2.8.1 *Filter* IIR (*Infinite Impulse Response*) Butterworth

Suatu *filter* IIR adalah sistem yang mempunyai tanggapan terhadap impuls satuan (*unit impulse*) dengan panjang tak terhingga. Dengan kata lain, ketika filter tersebut diberi masukan berupa impuls (*impulse*), keluarannya terus ada sampai waktu mendekati tak hingga [21].

Untuk merealisasikan suatu *filter* digital sederhana, suatu model *filter* waktu kontinyu $H(s)$ harus diubah menjadi model waktu diskrit $H(z)$. Metode untuk memetakan fungsi transfer waktu kontinyu ke fungsi transfer waktu diskrit menjadi penting. Salah satu metode untuk hal ini adalah transformasi *Bilinear*. Transformasi ini mengubah variabel s menjadi variabel z [21], dengan rumus persamaan 2.10:

$$s = \frac{2}{T} \left(\frac{z-1}{z+1} \right) = 2f_s \left(\frac{z-1}{z+1} \right) \quad (2.10)$$

dengan:

- T = periode pencuplikan
- f_s = frekuensi pencuplikan.

Transformasi *Bilinear* ini sifatnya tidak linier, sehingga dapat menghasilkan distorsi berupa pergeseran frekuensi *cut-off* dari frekuensi yang dikehendaki semula. Untuk menghindari hal ini, diperlukan suatu *prewarping* (pembengkokan awal) sebelum pelaksanaan transformasi *Bilinear*. Proses *prewarping* berarti mendesain frekuensi *cut-off* filter analog sedemikian rupa sehingga frekuensi *cut-off* filter digital, Ω_c , sama dengan frekuensi *cut-off* filter analog, $\omega_c T$ [21] seperti pada persamaan 2.11:

$$\omega_p = \frac{2}{T} \tan\left(\frac{\Omega_c}{2}\right) = 2f_s \tan\left(\frac{\Omega_c}{2}\right) \quad (2.11)$$

dimana:

- ω_p = frekuensi *cut-off* filter analog hasil *prewarping*,
- T = periode pencuplikan,
- f_s = frekuensi pencuplikan

Secara umum, perancangan filter IIR dengan metode ini terdiri dari enam tahap [21]. Tahap **pertama** adalah tahap penetapan spesifikasi filter digital, meliputi penetapan tipe filter (*lowpass*, *highpass* dan sebagainya), penetapan frekuensi *cut-off*, penetapan frekuensi cuplik, penetapan kemiringan *transition band*, toleransi *passband* dan toleransi *stopband*.

Tahap **kedua** adalah tahap penghitungan frekuensi hasil *prewarping*. Akan tetapi, hal ini khusus bila menggunakan transformasi *bilinear* dalam mengubah sinyal analog menjadi sinyal digital. Bila menggunakan transformasi lain, tahap ini tidak perlu dilaksanakan.

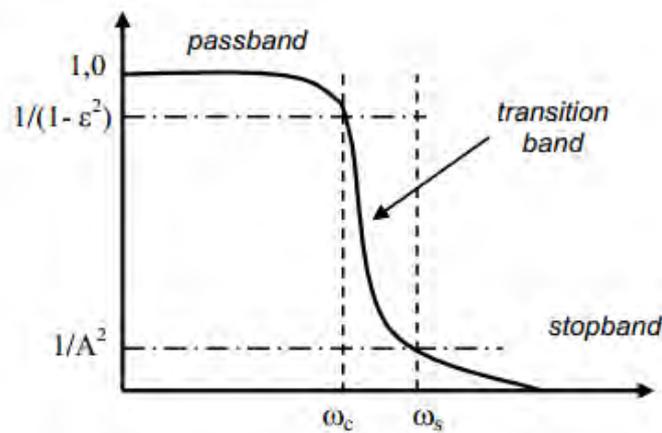
Tahap **ketiga** adalah perancangan *prototype filter* analog. Pada tahap ini dipilih pendekatan *filter* analog yang akan dipakai, misalnya Butterworth, Chebyshev, Elliptic atau Bessel. Kemudian dihitung orde filter yang diperlukan untuk pendekatan yang dipilih. Rumus untuk menghitung orde filter *prototype* dengan pendekatan Butterworth dituliskan pada persamaan 2.12:

$$N = \frac{\log((A^2 - 1)/\epsilon^2)}{2 \log(1/k)} \quad (2.12)$$

dengan:

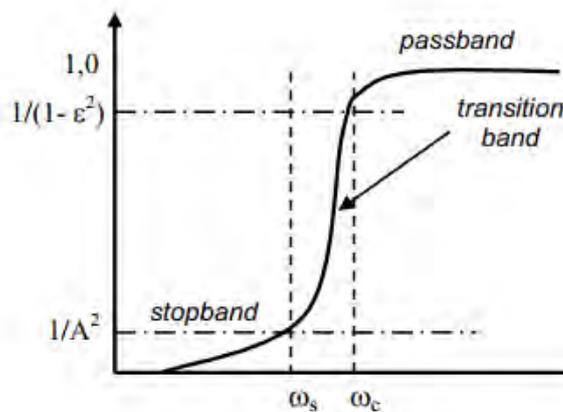
- N = orde filter *prototype* yang dicari,
- A = pelemahan minimum *stopband*,
- ϵ = pelemahan maksimum *passband*.

Adapun untuk k, berbeda-beda tergantung jenis filternya. Untuk *lowpass filter*, $k = \omega_c/\omega_s$. Sebagaimana ditunjukkan pada gambar 2.16:



Gambar 2. 16. Respon frekuensi *lowpass filter* tipe Butterworth [21]

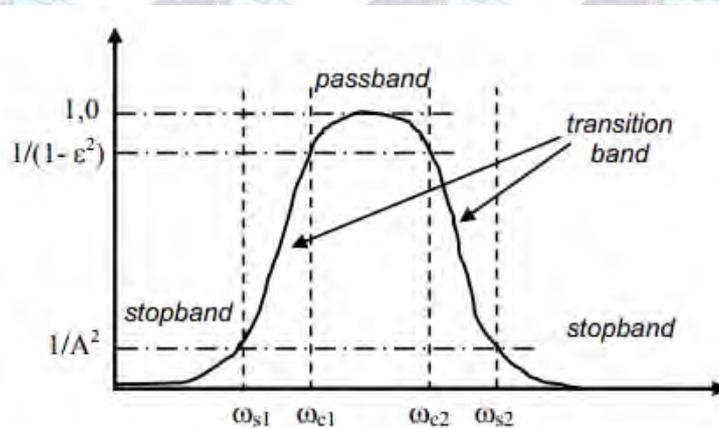
Untuk *highpass filter*, $k = \omega_s/\omega_c$. Sebagaimana ditunjukkan pada gambar 2.17:



Gambar 2. 17. Respon frekuensi *lowpass filter* tipe Butterworth [21]

Untuk *bandpass filter* (gambar 2.18),

$$k = \begin{cases} \frac{\omega_{s1}(\omega_{c2}-\omega_{c1})}{\omega_{c2}\omega_{c1}} & \text{jika } \omega_{s1}\omega_{s2} \geq \omega_{c1}\omega_{c2} \\ 1 - \frac{\omega_{s1}^2}{\omega_{c1}\omega_{c2}} & \\ \frac{\omega_{s2}(\omega_{c2}-\omega_{c1})}{\omega_{c2}\omega_{c1}} & \text{jika } \omega_{s1}\omega_{s2} \leq \omega_{c1}\omega_{c2} \\ 1 - \frac{\omega_{s2}^2}{\omega_{c1}\omega_{c2}} & \end{cases}$$



Gambar 2. 18. Respon frekuensi *lowpass filter* tipe Butterworth [21]

Setelah orde filter *prototype* diketahui, akan didapatkan *transfer function* untuk filter tersebut sesuai pendekatan yang dipilih. Adapun *transfer function* untuk filter *prototype* tipe Butterworth pada beberapa orde dapat dilihat pada tabel 2.2:

Tabel 2. 2. Transfer Function filter prototype tipe Butterworth [21]

Orde	<i>Transfer function filter prototype</i>
1	$\frac{1}{s + 1}$
2	$\frac{1}{s^2 + 1,414s + 1}$
3	$\frac{1}{s^3 + 2s^2 + 2s + 1}$
4	$\frac{1}{s^4 + 2,6131s^3 + 3,4142s^2 + 2,6131s + 1}$

Tahap **keempat** adalah tahap transformasi frekuensi, dari filter *prototype* ke filter yang dikehendaki. Filter *prototype* adalah filter *lowpass* dengan frekuensi *cut-off* 1 radian/detik. Rumus transformasi frekuensi dapat dilihat tabel 2.3:

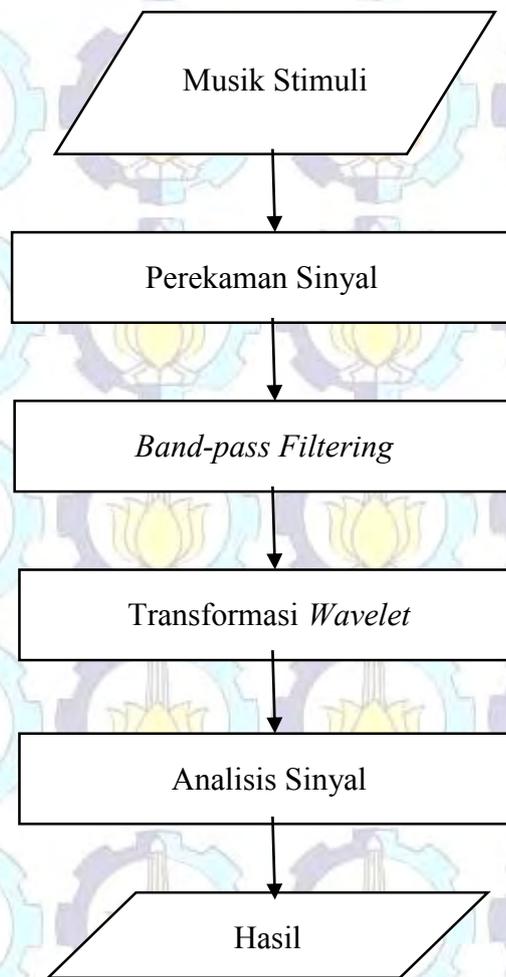
Tabel 2. 3. Transformasi Frekuensi pada filter analog [21]

<i>Prototype</i> orde n	Transformasi frekuensi	Orde
<i>Lowpass</i> ke <i>lowpass</i>	$s \Rightarrow \frac{s}{\omega_0}$	n
<i>Lowpass</i> ke <i>highpass</i>	$s \Rightarrow \frac{\omega_0}{s}$	n
<i>Lowpass</i> ke <i>bandpass</i>	$s \Rightarrow \frac{(s^2 + \omega_1\omega_2)}{s(\omega_1 - \omega_2)}$	2n
<i>Lowpass</i> ke <i>bandstop</i>	$s \Rightarrow \frac{s(\omega_1 - \omega_2)}{(s^2 + \omega_1\omega_2)}$	2n

Tahap **kelima** yaitu tahap transformasi domain *s* ke domain *z*, dalam hal ini penerapan transformasi *Bilinear*. Selain transformasi *Bilinear*, ada beberapa metode lain pula yang dapat dipakai pada tahap ini, seperti *Impulse Invariance* dan *Matched-Z Transformation*. Dan tahap **keenam**, yang terakhir adalah tahap implementasi *filter*.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini dibagi menjadi dua bagian utama, yaitu kegiatan persiapan pra penelitian dan metode penelitian itu sendiri. Persiapan pra penelitian berisi hal yang dipersiapkan sebelum penelitian dilakukan, yaitu studi literatur dan Naracoba dalam penelitian. Selanjutnya bagian metode penelitian dimulai dari pemberian stimuli, perekaman sinyal, *filtering*, transformasi *Wavelet*, hingga proses analisa sebagaimana digambarkan pada gambar 3.1:



Gambar 3. 1. Blok Diagram Penelitian

3.1 Persiapan Pra-Penelitian

Data penelitian didapatkan dari hasil perekaman sinyal EEG pada beberapa orang yang secara sukarela menjadi naracoba dalam penelitian ini. Rentang usia naracoba berkisar antara 20-30 tahun, sehat jasmani dan tidak dalam tekanan psikologis. Sebagian besar naracoba adalah laki-laki, yang mana ditujukan untuk meminimalisir adanya pengaruh hormon progesterone yang dapat mempengaruhi fase dari gelombang alpha sebagaimana disebutkan pada [20].

Musik yang digunakan sebagai stimuli adalah musik bebas pilihan naracoba. Naracoba dalam penelitian ini akan diambil secara bebas tanpa harus memiliki latar belakang suatu ilmu tertentu. Akan disiapkan sebuah angket untuk mengetahui latar belakang Nara Coba. Hasil angket akan digunakan sebagai bahan pertimbangan dan atau pendukung dalam pengambilan kesimpulan.

Angket (terlampir) akan diisi oleh Naracoba sebelum dan setelah proses perekaman, bersamaan dengan pengarahan oleh peneliti. Pengarahan terkait proses perekaman EEG akan dilakukan secara personal *one to one* dengan tujuan agar dapat dipahami dengan baik oleh Nara Coba. Sehingga perekaman sinyal EEG dapat berlangsung sesuai dengan yang peneliti rancang. Detil perekaman akan dibahas pada bab selanjutnya.

3.2 Desain Metode Penelitian

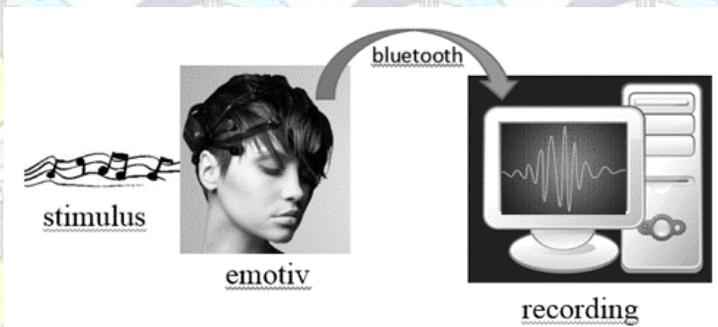
Secara garis besar, alur penelitian dimulai dari pemberian musik stimuli pada Naracoba melalui *earphone*. Kemudian dilakukan proses perekaman. Hasil perekaman akan dilakukan pra pemrosesan untuk kemudian diolah menggunakan transformasi *wavelet*. Seluruh proses tersebut akan diulang untuk semua naracoba. Seorang naracoba juga akan mengulang proses yang sama untuk beberapa kali uji coba. Berikutnya akan dilakukan proses analisa untuk deteksi gelombang alpha.

3.2.1. Musik Stimuli

Sebagaimana telah disebutkan pada sub-bab 3.1, akan digunakan musik bebas pilihan naracoba sebagai musik stimuli. Dengan pertimbangan bahwa musik yang naracoba pilih adalah yang sesuai bagi mereka dalam

membantu memunculkan efek tenang dalam diri naracoba. Namun demikian, tetap akan penulis batasi bahwa musik pilihan naracoba bukanlah musik dengan tempo/beat tinggi sebagaimana musik jenis rock. Dikarenakan musik jenis ini lebih memberikan sensasi semangat dari pada ketenangan relaksasi. Durasi pemutaran musik untuk perekaman berkisar antara 2-4 menit.

3.2.2. Perekaman Sinyal



Gambar 3. 2. Perekaman sinyal EEG menggunakan Emotiv Epoch maupun Enobio

Sinyal EEG direkam menggunakan Enobio dan Emotiv Epoch 14 Channel seperti pada gambar 3.2. Perekaman dilakukan dalam ruang tertutup dan kondisi yang tenang. Naracoba akan direkam sinyal EEG-nya dalam kondisi mata tertutup dan duduk nyaman mungkin untuk meminimalisir terjadinya gerakan-gerakan yang tidak diinginkan. Perekaman sinyal EEG dibagi menjadi tiga bagian, antara lain:

- Bagian pertama, 15 detik dalam kondisi diam dan hening sebelum mendengarkan musik stimuli.
- Bagian kedua adalah ketika diperdengarkan musik stimuli melalui *earphone*. Durasi musik sekitar 2-4 menit.
- Dan bagian ketiga selama 15 detik kondisi hening setelah mendengarkan musik stimuli.

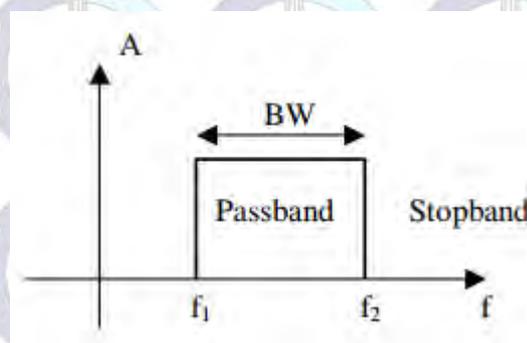
Proses rekam tersebut dilakukan pada setiap naracoba. Perekaman selanjutnya untuk tiap naracoba akan dilakukan setelah rentang waktu tertentu atau di hari yang berbeda. Hal ini dilakukan untuk menghindari pengaruh musik pertama terhadap musik kedua. Setiap Naracoba akan

melakukan minimal dua hingga empat kali perekaman sebagai sample pada waktu yang berbeda.

3.2.3. *Band-pass Filtering*

Frekuensi gelombang yang akan dianalisa pada penelitian ini adalah gelombang alpha yang berada pada frekuensi 8-13 Hz. Sehingga sinyal gelombang beta dan gamma akan di *filter* agar tidak masuk sebagai fitur yang akan dianalisa. Termasuk juga gelombang dengan frekuensi yang lebih rendah, theta dan delta juga tidak diperhitungkan.

Proses *filtering* dilakukan dengan menggunakan *bandpass filter butterworth*. *Bandpass filter* merupakan *filter* yang hanya melewatkan sinyal-sinyal yang sesuai dengan range pita frekuensi atau *passband* tertentu. Frekuensi sinyal yang berada di atas maupun di bawah range pita frekuensi tidak akan dilewatkan oleh rangkaian *bandpass filter*. Lebih jelasnya digambarkan dalam diagram gambar 3.3:



Gambar 3. 3. *Bandpass filter respons*

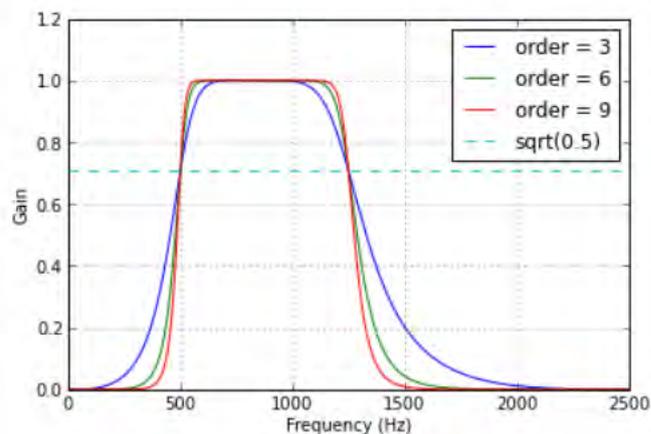
Butterworth filter adalah jenis *filter* yang didesain untuk memiliki respon frekuensi serata (datar) mungkin dalam *passband*. *Butterworth Filter* didefinisikan dalam persamaan 3.1 [23].

$$|H(\omega)|^2 = \frac{1}{1+\omega^{2n}} \quad (3.1)$$

dimana:

- ω adalah frekuensi angular dalam radian per detik,
- n adalah *order filter*.

Pada bagian ini dibangun sebuah *bandpass filter butterworth* dengan *order filter* minimum. Karena untuk *butterworth filter*, yang paling optimum adalah respon datar pada *passband* dan lereng curam segera setelah *cutoff* (*filter* datar maksimum). Hal ini didapatkan pada *order filter* rendah. Adapun perbandingan beberapa *order filter* disajikan dalam gambar 3.4:



Gambar 3. 4. *Order filter butterworth*

3.2.4. Transformasi *Wavelet*

Penggunaan *wavelet* kontinyu pada sinyal adalah untuk merubah sinyal domain waktu menjadi domain waktu-frekuensi. *Wavelet* dipilih karena cocok dengan karakteristik tipe sinyal EEG yang bersifat *non-stationery* atau non periodik. Transformasi *wavelet* menghasilkan suatu koefisien *wavelet* yang berisi informasi frekuensi dan amplitudo sinyal tanpa ada informasi yang hilang.

Dalam pemakaian *wavelet* kontinyu, redundansi data sangat mungkin terjadi. Sehingga pemilihan faktor skala sangat mempengaruhi hasil koefisien. Dalam memilih skala, peneliti mengacu pada [9] untuk dapat memilih skala yang sesuai dengan range gelombang alpha. Selain pemilihan faktor skala, pemilihan jenis *wavelet* juga memiliki pengaruh besar dalam pemakaian CWT.

Disesuaikan dengan kebutuhan fitur sinyal yang hendak dianalisa, maka *wavelet* morlet dipilih dalam penelitian ini. Morlet dipilih karena karakteristik gelombangnya paling mendekati karakteristik gelombang

alpha. Sehingga pemakaian *wavelet* morlet akan menghasilkan koefisien yang paling menggambarkan kondisi sinyal alpha sesuai aslinya.

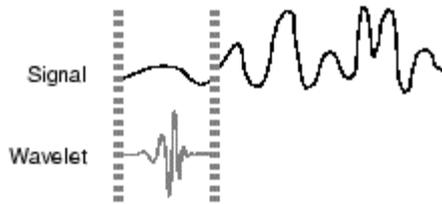
Proses transformasi dilakukan dengan memasukkan fungsi *mother wavelet* morlet (persamaan 2.5) kedalam fungsi transformasi *wavelet* (persamaan 2.2) sehingga dapat dituliskan pada persamaan 3.2 dan 3.3.

$$CWT_{WT}(a, b) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \int x(t) (morl(x))^* \left(\frac{t-b}{a}\right) dt \quad (3.2)$$

$$CWT_{WT}(a, b) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \int x(t) \left(\exp\left(-x^2/2\right) * \cos(5x) \right)^* \left(\frac{t-b}{a}\right) dt \quad (3.3)$$

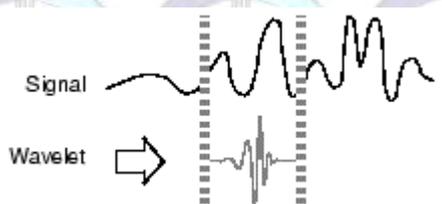
Proses transformasi dilakukan dalam beberapa langkah secara berulang sebagai berikut:

- 1) Letakkan *wavelet* pada bagian awal sinyal, set skala $s=1$ seperti pada gambar 3.3;



Gambar 3. 5. Langkah awal transformasi *wavelet*

- 2) Hitung koefisien *wavelet* (C) dengan cara mengalikan fungsi *wavelet* pada skala 1 dengan sinyal, integral terhadap waktu, kemudian dikalikan dengan $\frac{1}{\sqrt{|s|}}$;
- 3) Geser *wavelet* ke kanan sebanyak $t=\tau$ seperti pada gambar 3.4. kemudian ulangi langkah 2 untuk mendapatkan hasil koefisien *wavelet* (C) pada $t=\tau$ dan $s=1$;



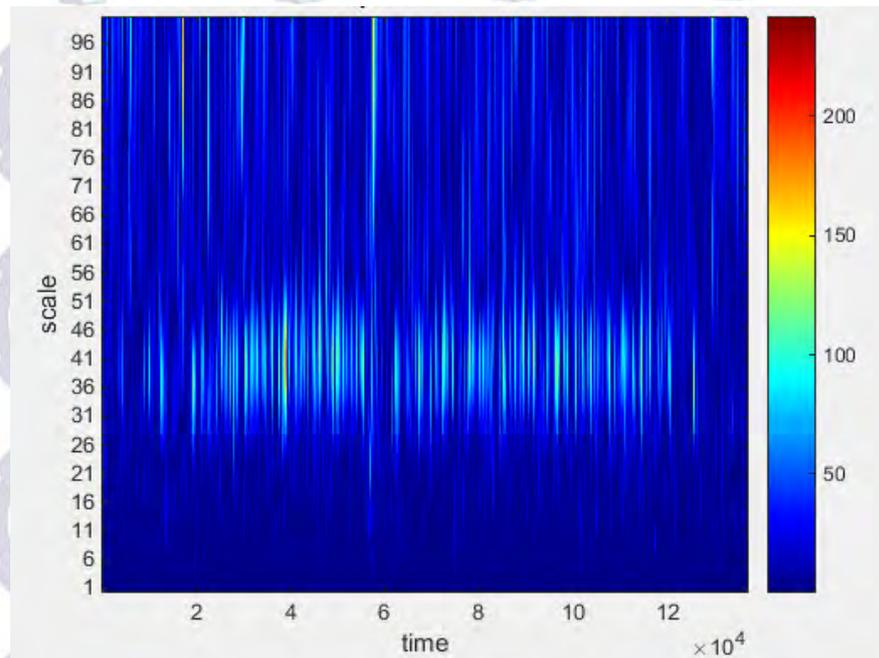
Gambar 3. 6. Proses translasi *wavelet*

- 4) Ulangi langkah 2-3 hingga *wavelet* sampai pada akhir sinyal;
- 5) Selanjutnya skala s dinaikkan (*stretching wavelet*) dengan nilai yang cukup kecil sebagaimana ditunjukkan pada gambar 3.5. kemudian ulangi langkah 2-4 untuk semua nilai s .



Gambar 3. 7. Penskalaan/*stretched wavelet*

Setiap perhitungan pada skala s dan waktu t akan memberikan nilai koefisien *wavelet* (C) dalam bentuk diagram waktu-skala seperti pada gambar 3.6. dimana koefisien *wavelet* (C) digambarkan dalam bentuk intensitas warna yang berbeda.



Gambar 3. 8. Diagram waktu-skala koefisien *wavelet* (C)

Sebagaimana telah disebutkan pada sub-bab 2.6.2, skala pada hasil transformasi *wavelet* berkorelasi terbalik dengan frekuensi. Skala rendah menggambarkan frekuensi tinggi, dan skala tinggi menggambarkan

frekuensi rendah. Untuk mengetahui korelasi antara skala dengan frekuensi dapat dihitung menggunakan persamaan 3.4

$$F_a = \frac{F_c}{a \cdot \Delta} \quad (3.4)$$

dimana:

- a = skala,
- Δ = frekuensi sampling
- F_c = frekuensi pusat *wavelet* dalam Hz
- F_a = pseudo-frekuensi sesuai dengan skala a , dalam Hz

3.2.5. Analisa

Analisa yang akan dilakukan disini adalah untuk menjawab tujuan dari penelitian. Peneliti akan menganalisa sinyal yang didapat dari hasil transformasi, dilakukan pada tiap-tiap frekuensi dalam range gelombang alpha (8-13Hz). Selanjutnya tiap sinyal dianalisa berdasarkan karakteristik gelombang alpha, antara lain lebar amplitudo dan lama kemunculan gelombang dalam satuan waktu yang lebih singkat. Dimana semakin lama gelombang alpha beresilasi menunjukkan bahwa seseorang berada dalam kondisi lebih relaks [20].

Langkah pertama adalah menghitung rata-rata amplitudo yang selanjutnya dijadikan batas *threshold* sebagai tolok ukur kemunculan gelombang alpha. Langkah selanjutnya mencari *onset* dan *offset* gelombang untuk menghitung lama osilasi gelombang alpha. Hasil perhitungan ini akan menjadi bahan analisa selanjutnya.

Analisa berikutnya dilakukan secara *subject dependent*. Metode ini dilakukan untuk mengetahui efek musik terhadap gelombang alpha pada masing-masing subjek (Nara Coba). Yang mana tiap individu pasti memiliki respon yang berbeda-beda

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menjelaskan proses deteksi gelombang alpha pada sinyal EEG terhadap rangsang suara musik menggunakan transformasi wavelet kontinyu. Yang selanjutnya dianalisis secara subject independent untuk dapat mengetahui efek suara musik pilihan naracoba terhadap kemunculan gelombang alpha pada sinyal EEG.

4.1 Persiapan Pra Penelitian

Data penelitian didapatkan dari hasil perekaman sinyal EEG pada 10 orang mahasiswa S1 hingga S3 yang secara sukarela menjadi naracoba dalam penelitian ini. Keseluruhan naracoba dipilih secara bebas dengan rentang usia antara 20-40 tahun, sehat jasmani dan tidak dalam tekanan psikologis yang berat. Sebagian besar naracoba adalah laki-laki, dengan persebaran 8 orang laki-laki dan 2 orang perempuan. Setiap naracoba menyiapkan minimal dua hingga empat musik pilihan yang menurut mereka sesuai untuk membantu memunculkan efek tenang dan relaks. Selanjutnya masing-masing naracoba mengisikan data diri beserta musik pilihan tersebut pada angket yang telah disediakan. Hasil angket selanjutnya digunakan sebagai bahan pertimbangan serta pendukung dalam analisa dan pengambilan kesimpulan.

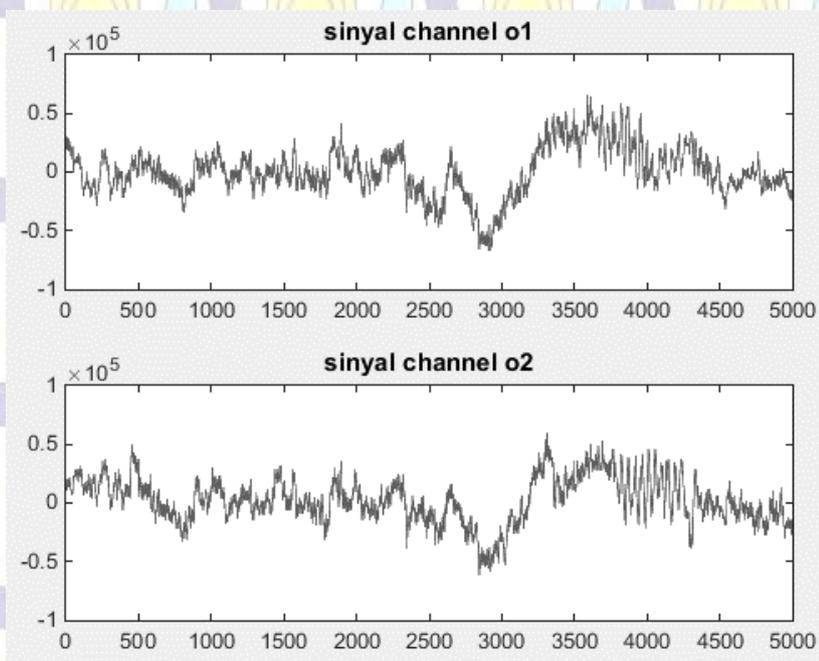
4.2 Perekaman Sinyal

Proses perekaman sinyal dilakukan dalam ruangan tertutup dan kondisi tenang (tidak gaduh) agar sinyal EEG tidak terpengaruh oleh intervensi lingkungan luar selain musik stimuli. Naracoba dikondisikan duduk dengan posisi yang nyaman dan meminimalisir gerakan-gerakan anggota tubuh yang tidak diharapkan. Perekaman dilakukan dengan kondisi mata tertutup, karena gelombang alpha lebih dominan pada kondisi mata tertutup daripada mata terbuka [22]. Pengkondisian tersebut diatas adalah juga dimaksudkan agar sinyal EEG yang terekam sesuai yang diharapkan (minim gangguan/*noise free*). Proses perekaman ditunjukkan dalam

gambar 4.1 dan hasil perekaman ditunjukkan dalam gambar 4.2, sumbu x adalah waktu (ms) dan sumbu y adalah amplitudo.



Gambar 4. 1. Proses perekaman naracoba



Gambar 4. 2. Sinyal EEG hasil perekaman pada channel O1 dan O2

Sebagaimana terlihat pada gambar 4.2, sinyal EEG tidak memiliki pola keteraturan (*non-stationary*), sehingga proses analisa tidak dapat dilakukan secara

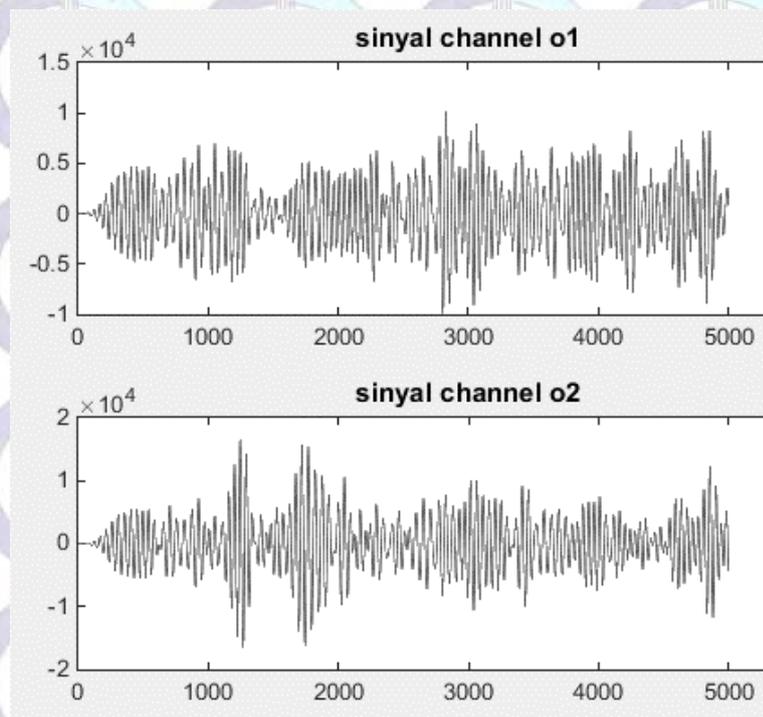
langsung dengan mudah. Diperlukan proses-proses lebih lanjut untuk dapat melihat informasi yang diharapkan.

Dalam proses-proses selanjutnya, dari hasil perekaman ini, tidak semua kanal digunakan dalam penelitian. Meskipun pada setiap kanal terekam semua jenis gelombang EEG (*delta, theta, alpha, beta, gamma*), namun dominasi atau tingkat kehadiran/kemunculan tiap-tiap gelombang berbeda antara kanal satu dengan kanal lainnya. Hal ini dikarenakan setiap kegiatan atau proses berfikir terkonsentrasi di bagian-bagian tertentu dalam otak manusia. Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan data rekam pada kanal O1 dan O2. Kanal O1 dan O2 dipilih sebagai kanal yang paling relevan dalam kemunculan gelombang alpha [20].

4.3 Band-pass Filtering

Selanjutnya sinyal dari kanal pilihan dilakukan proses *filtering* menggunakan *bandpass filter* sesuai range frekuensi gelombang alpha (8-13 Hz).

Proses *filtering* dilakukan untuk lebih mengkonsentrasikan proses analisis gelombang alpha tanpa dipengaruhi nilai dari frekuensi lain. Hasil dari proses *filtering* ditunjukkan dalam gambar 4.3, sumbu *x* adalah waktu (ms), sumbu *y* adalah amplitudo. Serta gambar 4.5 untuk melihat hasil *filtering* lebih jelas setelah dilakukan transformasi *wavelet*.

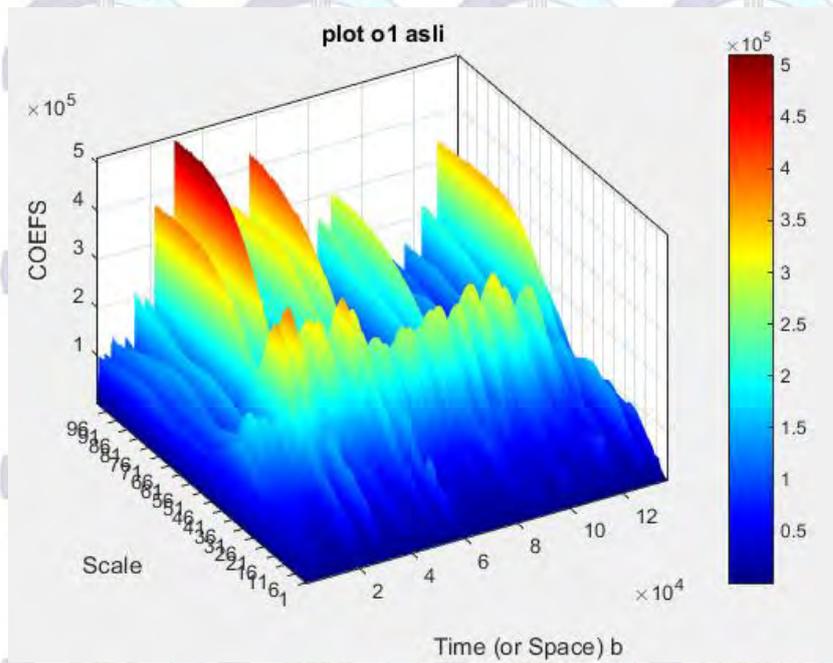


Gambar 4. 3. Sinyal EEG hasil *filtering* pada channel O1 dan O2

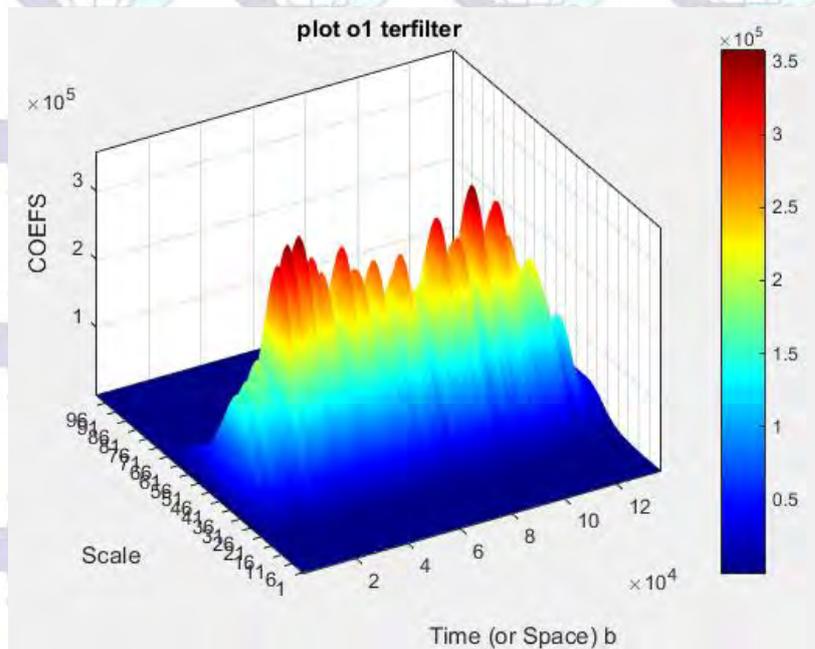
Dalam tahap ini pun proses analisa sinyal belum dapat memberikan hasil selain memisahkan gelombang frekuensi tertentu dari sinyal EEG. Masih diperlukan proses lebih lanjut dalam melakukan analisa.

4.4. Transformasi *Wavelet*

Tahap selanjutnya adalah proses transformasi *wavelet* untuk merubah sinyal domain waktu menjadi domain waktu-frekuensi, atau dalam hasil transformasi *wavelet* disebut waktu-skala. Dengan mengimplementasikan proses transformasi *wavelet* terhadap sinyal EEG sebagaimana dirancang pada subbab 3.2.4, didapatkan hasil seperti pada gambar 4.4 dan 4.5. Serta untuk mengetahui hubungan korelasi antara skala hasil transformasi *wavelet* dengan nilai frekuensi gelombang dilakukan perhitungan menggunakan persamaan 3.4 yang hasilnya tertera seperti pada tabel 4.1.



Gambar 4. 4. Hasil CWT terhadap sinyal asli



Gambar 4. 5. Hasil CWT terhadap sinyal yang telah di-*filter*

Tabel 4. 1. Korelasi antara skala koefisien *wavelet* dan frekuensi dengan frekuensi sampling 500Hz

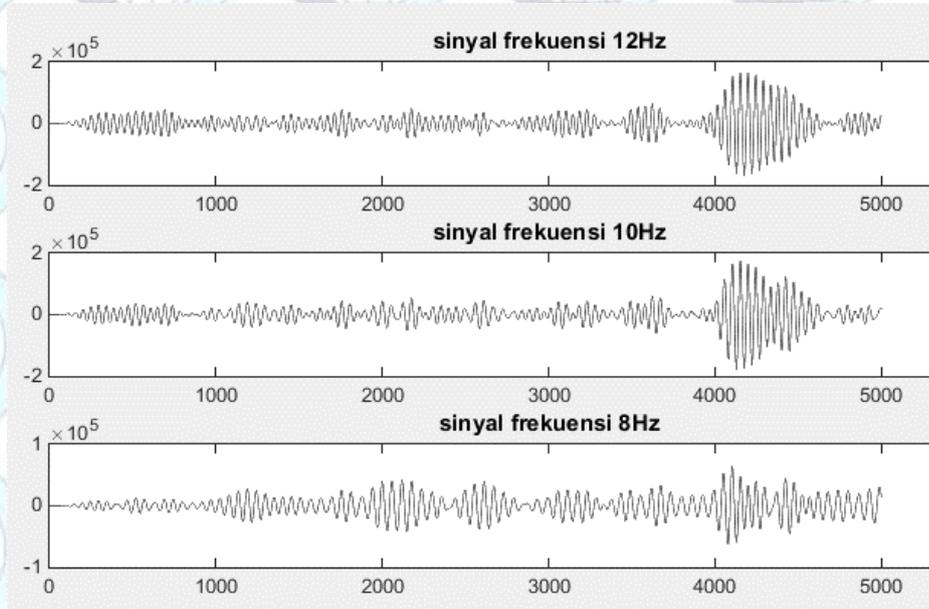
Skala	Frekuensi (Hz)	Jenis Gelombang
6 – 13	67,71 – 31,25	Gamma
16 – 29	25,39 – 14,01	Beta
31 – 51	13,10 – 7,97	Alpha
54 – 100	7,52 – 4,06	Theta

Tabel 4. 2. Korelasi antara skala koefisien *wavelet* dan frekuensi gelombang alpha dengan frekuensi sampling 500Hz

Skala	Frekuensi	Skala	Frekuensi
31	13.10	41	9.91
32	12.70	42	9.67
33	12.31	43	9.45
34	11.95	44	9.23
35	11.61	45	9.03
36	11.28	46	8.83
37	10.98	47	8.64
38	10.69	48	8.46
39	10.42	49	8.29
40	10.16	50	8.13
		51	7.97

Berdasarkan tabel 4.1 dan membandingkan antara gambar 4.3 dan gambar 4.4 dapat dilihat bahwa CWT bisa diperankan sebagai media *filtering*. Dengan demikian proses analisa dapat dilakukan dengan memilih skala tertentu sesuai

besaran frekuensi yang diperlukan seperti ditunjukkan pada gambar 4.6 dengan sumbu x adalah waktu (ms) dan sumbu y adalah amplitudo.

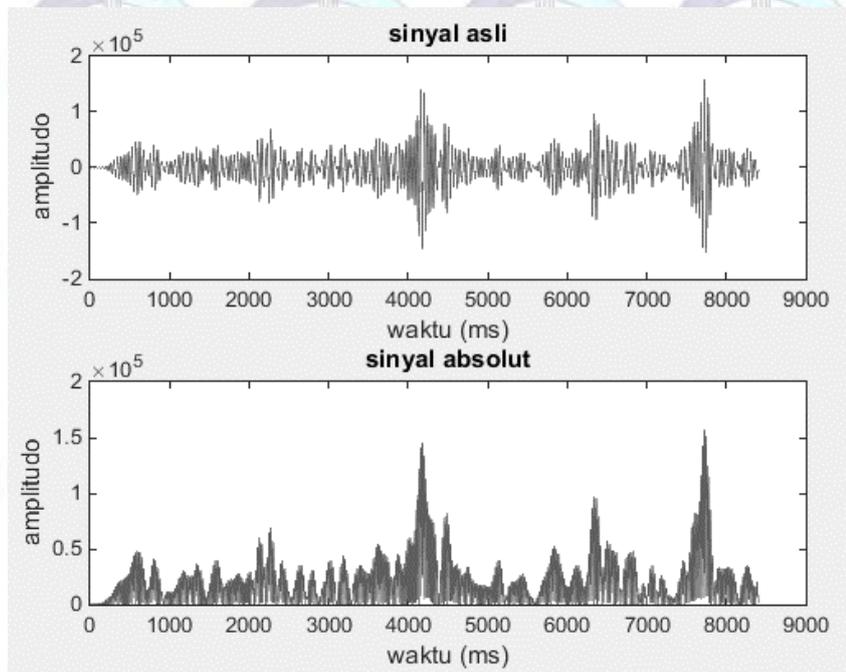


Gambar 4. 6. Hasil koefisien *wavelet* pada skala 5 (frekuensi 12Hz), 12 (frekuensi 10Hz), dan 22 (frekuensi 8Hz).

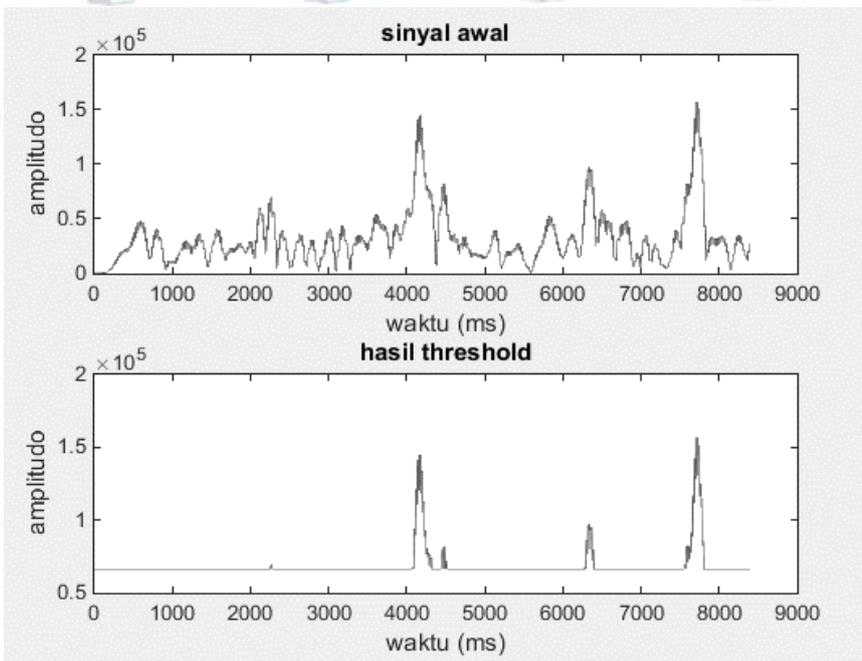
4.5. Proses Analisa

Pada tahap ini dilakukan proses analisa gelombang alpha pada tiap-tiap frekuensi dalam range (8-13Hz) sebagaimana cuplikan sinyal telah ditunjukkan pada gambar 4.3. Proses analisa dilakukan berdasarkan karakteristik gelombang alpha, antara lain nilai amplitudo dan lama kemunculan gelombang dalam satuan waktu yang lebih singkat (*phase*).

Langkah pertama adalah menghitung rata-rata amplitudo untuk dijadikan batas *threshold* sebagai tolok ukur kemunculan gelombang alpha. Jadi sekumpulan gelombang dengan amplitudo yang lebih rendah dari rata-rata (*threshold*) tidak diperhitungkan, dengan asumsi bahwa energy gelombang alpha saat itu terlalu rendah. Sehingga pengukuran kemunculan gelombang alpha hanya dihitung pada waktu gelombang alpha memiliki energy/amplitudo yang besar (melebihi *threshold*). Dalam prosesnya, sinyal digambarkan secara absolut (bernilai positif) seperti ditunjukkan pada gambar 4.7. kemudian dilakukan proses *thresholding*. Hasil *thresholding* ditunjukkan pada gambar 4.8.



Gambar 4. 7. Sinyal absolut



Gambar 4. 8. *Thresholding* sinyal

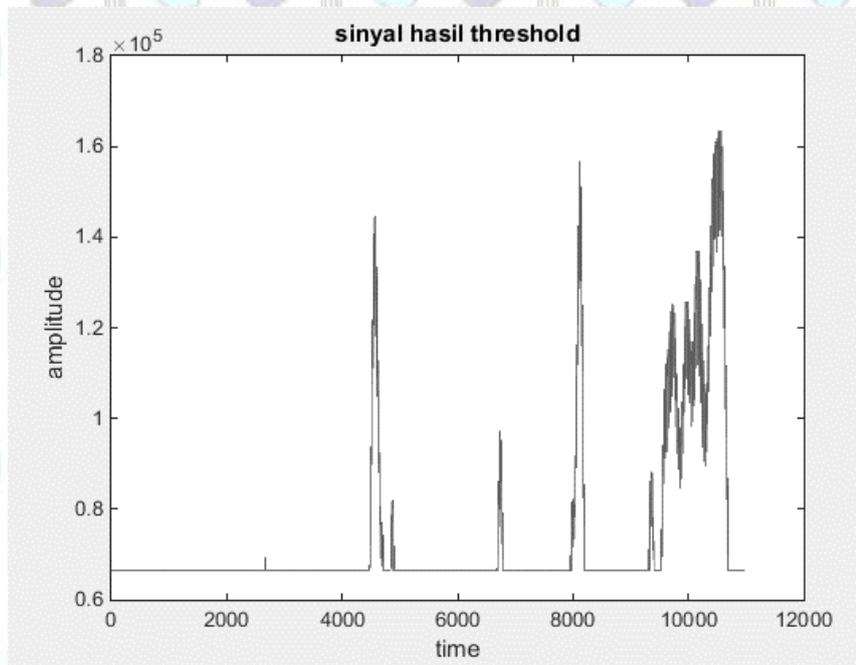
Langkah selanjutnya mencari *onset* dan *offset* gelombang untuk menghitung lama osilasi gelombang alpha. Cuplikan hasil perhitungan ini ditunjukkan dalam tabel 4.3:

Tabel 4. 3. Hasil analisa *onset* dan *offset* gelombang alpha selama 30 detik pertama pada subjek 1

Waktu terjadinya <i>Onset</i> (ms)	Waktu terjadinya <i>Offset</i> (ms)	Jarak <i>onset</i> dan <i>offset</i> (ms)	Amplitudo tertinggi	Index max	Waktu kemunculan Amplitudo tertinggi (ms)
5314	5354	40	69259.72	6	5320
8940	9434	494	144360.28	186	9126
9680	9776	96	81956.14	58	9738
9778	9820	42	71770.63	6	9784
13354	13388	34	66864.34	2	13356
13392	13588	196	97107.91	60	13452
15946	16404	458	156713.60	276	16222
18620	18804	184	88023.37	100	18720
19048	21378	2330	163489.48	2054	21102
24896	25272	376	192277.3	150	25046
25278	25314	36	135953.9	4	25282
25406	27280	1874	379019	1066	26472
27470	27908	438	252814.6	208	27678
28182	28668	486	284238.6	206	28388

Data dalam tabel 4.3 merupakan hasil perekaman awal, yang terdiri dari 15 detik pertama perekaman tanpa suara (kondisi hening) dan detik berikutnya mulai diperdengarkan musik stimuli. Berdasarkan data dalam tabel 4.3 dapat diamati bahwa gelombang alpha dengan energy diatas rata-rata energy keseluruhan baru muncul pada detik ke-5 perekaman (5314 ms). Dan pada detik ke-9 perekaman, gelombang alpha muncul sedikit lebih lama (494 ms).

Energi gelombang alpha mulai meningkat setelah musik diperdengarkan, yakni setelah detik ke-15 (15946 ms). Gelombang terlama muncul selama 2330 ms (2 detik) pada detik ke-19. Selanjutnya mengalami penurunan kembali. Untuk lebih jelasnya, data ini dapat dilihat berdasarkan penggambaran sinyal pada gambar 4.9.



Gambar 4. 9. Sinyal *onset* dan *offset* gelombang alpha selama 30 detik pertama pada subjek 1

Selanjutnya, data dengan nilai jarak antara *onset* dan *offset* yang terlalu kecil akan dieliminasi, dikarenakan tidak memenuhi syarat kemunculan gelombang alpha yang diharapkan (terlalu singkat). Dimana semakin lama osilasi gelombang alpha menunjukkan kondisi yang semakin relaks. Sehingga proses deteksi ditujukan pada gelombang dengan waktu muncul minimal 100 ms/0.1 detik.

4.6. Hasil Deteksi

Hasil deteksi kehadiran gelombang alpha sebelum, saat, dan setelah mendengarkan musik pada channel O1 dan O2 ditunjukkan dalam tabel 4.4 dan tabel 4.5. Hasil perbandingan kemunculan gelombang alpha pada masing-masing naracoba (subjek) ditunjukkan pada gambar 4.10 hingga gambar 4.13.

Tabel 4. 4. Hasil deteksi kehadiran gelombang alpha pada channel O1

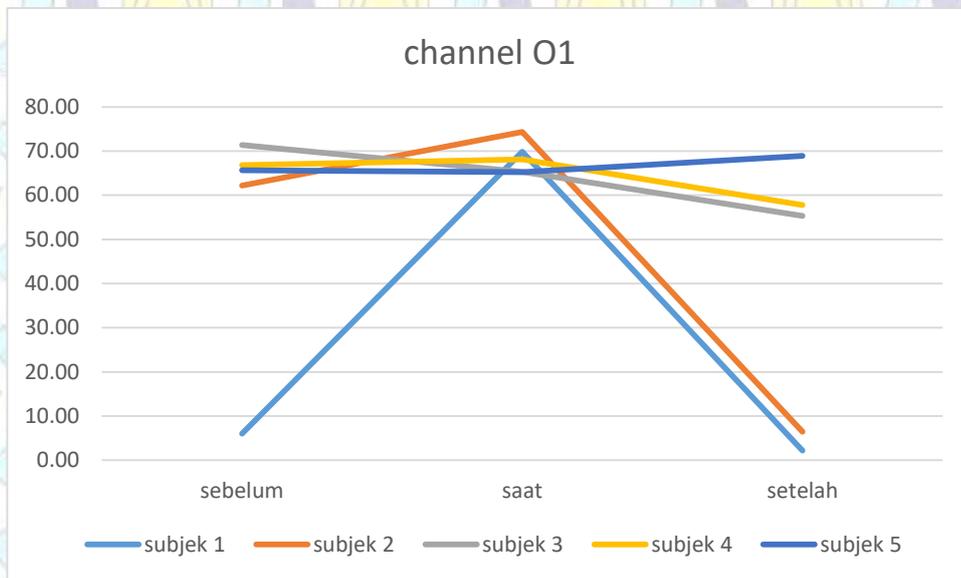
	Sebelum (%)	Saat (%)	Setelah (%)
Subjek 1	6.01	69.84	2.19
Subjek 2	62.20	74.31	6.48
Subjek 3	71.39	65.28	55.35
Subjek 4	66.84	68.09	57.77
Subjek 5	65.63	65.22	68.89
Subjek 6	71.73	55.77	67.41
Subjek 7	56.28	65.72	42.28
Subjek 8	59.49	65.90	57.41
Subjek 9	63.84	66.13	62.56
Subjek 10	60.77	71.30	76.19
rata-rata	58.42	66.76	49.65

Tabel 4. 5. Hasil deteksi kehadiran gelombang alpha pada channel O2

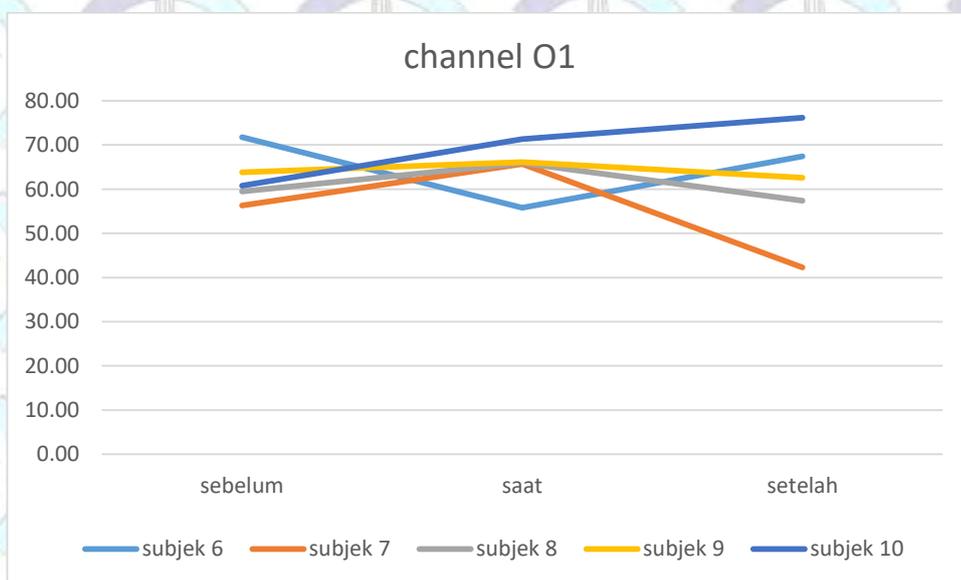
	Sebelum (%)	Saat (%)	Setelah (%)
Subjek 1	7.05	71.04	3.79
Subjek 2	61.92	74.30	24.03
Subjek 3	36.91	53.02	65.80
Subjek 4	49.55	63.40	2.37
Subjek 5	64.04	65.51	65.41
Subjek 6	62.63	60.77	66.56
Subjek 7	64.29	70.17	58.87
Subjek 8	58.32	69.42	59.15
Subjek 9	50.73	67.84	63.81
Subjek 10	60.79	71.74	71.33
rata-rata	51.62	66.72	48.11

Berdasarkan hasil pada tabel 4.4 dan tabel 4.5, dapat diamati bahwa gelombang alpha mengalami peningkatan saat mendengarkan musik sebesar 8,34% pada channe O1 dan 15,1% pada channe O2. Setelah musik berhenti diperdengarkan, gelombang alpha mengalami penurunan intensitas sebesar 17,11% pada channe O1 dan 18,61% pada channe O2. Kehadiran gelombang alpha paling besar didapati saat mendengarkan musik. Hal ini menunjukkan bahwa musik pilihan naracoba dapat membantu dalam menghadirkan gelombang alpha sebagai indikator relaksasi.

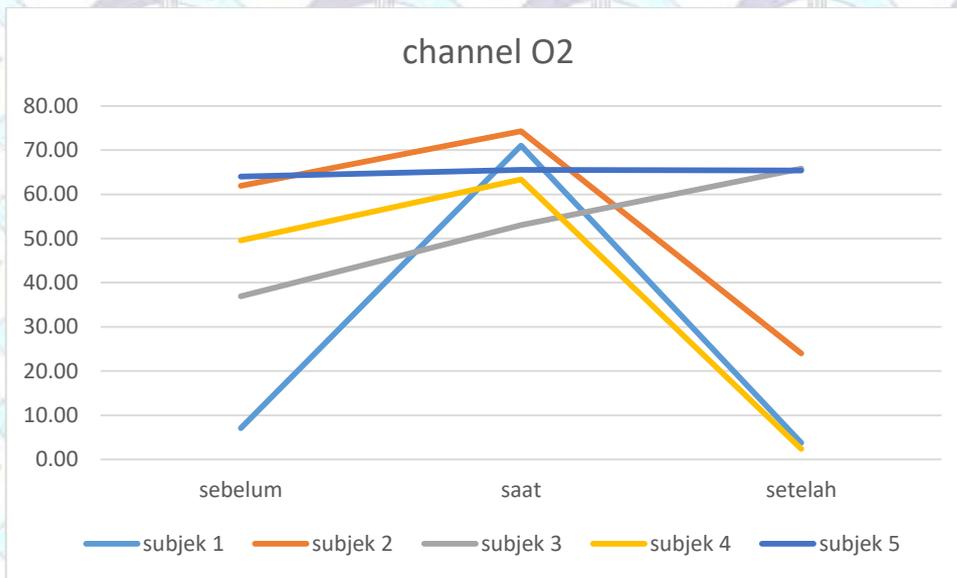
Selanjutnya, hasil perbandingan kemunculan gelombang alpha pada masing-masing naracoba (subjek) ditunjukkan pada gambar 4.9 hingga gambar 4.12.



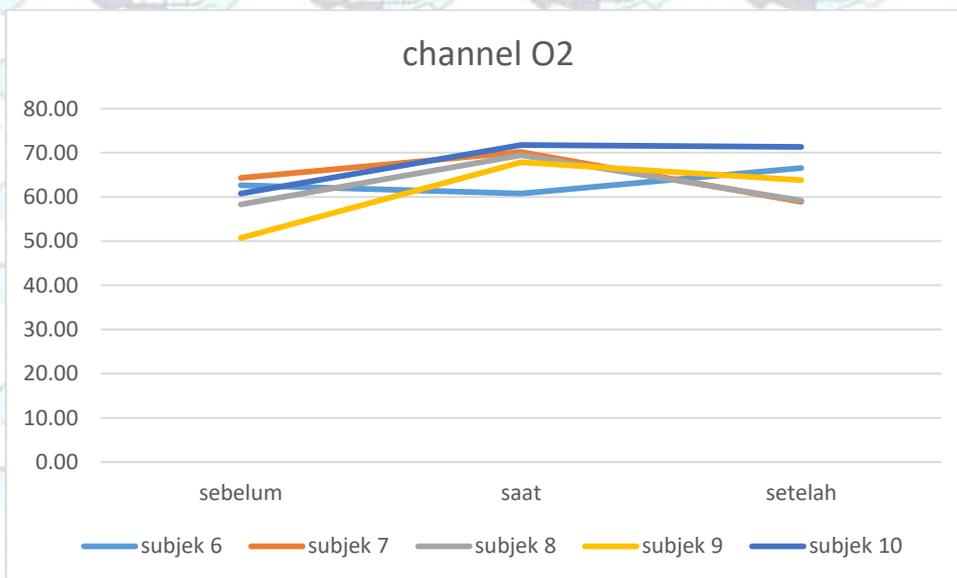
Gambar 4. 10. Diagram Hasil deteksi kehadiran gelombang alpha subjek 1-5 channel O1



Gambar 4. 11. Diagram Hasil deteksi kehadiran gelombang alpha subjek 6-10 channel O1



Gambar 4. 12. Diagram Hasil deteksi kehadiran gelombang alpha subjek 1-5 channel O2



Gambar 4. 13. Diagram Hasil deteksi kehadiran gelombang alpha subjek 1-5 channel O1

Berdasarkan hasil yang ditunjukkan pada gambar 4.9 hingga gambar 4.12, dapat dilihat bahwa tidak semua subjek naracoba memberikan hasil yang sama (mengalami peningkatan intensitas gelombang alpha). Subjek 6 mengalami penurunan intensitas gelombang alpha pada channel O1 maupun O2 saat



mendengarkan musik. Subjek 5 relatif tidak mengalami perubahan intensitas gelombang alpha sebelum, saat, maupun setelah mendengarkan musik. Sehingga dapat disimpulkan bahwa mendengarkan musik pilihan dapat membantu 80% subjek memasuki fase relaksasi dengan ditunjukkan oleh peningkatan intensitas gelombang alpha saat mendengarkan musik



(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab terakhir penelitian ini dimuat suatu kesimpulan dan saran hasil pengujian dan pembahasan yang telah dilakukan sebelumnya. Adapun kesimpulan dan saran ini bermanfaat bagi pengembangan penelitian selanjutnya.

5.1 KESIMPULAN

Pada penelitian ini dapat ditarik beberapa kesimpulan yaitu proses analisa amplitudo dan fase gelombang alpha berdasarkan hasil koefisien transformasi *wavelet* dapat digunakan untuk proses deteksi gelombang alpha menggunakan transformasi *wavelet* kontinyu.

Gelombang alpha terdeteksi mengalami peningkatan saat mendengarkan musik sebesar 8,34%-15,1% dan mengalami penurunan intensitas setelah musik berhenti diperdengarkan sebesar 17,11%-18,61%. Mendengarkan suara musik pilihan dapat membantu 80% subjek memasuki fase relaksasi dengan ditunjukkan oleh peningkatan intensitas gelombang alpha saat mendengarkan musik.

5.2 SARAN

Berdasarkan pada keterbatasan dalam penelitian ini, maka saran untuk penelitian-penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Proses penentuan nilai threshold dapat dikembangkan dengan metode lain yang mungkin lebih sesuai sehingga didapatkan hasil yang lebih akurat.
2. Pemilihan jenis musik dapat lebih spesifik untuk musik relaksasi, seperti musik klasik, natural, atau instrumental sehingga dapat memberikan hasil yang lebih maksimal.
3. Penelitian dapat dilakukan terhadap lebih banyak naracoba untuk mendapatkan lebih banyak data dan variasi.

- 
4. Proses deteksi dapat dikembangkan dengan menggunakan machine learning atau metode lainnya.
 5. Dapat dilanjutkan dan dikembangkan untuk menemukan pola gelombang relaksasi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. Vijayalakshmi, Ramachandran, S. Sridhar and P. Khanwani, "Estimation of Effects to Alpha Music on EEG Components by Time and Frequency Domain Analysis," in *International Conference on Computer and Communication Engineering (ICCCE)*, Kuala Lumpur, Malaysia, 2010.
- [2] E. C. Djamal, H. A. Tcokronegoro and Soegijanto, "The use of Wavelet Power Spectrum for Detection and Identification of Thinking-Induced EEG signals," *Majalah IPTEK*, vol. 16, no. 1, pp. 12-21, 2005.
- [3] D. Setyaningsih and T. Muis, "Pengaruh Penerapan Kombinasi Musik Klasik Dan Latihan Relaksasi Untuk Menurunkan Stress Pada Siswa Kelas XI IPA 2 SMA Intensif Taruna Pembangunan Surabaya," *Penelitian Bimbingan Dan Konseling*, Surabaya, 2012.
- [4] Widyastuti, H. Achjar and I. W. Surasta, "Perbedaan Efektifitas Terapi Musik dengan Teknik Relaksasi Progresif terhadap Peningkatan Kualitas Tidur Lansia di Banjar Peken Desa Sumerta Kaja," *Program Studi Ilmu Keperawatan*, Bali, 2012.
- [5] P. Sari, S. A. Adilatri and Suratiah, "Perbedaan Terapi Musik Klasik Mozart dengan Terapi Musik Kesukaan terhadap Intensitas Nyeri Haid pada Remaja Putri di SMA Negeri 5 Denpasar," *Universitas Udayana*, Bali, 2012.
- [6] Jacobs, G. D and R. Friedman, "EEG Spectral Analysis of Relaxation Techniques," *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, vol. 29, no. 4, pp. 245-254, 2004.
- [7] Hindarto, M. Hariadi and M. H. Purnomo, "Identifikasi Sinyal Elektro Encephalo Graph untuk Menggerakkan Cursor Menggunakan Teknik Sampling dan Jaringan Syaraf Tiruan," *Jurnal Ilmiah KURSOR*, vol. 6, no. 1, pp. 11-18, 2011.
- [8] A. Ahani, H. Wahbeh, H. Nezamfar, M. Miller, D. Erdogmus and B. Oken, "Quantitative change of EEG and respiration signals during mindfulness meditation," *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 2014.

- [9] L. Pei-Chen and L. Jenq-Shiun, "Quantification of Pseudo-Periodicity of Alpha Rhythm in Meditation EEG," *Journal of Medical and Biological Engineering*, vol. 25, no. 1, pp. 7-13, 2005.
- [10] J. Lagopoulos, "Increased Theta and Alpha EEG Activity During Nondirective Meditation," *THE JOURNAL OF ALTERNATIVE AND COMPLEMENTARY MEDICINE*, vol. 15, no. 11, pp. 1187-1192, 2009.
- [11] P. L. Nunez and B. A. Cutillo, *Neocortical dynamics and human EEG rhythms*, New York: Oxford University Press, 1995.
- [12] H. L. Atwood and W. A. MacKay, *Essentials of neurophysiology*, Toronto, Philadelphia: B. C. Decker, 1989.
- [13] E. Niedermeyer and F. Lopes Da Silva, *Electroencephalography: Basic Principles, Clinical Applications and Related Fields*, vol. 4, Baltimore: Lippincott Williams Wilkins, 1999.
- [14] D. J. McFarland, "Bci meeting 2005-workshop on bci signal processing: feature extraction and translation," *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, vol. 14, no. 2, p. 135 – 138, 2006.
- [15] W. Klimesch, "EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: a review and analysis," *Brain Research Reviews*, vol. 49, no. 2-3, pp. 169-195, 1999.
- [16] N. Birbaumer, "The thought translation device (TTD) for completely paralyzed patients," *Rehabilitation Engineering, IEEE Transactions on [see also IEEE Trans.on Neural Systems and Rehabilitation]*, vol. 8, no. 2, pp. 190-193, 2008.
- [17] [Online]. Available: http://www.meditationiseasy.com/instant_meditation/brain_waves_frequencies.php. [Accessed 5 Juni 2015].
- [18] S. Sanei and J. Chambers, *EEG Signal Processing*, England: John Wiley & Sons, Ltd, 2007.

- [19] O. Bazanova, "Comments for Current Interpretation EEG Alpha Activity: A Review and Analysis," *Journal of Behavioral and Brain Science*, vol. 2, pp. 239-248, 2012.
- [20] N. Sari, "Pengolahan Sinyal Digital," [Online]. Available: http://www.academia.edu/9368538/Pengolahan_Sinyal_Digital. [Accessed Desember 2018].
- [21] A. Nasuha, "Be-Smart," Februari 2010. [Online]. Available: <http://besmart.uny.ac.id/course/view/369>. [Accessed Desember 2018].
- [22] I. Kurniawan, "Bahan Ajar Matakuliah Pengolahan Sinyal," Juli 2009. [Online]. Available: http://rizal.blog.undip.ac.id/files/2009/07/1_Dipakai_diktat-pengolahan-sinyal-_uts.pdf. [Accessed Desember 2018].
- [23] B. A. Shenoi, *Introduction To Digital Signal Processing and Filter Design*, New Jersey: Wiley Interscience, 2006.
- [24] V. E. Pradana and Y. K. Suprpto, "High Performance Gamelan Analyzer using Adaptif Waveform Pattern Matching," *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, vol. 71, pp. 13-22, 2015.
- [25] S. Valipour, A. Shaligram and G. Kulkarni, "Spectral Analysis of EEG Signal for Detection of Alpha Rhythm with Open and Closed Eyes," *International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT)*, vol. 3, no. 6, 2013.



Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN

Form data naracoba penelitian EEG

Nama :

Jenis kelamin :

Usia :

Kondisi fisik : a. Stress b. Lelah/Mengantuk c. Biasa/fit

Tentang EEG : a. Tahu b. Tidak tahu

Rekam EGG : a. Pernah b. Tidak pernah

Judul musik pilihan : 1.

2.

3.

4.

Setelah mendengar musik pertama: (lingkari salah satu)

a. Tidak bisa tenang b. Biasa saja c. Merasa lebih tenang

d. Mengantuk e. Lainnya,

Setelah mendengar musik kedua: (lingkari salah satu)

a. Tidak bisa tenang b. Biasa saja c. Merasa lebih tenang

d. Mengantuk e. Lainnya,

Setelah mendengar musik ketiga: (lingkari salah satu)

a. Tidak bisa tenang b. Biasa saja c. Merasa lebih tenang

d. Mengantuk e. Lainnya,

Setelah mendengar musik keempat: (lingkari salah satu)

a. Tidak bisa tenang b. Biasa saja c. Merasa lebih tenang

d. Mengantuk e. Lainnya,

Hasil rekam EEG akan digunakan sebagai data penelitian:

a. Bersedia b. Tidak bersedia

Tanda Tangan Persetujuan,

(.....)

Halaman ini sengaja dikosongkan

BIODATA PENULIS



I. DATA PRIBADI

Nama Lengkap : Fera Putri Ayu Lestari
Tempat, Tanggal Lahir : Malang, 9 Februari 1991
Alamat : Jalan Bandulan Gang 1 No.18 Kec. Sukun
Kota Malang 65146
Kebangsaan/Suku : Indonesia/Jawa
Agama : Islam
Email : putri.fera@gmail.com

II. RIWAYAT PENDIDIKAN

SD : SD Negeri Tanjung Rejo III Malang (Lulus tahun 2003)
SMP : SMP Negeri 8 Malang (Lulus tahun 2006)
SMA : SMA Negeri 3 Malang (Lulus tahun 2008)
S1 : Universitas Muhammadiyah Malang / Fakultas Teknik /
Jurusan Teknik Informatika (Lulus tahun 2012)

Halaman ini sengaja dikosongkan