

TESIS

**PENGARUH *BINAURAL BEATS* ALFA TERHADAP
AKTIVITAS GELOMBANG ALFA DAN DERAJAT
RELAKSASI PADA ORANG DEWASA MUDA YANG SEHAT**

***THE EFFECT OF ALPHA BINAURAL BEATS ON
ALPHA WAVES ACTIVITIES AND RELAXATION DEGREE
IN HEALTHY YOUNG ADULTS***

Disusun dan diajukan oleh

ARMALIA

C115216207



**PROGRAM STUDI NEUROLOGI
FAKULTAS KEDOKTERAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2021**

**PENGARUH *BINAURAL BEATS* ALFA TERHADAP
AKTIVITAS GELOMBANG ALFA DAN DERAJAT
RELAKSASI PADA ORANG DEWASA MUDA YANG SEHAT**

KARYA AKHIR

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar Spesialis Neurologi

Program Pendidikan Dokter Spesialis-1 (Sp.1)

Program Studi Neurologi

Disusun dan diajukan oleh:

ARMALIA

Kepada:

**PROGRAM PENDIDIKAN DOKTER SPESIALIS-1
PROGRAM STUDI NEUROLOGI
FAKULTAS KEDOKTERAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2021**

LEMBAR PENGESAHAN (TUGAS AKHIR)

**PENGARUH *BINAURAL BEATS* ALFA TERHADAP
AKTIVITAS GELOMBANG ALFA DAN DERAJAT
RELAKSASI PADA ORANG DEWASA MUDA YANG SEHAT**

Disusun dan diajukan oleh :

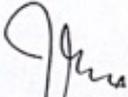
**ARMALIA
C115216207**

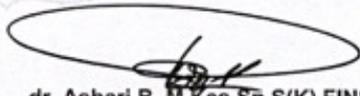
Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam
rangka Penyelesaian Studi Program Pendidikan Dokter Spesialis Program
Studi Neurologi Fakultas Kedokteran Universitas Hasanuddin
pada tanggal 20 Februari 2021
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,

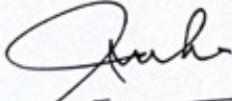
Pembimbing Pendamping,

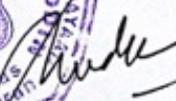

Dr. dr. Jumraini Tammase, Sp.S(K)
NIP. 19680723 200003 2 001


dr. Ashari B., M.Kes, Sp.S(K), FINS, FINA
NIP. 19770719 200912 2 002

Ketua Program Studi Neurologi
Fakultas Kedokteran Unhas,

Dekan Fakultas Kedokteran
Universitas Hasanuddin,


dr. Muh. Akbar, Ph.D, Sp.S(K), DFM
NIP. 19620921 198811 1 001


Prof. dr. Budu, Ph.D, Sp.M(K), M.Med.Ed
NIP. 19661231 199503 1 009



PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertandatangan di bawah ini

Nama : Armalia

Nomor Mahasiswa : C115216207

Program Studi : Neurologi

Jenjang : Program Pendidikan Dokter Spesialis-1 (Sp-1)

Menyatakan dengan ini bahwa Tesis dengan judul "**Pengaruh Binaural Beats Alfa Terhadap Aktivitas Gelombang Alfa dan Derajat Relaksasi pada Orang Dewasa Muda yang Sehat**" adalah karya saya sendiri dan tidak melanggar hak cipta pihak lain. Apabila di kemudian hari Tesis karya saya ini terbukti bahwa sebagian atau keseluruhannya adalah hasil karya orang lain yang saya pergunakan dengan cara melanggar hak cipta pihak lain, maka saya bersedia menerima sanksi.

Makassar, 20 Februari 2021

Yang Menyatakan,



Armalia

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur saya ucapkan kepada Allah Subhana Wa Ta'ala atas segala berkah dan rahmat yang diberikan kepada saya selaku penulis, sehingga naskah tesis ini dapat terselesaikan. Penulis yakin bahwa penyusunan tesis ini dapat terlaksana dengan baik berkat kerja keras, ketekunan, kesabaran, bantuan, bimbingan, dan kerjasama dari berbagai pihak.

Dengan selesainya tesis ini, penulis menyampaikan terima kasih yang tak terhingga kepada suami tercinta Nuradi Noor dan anak tercinta Sofi Adiya Raihana, yang telah mengerti, mendukung dan mendoakan penulis selama proses pendidikan. Kepada kedua orang tua tercinta yang telah tiada, Armyn Yusuf Sila dan Nurlina Saleh, tak henti-hentinya penulis menyampaikan doa dan penulis merasa sangat bersyukur bahwa impian kedua orang tua penulis telah terkabul. Kepada mertua tercinta, Dahlia Lohi, saudara-saudara tercinta Nani Aryani Armyn dan Wiryadi Armyn, serta seluruh keluarga besar yang telah mendukung, memberi semangat, dan mendoakan penulis selama masa pendidikan ini.

Penulis juga dengan tulus dan penuh rasa hormat menyampaikan penghargaan dan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Dr. dr. Jumraini Tammasse, Sp.S(K) sebagai ketua komisi penasihat, pembimbing akademik sekaligus sebagai Sekretaris Program Studi Neurologi Fakultas Kedokteran Unhas periode 2019-2023, dan juga kepada dr. Ashari Bahar,

M.Kes, Sp.S(K), FINS, FINA sebagai anggota komisi penasihat sekaligus sebagai Sekretaris Departemen Neurologi periode 2019-2023, serta kepada Dr. dr. Andi Kurnia Bintang, SP.S(K), MARS sebagai Kepala Departemen Neurologi periode 2019-2023 dan juga kepada dr. Muhammad Akbar, Ph.D, Sp,S(K), DFM selaku Ketua Program Studi Neurologi Fakultas Kedokteran Unhas periode 2019-2023 atas bantuan dan bimbingan yang telah diberikan dari sejak pendidikan dokter spesialis dimulai sampai selesainya tesis ini.

Tak lupa pula penulis sampaikan terima kasih serta penghargaan yang setinggi-tingginya kepada tim penguji: Dr. dr. Susi Aulina, Sp.S(K); dr. Muhammad Yunus Amran, Ph.D, Sp,S(K), FINR, FINA, FIPM; dan dr. Gita Vita Soraya, Ph,D; yang telah memberikan penilaian dan masukan yang sangat berharga dalam penyelesaian tesis ini.

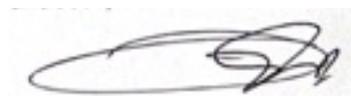
Penulis juga menghaturkan terima kasih kepada para guru dan supervisor : Prof. Dr. dr. Amiruddin Aliah, MM, Sp. S(K); dr. Louis Kwandou, Sp. S(K); dr. Abdul Muis, Sp. S(K); Dr, dr. Yudy Goysal, Sp.S(K); Dr. dr. Hasmawaty Basir, Sp. S(K); Dr. dr. David Gunawan Umbas, Sp. S(K); dr. Cahyono Kaelan, Ph.D, Sp. PA(K), Sp. S; Dr. dr. Nadra Maricar, Sp.S(K); Dr. dr. Audry Devisanty Wuysang, M.Si, Sp.S(K) ; dr. Ummu Atiah, Sp. S; dr. Mimi Lotisna, Sp. S; dr. Andi Weri Sompaa, Sp. S, M.Kes; dr. Moch. Erwin Rachman, Sp. S, M. Kes; dr. Anastasia Juliana, Sp.S; dr. Muh. Iqbal Basri, Sp. S, M. Kes; dr. Sri Wahyuni S. Gani, Sp.S, M.Kes; dr. Citra Rosyidah, Sp.S, M.Kes; dr. Nurussyariah Hammado Sp. N, dan dr. Lilian Triana Limoa,

M.Kes, Sp.S yang telah dengan senang hati membimbing dan memberi petunjuk kepada penulis selama masa pendidikan penulis maupun untuk tesis ini. Semoga Allah Subhana Wa Ta'ala senantiasa merahmati.

Terima kasih kepada teman sejawat residen, teman seperjuangan sejak tes masuk sampai selesai pendidikan, saudara-saudara saya Mighty Elf Januari 2017 (dr. Dwi A. Ayu Suminar, dr. Rahmawati, dr. Aayuh Khaeranih, dr. Agus Sulistyawati, dr Yuthim Oktiany R, dr. Zulfitri, dr. Tio Andrew Santoso, dr. Shinta Fithri H. Azis, dr. Raissa Alfaathir Heri, dan dr. Juliet C. G. Umbas), we did it guys. Terima kasih kepada teman-teman sejawat residen Neurologi Unhas atas bantuannya selama penulis menjalani masa pendidikan. Terima kasih kepada staf departemen Neurologi Fakultas Kedokteran Unhas Bapak Isdar Ronta, Sdr. Syukur, dan Ibu I Masse, SE, dan Sdr. Arfan yang setiap saat tanpa pamrih membantu, baik masalah administrasi maupun fasilitas perpustakaan serta bantuan-bantuan lain selama masa pendidikan yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Terakhir kepada berbagai pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah memberikan bantuan dan dukungan selama penulis menjalani pendidikan ini. Dengan segala kerendahan hati dan penuh syukur, saya sampaikan terima kasih.

Makassar, 20 Februari 2021



Armalia

ABSTRAK

ARMALIA. *Pengaruh Binaural Beats Alfa terhadap Aktivitas Gelombang Alfa dan Derajat Relaksasi pada Orang Dewasa Muda yang Sehat* (dibimbing oleh Jumraini Tamasse, Ashari Bahar, Susi Aulina, Muhammad Yunus Amran, dan Gita Vita Soraya)

Penelitian ini bertujuan mengetahui pengaruh *binaural beats alfa* terhadap *aktivitas gelombang alfa* dengan menggunakan *quantitative EEG* dan aplikasi *Neuroguide* serta derajat relaksasi dengan menggunakan skor *Relaxation Inventory Self Report Scale* pada orang dewasa muda yang sehat.

Desain penelitian adalah *eksperimental pretest – posttest design* pada 14 subjek selama Oktober hingga November 2020 di RSUP Dr. Wahidin Sudirohusodo Makassar. Pemberian *binaural beats alfa* dilakukan dengan aplikasi *smartphone*, yaitu *Brain Waves* menggunakan *Frequency Following Response (FFR)* 10 Hz selama 20 menit. Selanjutnya, dilakukan perekaman EEG selama 30 menit (5 menit sebelum intervensi, 20 menit selama intervensi, dan 5 menit sesudah intervensi) untuk menentukan nilai *FFT absolute power* dan koherensi gelombang alfa dengan *quantitative EEG* melalui aplikasi komputer, yaitu *Neuroguide*. Kemudian diukur perubahan skor *Relaxation Inventory Self Report Scale* serta tanda vital sebelum dan sesudah intervensi untuk melihat perubahan derajat relaksasi.

Hasil penelitian menunjukkan terdapat perbedaan *absolute power* dan koherensi gelombang alfa yang bermakna antara sebelum, selama, dan sesudah intervensi dengan nilai $p(<0.001) < 0.05$ yang menunjukkan adanya peningkatan *absolute power* dan koherensi gelombang alfa dengan menggunakan *binaural beats alfa*. Hasil penelitian juga menunjukkan perbedaan skor *Relaxation Inventory Self Report Scale* yang bermakna antara sebelum dan sesudah intervensi dengan nilai $p(0.001) < 0.05$ serta penurunan bermakna dari tekanan darah dan nadi $p<0.05$ yang menunjukkan adanya peningkatan derajat relaksasi dengan menggunakan *binaural beats alfa*.

Kata kunci: *binaural beats alfa*, *quantitative EEG*, relaksasi



ABSTRACT

ARMALIA. *The Effect of Alpha Binaural Beats on Alpha Wave Activities Relaxation Degree in Healthy Young Adults* (supervised by Jumraini Tammasse, Ashari Bahar, Susi Aulina, Muhammad Yunus Amran and Gita Vita Soraya).

The research aims at investigating the effect of the alpha *Binaural Beats* on the alpha wave activities using the quantitative EEG, *Neuroguide* application, and relaxation degree using the score of the *Relaxation Inventory Self-Report Scale* in the healthy young adults.

The research used the experimental *pre-test – post-test* design on 14 subjects from October to November 2020 in Central General Hospital Dr. Wahidin Sudirohusodo, Makassar. The alpha *Binaural Beats* were given by the *smartphone* application namely the *Brain Waves* using the *Frequency Following Response* (FFR) 10 Hz for 20 minutes. EEG recording was conducted for 30 minutes (5 minutes before the intervention, 20 minutes during the intervention, and 5 minutes after the intervention) to determine the value of FFT absolute power and alpha wave coherence with the quantitative EEG using *Neuroguide* computer application. Then the score of *Relaxation Inventory Self-Report Scale* and vital signs were measured before and after the intervention to perceive the relaxation degree changes.

The research result indicates that there are the significant difference of the absolute power and alpha wave coherence before, during, and after the intervention with the value of $p (<0.001) < 0.05$ which shows that there is the improvement of the absolute power and alpha wave coherence using the alpha binaural beats. The research result also indicates the significant difference of the score of the *Relaxation Inventory Self-Report Scale* before and after the intervention with value of $p (0.001) < 0.05$, and the significant decrease of the blood pressure and pulse $p < 0.05$ meaning that there is the improvement of the relaxation degree using the alpha *Binaural Beats*.

Key words: *Alpha Binaural Beats*, quantitative EEG, relaxation.



DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL.....	i
KARYA AKHIR.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN (TUGAS AKHIR)	iii
PERNYATAAN KEASLIAN	iv
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK	viii
ABSTRACT.....	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GRAFIK	xiv
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
DAFTAR SINGKATAN.....	xvii
BAB I.....	1
PENDAHULUAN.....	1
I.1 Latar Belakang	1
I.2. Rumusan Masalah	5
I.3. Hipotesis Penelitian.....	5
I.4 Tujuan Penelitian	5
I.4.1 Tujuan Umum	5
I.4.2 Tujuan Khusus.....	5
I.5 Manfaat Penelitian	6
BAB II.....	8
TINJAUAN PUSTAKA	8
II.1 Binaural Beats	8
II.1.1 Definisi Binaural Beats	8
II.1.2 Dasar Anatomi dan Fisiologi Binaural Beats	10
II.1.3 Binaural Beats Alfa	13

II.2 Gelombang Otak	14
II.2.1 Fisiologi Gelombang Otak	15
II.2.2 Jenis Gelombang Otak	16
II.3 Derajat Relaksasi	22
II.4. Korelasi Binaural Beats dengan Gelombang Otak.....	23
II.4.1 Binaural Beats dan Psikoakustik	23
II.4.2 Hubungan Binaural Beats dengan Gelombang Alfa.....	24
II.5 Quantitative EEG (Brain Mapping).....	26
II.4.1 Quantitative EEG dan Database Normatif	27
II.4.2 Terminologi Brain Map	29
II.4.3 Perekaman Quantitative EEG	33
II.6 Kerangka Teori.....	34
II.7 Kerangka Konsep.....	35
BAB III.....	36
METODE PENELITIAN	36
III.1 Desain Penelitian	36
III.2 Waktu dan Tempat Penelitian	36
III.3 Subjek Penelitian	36
III.3.1 Populasi Penelitian	36
III.3.2 Sampel Penelitian.....	37
III.3.3 Kriteria Inklusi	37
III.3.4 Kriteria Eksklusi	37
III.3.5 Kriteria Drop Out.....	38
III.3.6 Perkiraan Besar Sampel.....	38
III.4 Cara Pengumpulan Data.....	39
III.4.1 Alat dan Bahan	39
III.4.2 Cara Kerja	40
III.5 Identifikasi dan Klasifikasi Variabel	44
III.6 Definisi Operasional dan Kriteria Objektif	44
III.7 Analisis Data dan Uji Statistik	47
III.8 Izin Penelitian dan Kelaikan Etik.....	49

III.9 Alur Penelitian	50
BAB IV	51
HASIL PENELITIAN	51
IV.1 Karakteristik Subjek Penelitian	52
IV.2 Perubahan Absolute Power Gelombang Alfa	53
IV.3 Perubahan Koherensi Gelombang Alfa	57
IV.4 Perubahan Derajat Relaksasi sebelum dan setelah mendengarkan Binaural Beats Alfa.....	61
IV.4.1 Perubahan Skor Relaxation Inventory Self Report Scale IRISRS) sebelum dan setelah mendengarkan binaural beats alfa	61
IV.4.2 Perubahan tanda vital sebelum dan setelah mendengarkan binaural beats alfa	62
BAB V	64
PEMBAHASAN	64
BAB VI	71
SIMPULAN DAN SARAN	71
VI.1. Simpulan	71
VI.2. Saran	71
DAFTAR PUSTAKA.....	72
LAMPIRAN	80

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Jenis dan Frekuensi Gelombang Otak	22
Tabel 2. Karakteristik subjek penelitian	52
Tabel 3. Perbandingan FFT Absolute power gelombang alfa sebelum, selama, dan setelah mendengarkan binaural beats alfa	53
Tabel 4. Perbandingan Brain Mapping Z-Score FFT Absolute Power Gelombang Alfa sebelum, selama, dan setelah mendengarkan binaural beats alfa	56
Tabel 5. Perbandingan Koherensi gelombang alfa sebelum, selama, dan setelah mendengarkan binaural beats alfa	57
Tabel 6. Perbandingan Brain Mapping FFT Koherensi Gelombang Alfa sebelum, selama, dan setelah mendengarkan binaural beats alfa.....	60
Tabel 7. Perbandingan Skor Relaxation Inventory Self Report Scale (RISRS) sebelum dan setelah mendengarkan binaural beats alfa.....	61
Tabel 8. Perbandingan tekanan darah serta nadi sebelum dan setelah mendengarkan binaural beats alfa	62

DAFTAR GRAFIK

Grafik 1. Perbandingan FFT Absolute Power Gelombang Alfa sebelum, selama, dan setelah mendengarkan binaural beats alfa. p value menandakan uji Friedman. Error bar menunjukkan standar deviasi (SD) 54	
Grafik 2. Perbandingan FFT Absolute power gelombang alfa per lobus serebri sebelum dan selama mendengarkan binaural beats alfa serta sebelum	55
Grafik 3. Perbandingan Koherensi Intrahemisferik kiri dan kanan sebelum, selama, dan setelah mendengarkan binaural beats alfa. p value menandakan uji Friedman. Error bar menunjukkan standar deviasi (SD) 58	
Grafik 4. Perbandingan koherensi intrahemisferik dan interhemisferik gelombang alfa sebelum, selama, dan setelah mendengarkan binaural beats alfa. p value menandakan uji Friedman. Error bar menunjukkan standar deviasi (SD)	59
Grafik 5. Perbandingan derajat relaksasi yang ditunjukkan oleh skor Relaxation Inventory Self Report Scale sebelum dan setelah mendengarkan binaural beats alfa. p value menandakan uji Wilcoxon. Error bar menunjukkan standar deviasi (SD).....	62
Grafik 6. Perbandingan tekanan darah serta nadi sebelum dan setelah mendengarkan binaural beats alfa. p value menandakan Uji T Berpasangan untuk tekanan darah diastol dan nadi, serta Uji Wilcoxon untuk tekanan darah sistol. Error bar menunjukkan standar deviasi (SD).	63

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Binaural Beats	9
Gambar 2. Gelombang delta (Abhang et al., 2016b).....	17
Gambar 3. Gelombang theta (Abhang et al., 2016b).....	18
Gambar 4. Gelombang alfa (Abhang et al., 2016b).....	19
Gambar 5. Gelombang beta (Abhang et al., 2016b).....	21
Gambar 6. Gelombang gamma (Abhang et al., 2016b).....	22
Gambar 7. Z score (Wigton, 2015)	29
Gambar 8. Z-Score FFT absolute power dan koherensi sebelum dan setelah neurofeedback (Collura et al., 2010).....	32
Gambar 9. Mesin EEG Cadwell Easy	39
Gambar 10. Headphone JBL T450BT Wireless	40
Gambar 11. Penempatan elektroda standar sistem internasional 10-20 (Abhang et al., 2016b)	41

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Uji Normalitas Data	80
Lampiran 2. Data Mean FFT Absolute Power Gelombang Alfa QEEG (14 subjek penelitian).....	81
Lampiran 3. Data Mean FFT Koherensi Gelombang Alfa QEEG (14 subjek penelitian)	82
Lampiran 4. Data Hasil Skor Relaxation Inventory Self Report Scale	84
Lampiran 5. Rekomendasi Persetujuan Etik.....	85
Lampiran 6. Naskah Penjelasan pada Subjek Penelitian	86
Lampiran 7. Formulir Persetujuan Mengikuti Penelitian	89
Lampiran 8. Mood and Feeling Questionnaire (MFQ)	90
Lampiran 9. Kuisisioner Pemeriksaan Relaxation Inventory Self Report Scale	91
Lampiran 10. Aplikasi Binaural Beats Brain Waves beserta Pengaturan Aplikasi	93
Lampiran 11. Formulir Penelitian	94
Lampiran 12. Tabel Pemeriksaan Tanda Vital dan Saturasi Subjek Penelitian sebelum dan setelah intervensi	95
Lampiran 13. Perbandingan FFT Absolute power gelombang alfa sebelum dan selama mendengarkan binaural beats alfa menurut tinjauan anatomis	96
Lampiran 14. Perbandingan Absolute power gelombang alfa sebelum dan setelah mendengarkan binaural beats alfa menurut tinjauan anatomis ...	97

DAFTAR SINGKATAN

Singkatan	Arti dan Keterangan
ADHD	: <i>Attention Deficit Hiperactivity Disorder</i>
DASS	: <i>Depression Anxiety Stress Scale</i>
dB	: desibel
EEG	: <i>Electroencephalography</i>
EKG	: Elektrokardiogram
EPSP	: <i>Excitatory Postsynaptic Potential</i>
et al.	: dan kawan-kawan
FFR	: <i>Frequency Following Response</i>
FFT	: <i>Fast Fourier Transformation</i>
HFF	: <i>High Frequency Filter</i>
Hz	: Hertz
LC	: Lobus Sentral
LH	: <i>Left Hemisphere</i> / Hemisfer kiri

LF	: Lobus Frontal
LFF	: <i>Low Frequency Filter</i>
LO	: Lobus Occipital
LP	: Lobus Parietal
LT	: Lobus Temporal
MMSE	: <i>Mini Mental State Examination</i>
MPPDS	: Mahasiswa Program Pendidikan Dokter Spesialis
IPSP	: <i>Inhibitory Postsynaptic Potential</i>
MFQ	: <i>Mood and Feelings Questionnaire</i>
PDR	: <i>Posterior Dominant Rhythm</i>
PTSD	: <i>Post Traumatic Stress Disorder</i>
QEEG	: <i>Quantitative EEG / brain mapping</i>
RISRS	: <i>Relaxation Inventory Self Report Scale</i>
RH	: <i>Right Hemisphere / Hemisfer kanan</i>
RSUP	: Rumah Sakit Umum Pusat

SD : Standar deviasi

$\mu\text{V}^2/\text{Hz}$: Satuan *absolute power*

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Psikoakustik merupakan ilmu tentang respon sensorik auditorik otak terhadap stimulasi fisik dari gelombang suara yang diterima dari luar. Menurut Moore pada tahun 2006, psikoakustik merupakan ilmu mengenai efek suara terhadap otak, terutama gelombang otak (Moore, 2006). Riset melaporkan bahwa aktivitas gelombang otak tidak hanya menunjukkan kondisi pikiran dan tubuh seseorang, tetapi dapat juga distimulasi untuk mengubah kondisi mental seseorang. Dengan mengkondisikan otak agar memproduksi atau mereduksi jenis frekuensi gelombang otak tertentu, dimungkinkan untuk menghasilkan beragam kondisi mental dan emosional. Proses meningkatkan kondisi gelombang otak normal telah dilakukan oleh banyak ilmuwan dan praktisi medis. Kegunaannya tidak hanya terbatas pada penyembuhan penyakit temporer, mengurangi stress, depresi, kegelisahan, serta mengatasi insomnia, tetapi juga memudahkan relaksasi dan meditasi (Claproth, 2010).

Salah satu contoh penerapan psikoakustik adalah *binaural beats*. *Binaural beats* merupakan suatu sensasi pendengaran yang sifatnya subjektif, yang timbul dari dua suara berfrekuensi rendah yang sedikit berbeda. *Binaural beats* ini ditemukan oleh seorang peneliti berkebangsaan Jerman bernama H.W. Dove pada tahun 1839 (Kasprzak, 2011).

Kemampuan *binaural beats* untuk mempengaruhi gelombang otak diyakini bergantung pada prinsip *entrainment* gelombang otak. Secara umum, prinsip *entrainment* adalah dua frekuensi berdekatan yang ritmenya menyatu satu sama lain. Menurut Atwater, *binaural beats* akan mempengaruhi *entrainment* kedua hemisfer serebri pada frekuensi yang sama, menetapkan lingkungan elektromagnetik yang ekuivalen dan memaksimalkan komunikasi neural interhemisferik. Teori dari *entrainment* gelombang otak bekerja pada hemisfer kiri dan kanan, dimana keduanya bekerja bersama-sama untuk menghasilkan sinyal elektrik yang ketiga, yang dirasakan sebagai suatu suara yang nyata (Atwater, 1997).

Stimulasi auditorik dalam bentuk *binaural beats* diberikan dalam berbagai rentang gelombang yang sinkron dengan gelombang otak, yaitu theta, delta, alfa, beta, dan gamma. Masing-masing frekuensi memberikan efek yang berbeda (Becher et al., 2015). Efek subjektif dari mendengarkan *binaural beats* dapat memberikan efek relaksasi atau stimulasi, bergantung pada frekuensi *binaural beats* yang digunakan (Brady & Stevens, 2000).

Penelitian yang dilakukan oleh Santoso, T.A tahun 2020 pada 35 subjek yang sehat menunjukkan perbaikan *working memory* dan atensi setelah diperdengarkan *binaural beats* gelombang beta selama 15 menit (Santoso, 2020). Penelitian yang dilakukan oleh Frederick On dan R. Jailani tahun 2013 pada 33 subjek yang sehat menunjukkan peningkatan gelombang delta pada kedua hemisfer setelah diberikan *brainwave entrainment*. Efek ini sama dengan efek yang ditimbulkan saat seseorang

melakukan meditasi yang membantu mencapai kondisi relaks (On et al., 2013).

Telah banyak dilaporkan proses fisiologis dan psikologis yang dipengaruhi oleh *binaural beats alfa*. Penelitian oleh Puzi et al., tahun 2013 melaporkan bahwa *binaural beats* alfa mampu meningkatkan frekuensi gelombang alfa yang diukur dengan EEG pada 33 orang subjek penelitian. Peningkatan gelombang alfa ditandai dengan subjek penelitian yang merasa lebih rileks ketika mendengarkan *binaural beats* alfa tersebut (Puzi et al., 2013). Penelitian oleh Gupta et al menunjukkan bahwa stimulasi dengan *binaural beats* alfa selama 20 menit membantu partisipan untuk mencapai kondisi relaksasi dan meditasi dengan lebih cepat dan efektif jika dibandingkan dengan proses meditasi konvensional (Shekar et al., 2018). Penelitian yang dilakukan oleh Cruceanu dan Rotarescu pada tahun 2103 menunjukkan bahwa *brainwave entrainment* dengan menggunakan *binaural beats* alfa memiliki efek yang signifikan terhadap area kognitif (Cruceanu & Rotarescu, 2013).

Akan tetapi, tidak sedikit pula peneliti yang melaporkan hasil yang berbeda. Penelitian oleh Caballero & Escera pada tahun 2017 pada 14 orang sampel dengan kisaran usia 20 – 31 tahun yang diperdengarkan *binaural beats* alfa selama 3 menit tidak terbukti meningkatkan *alpha power* (López-Caballero & Escera, 2017). Sama halnya dengan penelitian yang dilakukan oleh Solca et al., pada tahun 2016 pada 9 orang sampel berusia 25 – 34 tahun yang diperdengarkan *binaural beats* alfa selama 30 menit

tidak menunjukkan adanya peningkatan *absolute power* alfa (Solcà et al., 2016).

Penelitian yang menilai tentang *binaural beats* alfa terhadap gelombang otak alfa dengan menggunakan *quantitative EEG* telah dilakukan oleh peneliti-peneliti luar negeri sejak beberapa dekade yang lalu tetapi dengan hasil yang masih kontroversial. Di Indonesia, penelitian dengan menggunakan instrumen yang sama masih sangat kurang. Selain itu, penelitian ini direncanakan dilakukan pada Mahasiswa Program Pendidikan Dokter Spesialis (MPPDS) Neurologi Fakultas Kedokteran Universitas Hasanuddin yang pada kesehariannya bekerja sebagai dokter yang disamping merawat pasien – pasien neurologi umum, juga merawat pasien neurologi yang terdampak COVID-19 dimana hal tersebut merupakan suatu stressor yang berat sehingga mereka membutuhkan metode relaksasi yang praktis dan mudah dilakukan.

Berdasarkan kenyataan-kenyataan tersebut di atas dan mengingat banyaknya manfaat yang dapat diperoleh dari *binaural beats* alfa, maka peneliti tertarik untuk melakukan penelitian untuk melihat pengaruh *binaural beats* alfa terhadap gelombang alfa dan derajat relaksasi dengan menggunakan *quantitative EEG / brain mapping*.

I.2. Rumusan Masalah

Apakah terdapat pengaruh mendengarkan *binaural beats* alfa terhadap aktivitas gelombang alfa dan derajat relaksasi pada orang dewasa muda yang sehat ?

I.3. Hipotesis Penelitian

Terdapat pengaruh *binaural beats* alfa terhadap aktivitas gelombang alfa pada orang dewasa muda yang sehat.

Terdapat pengaruh *binaural beats* alfa terhadap derajat relaksasi pada orang dewasa muda yang sehat.

I.4 Tujuan Penelitian

I.4.1 Tujuan Umum

Mengetahui pengaruh mendengarkan *binaural beats* alfa terhadap gelombang alfa dan derajat relaksasi pada orang dewasa muda yang sehat.

I.4.2 Tujuan Khusus

1. Menghitung *Fast Fourier Transform* (FFT) *absolute power* pada gelombang alfa sebelum, selama, dan setelah mendengarkan *binaural beats* alfa.
2. Menetapkan perbedaan *absolute power* pada gelombang alfa sebelum, selama, dan setelah mendengarkan *binaural beats* alfa.

3. Menghitung FFT koherensi pada gelombang alfa sebelum, selama, dan setelah mendengarkan *binaural beats alfa*.
4. Menetapkan perbedaan koherensi pada gelombang alfa sebelum, selama, dan setelah mendengarkan *binaural beats alfa*.
5. Menghitung derajat relaksasi sebelum dan setelah mendengarkan *binaural beats alfa*.
6. Menetapkan perbedaan derajat relaksasi sebelum dan setelah mendengarkan *binaural beats alfa*.

I.5 Manfaat Penelitian

1. Penelitian ini akan memberikan pengetahuan dan kontribusi terhadap perkembangan ilmu pengetahuan neurosains dan khususnya mengenai pengaruh *binaural beats alfa* terhadap gelombang alfa dan derajat relaksasi.
2. Penelitian ini dapat menjadi sumber referensi bagi peneliti lain dalam melakukan penelitian selanjutnya terkait dengan pengaruh mendengarkan *binaural beats alfa* terhadap fungsi kognitif seperti atensi, memori, dan fungsi kognitif lainnya.
3. Penelitian ini dapat menjadi sumber referensi bagi peneliti lain dalam melakukan penelitian selanjutnya terkait dengan pengaruh *binaural beats alfa* terhadap pasien dengan penyakit

neuropsikiatri seperti demensia, ansietas, depresi, dan sebagainya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 *Binaural Beats*

II.1.1 Definisi *Binaural Beats*

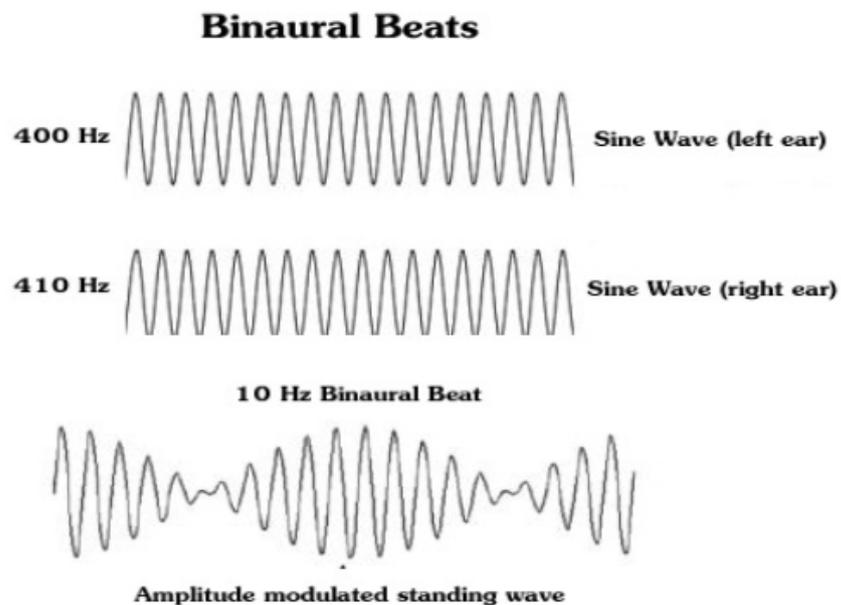
Ketika suatu bunyi dengan suatu intensitas dan frekuensi diperdengarkan ke salah satu telinga dan telinga yang lain dengan intensitas yang sama akan tetapi dengan frekuensi yang sedikit berbeda, otak akan menghasilkan pulsasi dengan amplitudo dan lokalisasi yang sama dengan suara yang diterima, yang disebut sebagai suatu "*binaural beats*" atau "*binaural tones*" (Gao et al., 2014).

Binaural beats merupakan suatu sensasi pendengaran yang sifatnya subjektif, yang timbul dari dua suara berfrekuensi rendah yang sedikit berbeda. *Binaural beats* ini ditemukan oleh seorang peneliti berkebangsaan Jerman bernama H.W. Dove pada tahun 1839 (Kasprzak, 2011).

Menurut Gerald Oster, *binaural beats* dapat dihasilkan dengan mengirimkan nada-nada yang berbeda secara terpisah ke masing-masing telinga untuk menghasilkan satu denyutan "*phantom*" ketiga ke dalam otak yang diterjemahkan oleh otak sebagai suatu nada yang berbeda. Jadi dapat disimpulkan bahwa *binaural beats* terjadi ketika otak mendeteksi satu perbedaan fase yang diterjemahkan sebagai suatu ritme yang fluktuatif (Atwater, 1997).

Untuk membuat suatu *binaural beat*, kondisi-kondisi berikut harus terjadi :

- Satu nada tunggal (*sine wave*), misalnya frekuensi 400 Hz dikirimkan ke telinga kiri melalui *headphone*
- Satu nada tunggal (*sine wave*), misalnya frekuensi 410 Hz dikirimkan ke telinga kanan melalui *headphone*.



Gambar 1. *Binaural Beats*

Pada contoh kasus di atas, kedua nada yang membawa frekuensi 400 Hz dan 410 Hz memiliki amplitudo yang sama, oleh karena itu keluaran/*output* adalah satu gelombang 10 Hz amplitudo *modulated*, yang disebut *binaural beats* (Curtis, 2007).

Binaural beats dapat dihasilkan ketika perbedaan frekuensi antara dua nada berkisar antara 2 Hz hingga 30 Hz. Selain itu, terdapat anjuran bahwa nada dengan frekuensi berkisar antara 200 Hz hingga 900 Hz mungkin lebih efektif dalam memunculkan *binaural beats* dibandingkan dengan nada yang frekuensinya lebih dari 1000 Hz (Vernon et al., 2014)

II.1.2 Dasar Anatomi dan Fisiologi *Binaural Beats*

Para peneliti di bidang psikoakustik menyetujui bahwa *binaural beats* berasal dari nukleus olivarius superior, dan merupakan suatu respon auditorik batang otak yang berasal dari tiap hemisfer (Curtis, 2007). Neuron-neuron di korpus olivari superior yang terletak di batang otak sifatnya sensitif terhadap perubahan fase antara kedua telinga, suatu mekanisme yang memungkinkan lokalisasi suara. Neuron-neuron ini memancarkan aksi potensial sebagai respon terhadap perbedaan frekuensi diantara kedua telinga, dan menyebabkan suatu persepsi subjektif dari frekuensi *binaural beats* (Becher et al., 2015). Traktus auditorik pada otak memastikan pertukaran informasi auditorik antara dua sisi otak, sebelum suara mencapai korteks auditorik, memastikan bahwa proses tersebut adalah proses pendengaran yang sadar (Schwarz & Taylor, 2005).

Meskipun mekanisme *binaural beats* tidak sepenuhnya dipahami, diduga bahwa elemen pendengaran dari stimulasi *Binaural Beat* memodulasi aktivitas otak endogen dengan mengaktifkan sel silia yang sensitif terhadap tekanan di dalam koklea telinga. Sinyal auditorik dari

masing – masing telinga dikonduksikan pada jalur auditorik *ascending* sisi ipsilateral. Namun, di batang otak, sinyal auditorik dari kedua sisi akan menuju nukleus olivarius superior, yaitu nukleus pertama dari jalur auditorik *ascending* yang menerima sinyal auditorik bilateral (Ross et al., 2014). Pada perekaman gelombang otak pada hewan coba telah diungkapkan bahwa respons perubahan gelombang otak yang paling awal ditimbulkan oleh stimulasi *binaural beat* adalah pada nukleus olivarius superior di batang otak. Lebih lanjut pada penelitian ini juga didapatkan respons pada kolikulus inferior di mesensefalon sama dengan FFR dari *Binaural Beat* (López-Caballero & Escera, 2017).

Potensial listrik yang ditimbulkan kemudian ditransmisikan melalui korpus geniculatum medial ke talamus di mana informasi sensoris auditorik diproses. Dari talamus, aktivitas listrik "*entrain*" disebarkan melalui sirkuit talamo-kortikal ke seluruh sistem limbik dan korteks serebri. Hal yang penting adalah efek samping yang ditimbulkan minimal; satu-satunya kontraindikasi yang diketahui untuk orang dewasa adalah riwayat kejang (Tang et al., 2014).

Jika frekuensi *Binaural Beat* terus menerus beresonansi di seluruh otak melalui frekuensi yang terbentuk dari kedua nada (*Frequency Following Response /FFR*), hal ini dapat menyebabkan perubahan gelombang otak. Ketika otak diberikan stimulus berulang, ritme akan terekonstruksi di otak dalam bentuk impuls listrik. Saat ritme menjadi cepat dan teratur, ia akan mempunyai kemiripan dengan ritme internal otak.

Dalam proses ini, otak bereaksi dengan menyinkronkan siklus listrik internal dengan ritme yang diberikan. Ketika otak mendapatkan stimulus FFR, otak akan memancarkan muatan listrik dalam reaksi, yang disebut *Cortical Evoked Response*. Jadi dengan menggunakan frekuensi *Binaural Beat* yang tepat dapat digunakan untuk menghasilkan gelombang kortikal yang tepat (V. Sharma et al., 2019).

Analisa distribusi spasial dari FFR dapat menimbulkan *Cortical Evoked Response* terutama pada korteks lobus frontal, parietal, dan temporal, termasuk korteks auditorik (S et al., 2006). Biasanya korteks hemisfer kiri dan kanan menghasilkan pola dan frekuensi gelombang otak yang tidak sama, di mana satu hemisfer lebih aktif, biasanya sebelah kanan. Kedua hemisfer otak biasanya saling bekerja sama dalam menerima sinyal yang berbeda untuk membuat keseimbangan aktivitas antara kedua korteks serebri (Garcia-Argibay et al., 2019).

Pengaruh ini dapat diukur pada korteks serebri dengan menggunakan perekaman EEG. Jika FFR yang diberikan adalah 10 Hz maka akan terjadi perubahan gelombang otak menjadi 10 Hz (Padmanabhan et al., 2005). Rata – rata diperlukan waktu 5 menit untuk melihat efek FFR pada gelombang EEG (S. Sharma et al., 2017). Pemberian *Binaural Beat* terlalu lama yaitu 30 menit atau lebih dapat meningkatkan insidens habituasi (Garcia-Argibay et al., 2019). Habituasi adalah kondisi bawah alam sadar mulai terbiasa dan mengabaikan *Binaural beats* karena prediktabilitasnya (S. Sharma et al., 2017).

II.1.3 *Binaural Beats* Alfa

Pada penelitian-penelitian terbaru, stimulasi auditorik dalam bentuk *binaural beats* diberikan dalam berbagai rentang gelombang yang sinkron dengan gelombang otak, yaitu theta, delta, alfa, beta, dan gamma. Masing-masing frekuensi memberikan efek yang berbeda (Becher et al., 2015). Efek subjektif dari mendengarkan *binaural beats* dapat memberikan efek relaksasi atau stimulasi, bergantung pada *frequency following response* serta gelombang otak yang muncul selama mendengarkan *binaural beats* tersebut (Brady & Stevens, 2000).

Telah banyak dilaporkan proses fisiologis dan psikologis yang dipengaruhi oleh *binaural beats* alfa, antara lain dapat membantu mengurangi kecemasan, untuk memperdalam relaksasi pada meditasi, dan untuk meningkatkan kemungkinan hipnosis. *Binaural beats* alfa juga dapat membantu meningkatkan memori dan kewaspadaan seseorang. Selain itu, juga dapat membantu dalam kinerja psikomotor yang mengarah kepada perasaan bahagia (Gao et al., 2014). Penelitian oleh On et al., tahun 2013 menunjukkan bahwa *binaural beats* telah memberikan efek yang sama dengan meditasi, yang membantu subjek menjadi santai. Ketika mendengarkan *binaural beats* selama beberapa waktu tanpa melakukan hal lainnya, subjek kemungkinan besar menjadi sangat mengantuk dan santai (On et al., 2013).

Sebuah penelitian oleh Gupta et al pada 40 orang subjek menunjukkan bahwa stimulasi dengan *binaural beats* alfa selama 20 menit

membantu partisipan untuk mencapai kondisi relaksasi dan meditasi dengan lebih efektif. Penelitian oleh Kalyan dan Kaushal yang dilakukan pada 40 orang subjek penelitian menunjukkan perbaikan memori dan atensi setelah dilakukan entrainment dengan *binaural beats* frekuensi alfa selama 2 menit yang diberikan dalam 3 sesi dalam kurun waktu 3 hari (Shekar et al., 2018). Penelitian yang dilakukan oleh Cruceanu dan Rotarescu pada 30 orang subjek pada tahun 2103 menunjukkan bahwa *brainwave entrainment* dengan menggunakan *binaural beats* alfa frekuensi 10 Hz yang diperdengarkan selama 30 menit, memiliki efek yang signifikan terhadap area kognitif dan meyakini bahwa jika binaural beats alfa diberikan secara berulang dan sistematis dapat membentuk koneksi sinaptik yang baru yang pada akhirnya dapat meningkatkan *intelligence coefficient* (IQ) (Cruceanu & Rotarescu, 2013).

II.2 Gelombang Otak

Pengetahuan akan sumber dari gelombang otak pada manusia telah diketahui sejak tahun 1920 ketika Hans Berger, seorang psikiatri berkebangsaan Jerman, menemukan elektroensefalografi (EEG). Hal ini disebut sebagai suatu tes gelombang otak dimana sel-sel otak berkomunikasi dengan cara memproduksi impuls-impuls elektrik yang kecil. Pada suatu perekaman EEG, elektroda ditempatkan pada kulit kepala di beberapa daerah di otak untuk mendeteksi dan merekam pola-pola aktivitas listrik (Curtis, 2007).

Daerah-daerah di otak ini tidak menghasilkan frekuensi gelombang yang sama secara simultan. Satu sinyal EEG antara elektroda yang ditempatkan di kulit kepala terdiri dari banyak gelombang dengan berbagai karakteristik. Selain itu, gelombang otak sangatlah unik karena pola dan karakteristiknya berbeda-beda pada setiap individu (Abhang et al., 2016b).

II.2.1 Fisiologi Gelombang Otak

Gelombang otak dibentuk melalui suatu proses *dual action-a push-pull*. Suatu siklus dimulai ketika satu *terminal button* melepaskan neurotransmitter dengan tujuan untuk mengeksitasi neuron yang berdekatan. Eksitasi berakhir ketika proses berbalik arah akibat adanya suatu respon inhibitorik. Terdapat 2 (dua) proses dalam pembentukan gelombang otak, (1) *Excitatory postsynaptic potential* (EPSP); (2) *Inhibitory postsynaptic potential* (IPSP). Masing-masing dendrit dari neuron yang berdekatan dapat tereksitasi atau terdepolarisasi melalui pelepasan dari suatu neurotransmitter eksitasi. Proses inhibitorik dirangsang oleh pelepasan suatu neurotransmitter inhibitorik (Demos, 2005).

Thalamus dan struktur-struktur kortikal yang lain membentuk aktivitas EEG yang ritmik. Sinyal-sinyal bergerak ke atas menuju korteks serebral, kemudian kembali ke bawah menuju ke thalamus. Proses ini terjadi berulang-ulang. Dapat dibayangkan ritme total yang dihasilkan oleh jutaan neuron-neuron yang berkomunikasi. Satu sensor diletakkan pada kulit kepala mampu membawa sejumlah aktivitas ritmik ini pada level

kortikal. Informasi kemudian dikirimkan ke suatu unit EEG yang menunjukkan produk/hasil akhir, yaitu gelombang otak. Gelombang otak merupakan suatu hasil atau produk dari EPSP dan IPSP dan bukan merupakan suatu pengukuran langsung dari aksi-aksi potensial. Neurotransmitter merupakan materi kimiawi yang dikirimkan ke dalam *synaptic gap* dari *synaptic button* dengan tujuan untuk mengeksitasi dendrit yang terletak pada neuron yang berdekatan (Demos, 2005).

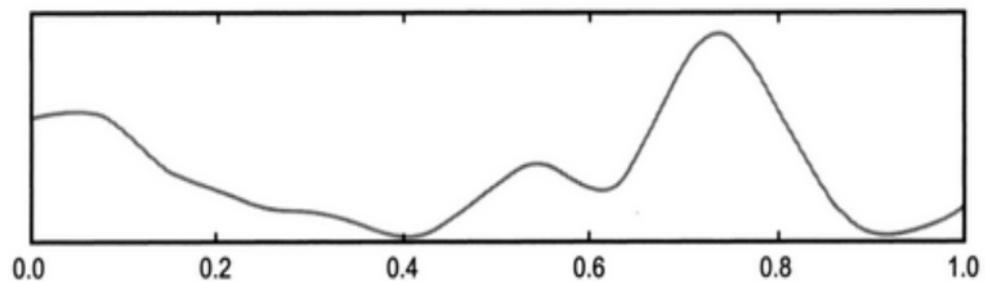
II.2.2 Jenis Gelombang Otak

Gelombang otak dikategorikan ke dalam 5 gelombang utama dan dapat berhubungan langsung dengan kondisi psikologis dan fisiologis tertentu (Curtis, 2007). Jenis gelombang otak ini terdiri dari gelombang delta, theta, alfa, beta dan gamma. Setiap orang memproduksi kelima jenis gelombang otak pada waktu – waktu tertentu. Kondisi kesadaran seseorang ditentukan oleh gelombang otak yang dominan pada suatu waktu tertentu (On et al., 2013).

a. Gelombang delta

Gelombang delta adalah gelombang otak yang paling lambat, berkisar pada frekuensi 0,5 – 3 Hz. Jenis gelombang ini paling banyak ditemukan pada neonatus dan anak-anak, dan berhubungan dengan relaksasi yang dalam serta tidur yang sifatnya restorative. Gelombang delta sering terlihat pada trauma otak, gangguan belajar,

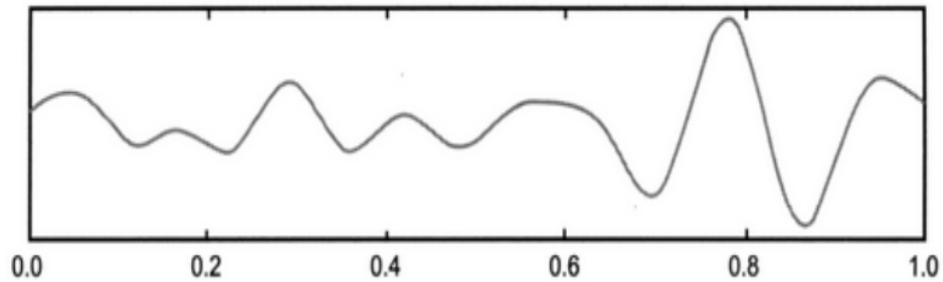
ketidakmampuan untuk berpikir, dan *Attention Deficit Hyperactivity Disorder* (ADHD) berat. Jika gelombang ini tersupresi, akan menyebabkan ketidakmampuan untuk merejuvenasi tubuh dan revitalisasi otak, serta buruknya kualitas tidur. Jumlah gelombang delta yang adekuat membantu meningkatkan sistem imun, pemulihan secara alamiah, serta mencapai tidur yang dalam (Abhang et al., 2016a).



Gambar 2. Gelombang delta (Abhang et al., 2016b)

b. Gelombang theta

Gelombang theta merupakan gelombang otak yang berada pada frekuensi 4-7 Hz dengan amplitudo maksimal di sekitar *midline* frontal dan dinamakan sebagai *frontal midline theta rhythm*. *Frontal midline theta* berbeda pada masing-masing individu. Jumlah *frontal midline theta* berkorelasi negatif dengan kondisi ansietas dan berkorelasi positif dengan kondisi neurotik (Kropotov, 2009).



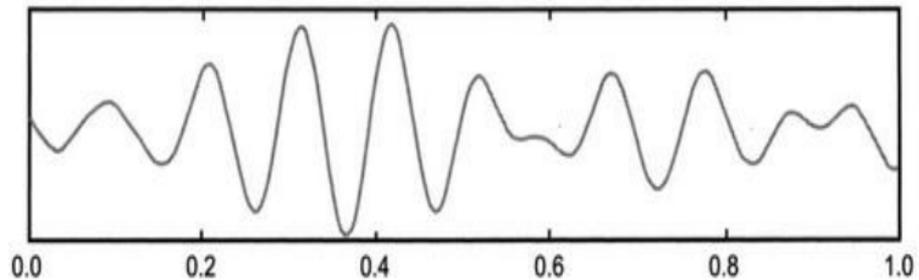
Gambar 3. Gelombang theta (Abhang et al., 2016b)

Gelombang theta diketahui dapat memfasilitasi *encoding* dari memori episodik yang sementara menjadi memori episodik jangka panjang (Dehaene, 2013). Peningkatan aktifitas EEG pada gelombang lambat berfrekuensi rendah (gelombang theta dan delta) dengan peningkatan latensi dan penurunan amplitudo dapat ditemukan pada penyakit metabolik seperti diabetes melitus (Baskaran et al., 2013).

c. Gelombang alfa

Gelombang alfa merupakan gelombang otak yang berada pada frekuensi 8-13 Hz. Gelombang alfa adalah salah satu jenis gelombang otak yang dideteksi oleh EEG dan terutama berasal dari lobus oksipital selama relaksasi dengan mata tertutup. Karena letaknya di lobus oksipital, maka gelombang alfa dinamakan *posterior dominant rhythm* (PDR). Gelombang alfa juga disebut sebagai *relaxed alertness* (kewaspadaan yang rileks) atau kadang

juga disebut *relaxed awareness* (kesadaran yang rileks) (Dehaene, 2013).



Gambar 4. Gelombang alfa (Abhang et al., 2016b)

Gelombang alfa paling banyak terdapat pada regio oksipital. Akan tetapi juga dapat ditemukan pada area parietal yang berdekatan, serta temporal bagian posterior. Amplitudo dan frekuensi gelombang alfa pada EEG manusia meningkat pada saat mengerjakan tugas kognitif seperti kalkulasi mental dan *working memory* (Shekar et al., 2018). Adapun penurunan gelombang alfa dapat disebabkan oleh konsumsi obat-obatan seperti fenitoin atau asam valproat, peningkatan tekanan intrakranial, hipotiroidisme, serta gangguan metabolik lain seperti insufisiensi hepatic (Marcuse et al., 2016). Tumor otak juga mempengaruhi pola gelombang EEG. Beberapa jenis tumor otak menyebabkan peningkatan aktivitas alfa pada bagian posterior pada regio otak yang terkena (Roohi-Azizi et al., 2017).

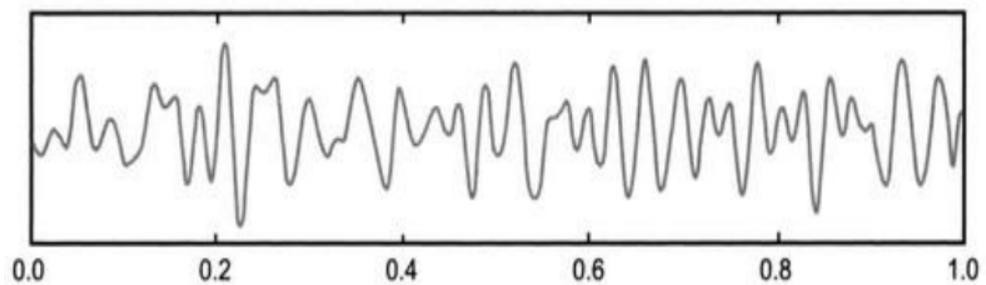
Frekuensi gelombang alfa pada orang dewasa normal adalah 8-13 Hz. Frekuensi gelombang alfa lebih lambat pada anak-anak atau pada kondisi dimana terdapat proses penyakit yang difus.

Gelombang alfa biasanya simetris akan tetapi dapat memiliki amplitudo yang lebih tinggi pada hemisfer non-dominan. Rasio yang masih dianggap normal adalah 2:1. Jika lebih besar daripada 2:1, kemungkinan berhubungan dengan suatu abnormalitas, akan tetapi juga dapat disebabkan oleh pemasangan elektroda yang salah. Harus dipertimbangkan adanya kemungkinan proses yang terjadi di antara elektrode di kulit kepala dan korteks serebri, seperti yang terlihat pada subdural hematoma. Pada kasus tersebut, gelombang alfa pada sisi yang memiliki hematoma dapat menurun amplitudonya, atau bahkan menjadi hilang (Marcuse et al., 2016).

Ketiadaan gelombang alfa pada satu sisi selalu bermakna patologis. Pada subjek yang lebih tua, asimetritas ini biasanya berhubungan dengan adanya riwayat infark serebri. Pada subjek yang lebih muda, biasanya disebabkan oleh kerusakan otak, misalnya hemiatrofi kongenital (Marcuse et al., 2016). Asimetri 50% bermakna secara klinis sampai dapat dibuktikan karena sebab lain. Secara statistik, ditemukan irama alfa dengan amplitudo yang lebih tinggi pada hemisfer kanan. Asimetri 35-50% lebih rendah pada sisi kanan dapat dicurigai abnormal. Sementara itu, perbedaan frekuensi gelombang alfa kanan dan kiri yang lebih dari 1 Hz dapat dikatakan abnormal (Syeban et al., 2018).

d. Gelombang beta

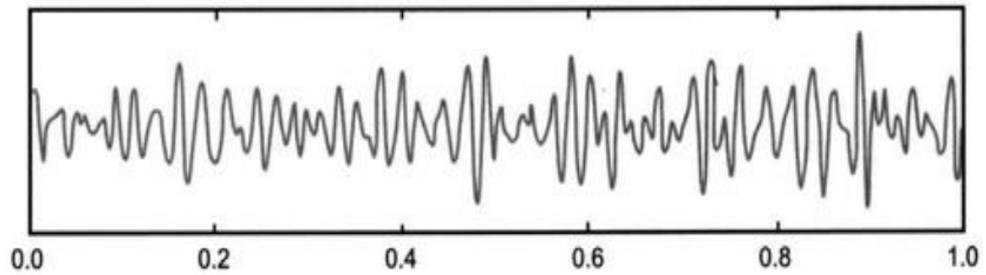
Gelombang beta merupakan gelombang otak yang berada pada frekuensi 13-30 Hz dan biasanya ditemui pada kondisi bangun. Amplitudo maksimal gelombang beta biasanya terdapat pada regio frontosentral. Gelombang ini tidak berespon terhadap aktivitas membuka mata. Ketika seseorang mengantuk, amplitudo beta akan meningkat. Peningkatan aktivitas beta dapat ditemui pada penggunaan obat-obat golongan barbiturat, benzodiazepin, atau antidepresan trisiklik (Marcuse et al., 2016).



Gambar 5. Gelombang beta (Abhang et al., 2016b)

e. Gelombang gamma

Gelombang gamma merupakan gelombang dengan frekuensi diatas 30 Hz. Gelombang gamma telah diamati dan terletak di beberapa area kortikal. Peningkatan gelombang gamma dapat diamati ketika proses belajar dan *working memory*. Adapun aktivitas gamma yang tidak teratur telah diamati pada penyakit neurologi seperti Alzheimer, Parkinson, Skizofrenia, serta Epilepsi (Jia & Kohn, 2011).



Gambar 6. Gelombang gamma (Abhang et al., 2016b)

Tabel 1. Jenis dan Frekuensi Gelombang Otak

No	Jenis Gelombang	Frekuensi (Hz)
1	Delta (δ)	0,5-3
2	Theta (θ)	4-7
3	Alpha (α)	8-13
4	Beta (β)	14-30
5	Gamma (γ)	>30

II.3 Derajat Relaksasi

Respon relaksasi ditandai oleh beberapa perubahan pada tubuh yang dapat diukur, termasuk di dalamnya penurunan tekanan darah dan denyut jantung. Mekanisme yang mendasari efek tersebut diyakini akibat adanya penurunan pada aktivitas simpatetik. Akson dari ganglion simpatetik menyuplai pembuluh darah, kelenjar keringat, folikel rambut, serta membentuk plexus yang menyuplai jantung, bronkus, ginjal, serta organ-organ visceral lainnya. Oleh karena itu, penurunan aktivitas simpatetik, salah satunya akan mempengaruhi sistem kardiovaskuler dalam

bentuk penurunan tekanan darah dan denyut jantung (Santaella et al., 2006).

Derajat relaksasi dapat diukur dengan menggunakan *Relaxation Inventory Self Report Scale*, suatu skala yang dikembangkan oleh A.D. Christ., et al pada tahun 2010 dalam penelitiannya yang dilakukan pada 36 subjek mahasiswa sebelum dan setelah mengikuti kuliah yang berlangsung selama 1 jam. Skala terdiri dari 45 pernyataan dengan skor 0 sampai 5 untuk masing-masing pernyataan. Semakin tinggi skor total, menunjukkan subjek merasa semakin relaks. Nilai total skor minimal yang dapat diperoleh adalah 45 dan nilai total skor maksimal yang dapat diperoleh adalah 225 (Crist et al., 2010).

II.4. Korelasi *Binaural Beats* dengan Gelombang Otak

II.4.1 *Binaural Beats* dan Psikoakustik

Sebagai suatu fenomena, *binaural beats* dikelompokkan ke dalam bidang psikoakustik. Menurut Moore pada tahun 2006, psikoakustik merupakan ilmu mengenai efek suara terhadap otak, atau menurut Crowe tahun 2004, psikoakustik merupakan ilmu tentang respon sensorik auditorik terhadap stimulai fisik dari gelombang suara (Moore, 2006).

Bidang psikoakustik menyelidiki bagaimana *binaural beats* dipersepsikan melalui perangkat elektronik yang berbeda. Terdapat 2 (dua) buah medium untuk mengirimkan *binaural beats* ini ke dalam telinga, yaitu *headphone* dan pengeras suara / *speaker* yang dirancang khusus. Oster pada tahun 2013 menyatakan bahwa *headphone* menciptakan kondisi yang

tepat agar *binaural beats* dapat bekerja (Curtis, 2007). Pengaturan *speaker* tidak dapat menciptakan efek yang tepat, oleh karena ketika gelombang suara tunggal keluar dari *speaker*, gelombang suara tersebut bercampur di udara terlebih dahulu dan membentuk satu gelombang yang menyatu, bukan dua gelombang berbeda seperti yang dihasilkan oleh *headphone* (Atwater, 1997).

Menurut Robert Monroe, bekerja dengan *headphone* dapat menghasilkan efek *binaural beats* yang unik dan kompleks. Sebagai contoh, jika intensitas nada pada telinga kanan dan telinga kiri berbeda, maka akan muncul suatu *elliptical orbit of the beating* yang nyata. Efek ini dan efek *binaural beats* secara umum disebabkan oleh respon psikoakustik di dalam otak melalui efek difraksi (Moore, 2006).

II.4.2 Hubungan *Binaural Beats* dengan Gelombang Alfa

Binaural beats merupakan satu teknik stimulasi auditorik untuk *entrainment* gelombang otak yang terdiri dari 2 (dua) nada dengan frekuensi yang sedikit berbeda yang diperdengarkan ke masing-masing telinga. Hasil dari interaksi dua nada dalam *auditory brainstem* sama dengan perbedaan antara 2 (dua) frekuensi dan hal ini disebut frekuensi ketiga. Hasil interaksi ini memodulasi ritme elektrik dari getaran otak pada frekuensi yang sama sehingga gelombang otak akan mulai bersinkronisasi terhadap frekuensi ketiga. Hal ini menjelaskan bagaimana aktivitas gelombang otak bereaksi dan berespon terhadap *binaural beat*. *Brainwave*

entrainment merujuk pada penggunaan stimulus ritmik dengan tujuan untuk menghasilkan suatu *frequency following response* dari gelombang otak yang sesuai dengan frekuensi stimulus (On et al., 2013).

Kemampuan binaural beats untuk mempengaruhi gelombang otak diyakini bergantung pada prinsip *entrainment* gelombang otak. Secara umum, prinsip *entrainment* adalah dua atau lebih frekuensi berdekatan yang ritmenya menyatu satu sama lainnya. Menurut Crowe pada tahun 2004, *entrainment* merupakan suatu istilah dalam psikoakustik yang menunjukkan efek dari pola suara berulang pada pola gelombang otak. Menurut Atwater, *binaural beats* akan mempengaruhi *entrain* kedua hemisfer pada frekuensi yang sama, menetapkan lingkungan elektromagnetik yang ekuivalen dan memaksimalkan komunikasi neural interhemisferik. Teori dari *entrainment* gelombang otak bekerja pada hemisfer kiri dan kanan, dimana keduanya bekerja bersama-sama untuk menghasilkan sinyal elektrik yang ketiga, yang dirasakan sebagai suatu suara yang nyata (Atwater, 1997).

Berbeda dengan modalitas lain yang menginduksi perubahan kondisi gelombang otak, misalnya musik, narkosintesis, dan meditasi, *binaural beats* bekerja pada mekanisme yang sedikit berbeda. Atwater pada tahun 1997 dan Leeds pada tahun 2001 menyatakan bahwa *binaural beats* mampu mempengaruhi pola gelombang otak spesifik melalui pemetaan data EEG mentah dari gelombang otak manusia kedalam pola suara yang spesifik yang dihasilkan oleh binaural beats (Atwater, 1997).

Sebagai contoh jika *binaural beats* dibuat dalam rentang frekuensi alfa. Ketika mendengarkan suara ini, secara hipotesis gelombang otak seharusnya bermodulasi dari status terkini gelombangnya ke status alfa yang berhubungan dengan *binaural beats*. Dengan demikian, frekuensi *binaural beats* dapat dipilih untuk menghasilkan gelombang otak di EEG dengan frekuensi yang diinginkan (Curtis, 2007).

II.5 Quantitative EEG (Brain Mapping)

Sejak Berger menemukan bahwa aktivitas elektrik dapat menjelaskan fungsi otak melalui EEG, temuan-temuan baru telah bermunculan pada *Quantitative EEG* (QEEG) melalui metode-metode komputerisasi yang digunakan untuk mengukur aktivitas EEG pada manusia. Menurut Evans pada tahun 1999, alih-alih data mentah EEG yang dicetak, volume yang besar kini dapat diproses melalui analisis EEG terkomputerisasi. Hal ini mampu mendeteksi perubahan minimal pada kondisi neurologis (Curtis, 2007).

Penelitian ini memungkinkan berbagai jenis gelombang otak dapat terdokumentasikan. Dari analisis data penelitian QEEG, telah diketahui bahwa berbagai rentang frekuensi dari gelombang otak merefleksikan kondisi fisik dan mental, baik itu yang sifatnya positif maupun negatif. Praktisi berusaha untuk memperbaiki kondisi gelombang otak dengan menggunakan instrumen-instrumen elektronik untuk mengukur faktor-faktor fisiologis, seperti tekanan darah dan temperatur. Umpan balik ini dapat

dimodifikasi melalui proses kimiawi atau kontrol dalam keadaan sadar dan memberikan bahan-bahan untuk memperbaiki kondisi fisiologis atau psikologis yang tidak seimbang (Curtis, 2007).

Quantitative EEG (QEEG), disebut juga *Brainmap* merupakan suatu teknik penilaian dimana data EEG (gelombang otak) dikumpulkan kemudian dibandingkan dengan *database* normatif yang cocok berdasarkan usia (Wigton, 2015).

QEEG mengukur aktivitas gelombang otak dan menyerupai suatu *motion picture* yang singkat dari aktivitas elektrik otak. QEEG bersifat noninvasif, 19 sensor ditempatkan pada kulit kepala untuk mendeteksi aktivitas gelombang otak. QEEG berhubungan dengan EEG *neurofeedback* (Demos, 2005). *Neurofeedback* telah diteliti dan menunjukkan efikasinya untuk berbagai penyakit seperti nyeri, depresi, ansietas, penyalahgunaan zat, PTSD (*Post Traumatic Stress Disorder*), ADHD, nyeri kepala, atau peningkatan kognitif (Thatcher & Lubar, 2014).

II.4.1 *Quantitative EEG* dan *Database* Normatif

Data EEG berasal dari 19 lokasi di kulit kepala yang dirancang oleh sistem internasional 10-20. Setelah data diterima, kemudian disingkirkan artefak dari data yang berasal dari pergerakan otot, kedipan mata, elektrokardiogram (EKG), dan faktor-faktor perancu lainnya. Setelah itu, data yang sudah disaring kemudian diproses oleh perangkat lunak *database* normatif. Peta-peta berkode warna dan data dalam bentuk digital

dapat dicetak. Pada proses pemberian warna ditampilkan sejumlah peta otak. Tiap lingkaran merepresentasikan kepala. Tiap periode atau titik di kepala mewakili satu titik di kulit kepala sesuai dengan sistem internasional 10-20. Hidung berada di bagian atas dari tiap lingkaran sehingga hemisfer kiri (*left hemisphere/LH*) terletak di sebelah kiri dan hemisfer kanan (*right hemisphere/RH*) terletak di sebelah kanan (Demos, 2005).

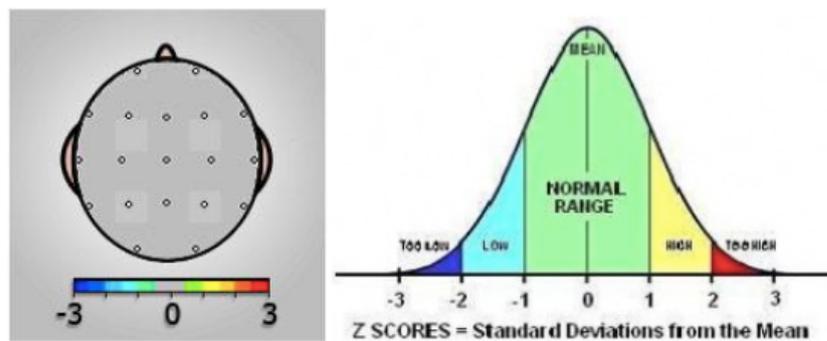
Salah satu jenis perangkat lunak *database* normatif adalah *Lifespan Normative EEG database*, atau yang disebut juga *NeuroGuide*, dirancang oleh Robert Thatcher. *NeuroGuide* menggunakan warna hijau untuk menunjukkan kondisi yang normal. *NeuroGuide* menggunakan analisis statistik dan nilai z / *z-values* (Demos, 2005).

Perangkat lunak *database* normatif telah digunakan dalam proses diagnostik. QEEG yang spesifik telah diketahui berhubungan dengan sejumlah penyakit, yang mencakup *attention deficit disorder* dengan atau tanpa hiperaktivitas, gangguan belajar, demensia, skizofrenia, depresi unipolar dan bipolar, gangguan kecemasan, gangguan obsesif kompulsif, penyalahgunaan zat dan alkohol, trauma kepala, tumor, epilepsi, dan penyakit serebrovaskular (Kanda et al., 2009).

Perangkat lunak *database* normatif menginterpretasikan data melalui analisis statistik. Suatu kurva distribusi normal ditentukan dengan rumus matematika yang bervariasi, termasuk standar deviasi. Klien biasanya biasanya memiliki satu atau lebih standar deviasi yang berbeda dari standar deviasi yang normal, bergantung pada kekuatan, koherensi,

dan asimetritas pada satu atau lebih regio di korteks serebral. *NeuroGuide* (perangkat lunak QEEG) mengindikasikan variasi standar deviasi atau *Z-score*. Pengkodean warna sesuai dengan derajat variasi (Demos, 2005).

Metode *Z score FFT* merupakan suatu aplikasi matematis (Gaussian curve) melalui estimasi probabilitas menggunakan auto- dan spektrum dari EEG. Metode ini digunakan untuk mengidentifikasi regio otak yang mengalami deregulasi dan menyimpang dari nilai yang diharapkan (Tharawadeepimuk & Wongsawat, 2017).



Gambar 7. *Z score* (Wigton, 2015)

II.4.2 Terminologi *Brain Map*

Brain map berkode warna berfungsi untuk mengidentifikasi area-area pada otak yang berada di luar nilai normal dan kemungkinan dapat bermanfaat setelah diberikan intervensi. Akan tetapi, interpretasi peta yang akurat membutuhkan pemahaman akan terminologi *brain map* yang digunakan oleh perangkat lunak database normatif (Demos, 2005).

Power dengan Amplitudo

Amplitudo dinyatakan dalam satuan mikrovolt/hertz, sedangkan *power* dinyatakan dalam satuan mikrovolt kuadrat/hertz. Data EEG mentah diukur dalam bentuk amplitudo. Perangkat lunak database normatif biasanya mengubah data tersebut ke dalam *power* (Mathewson et al., 2015).

Absolut dengan Relatif

Pengukuran absolut merefleksikan apa yang terdapat tepat dibawah sensor, tanpa mempertimbangkan karakteristik fisik dari tengkorak. Metode yang digunakan untuk mengontrol perbedaan pada resistensi kulit kepala dan ketebalan tengkorak dan lainnya, adalah dengan menghitung *power* relatif dan/atau amplitudo relatif. Amplitudo relatif merupakan ukuran persentase dan dihitung melalui amplitudo pada sebuah rentang frekuensi dibagi dengan amplitudo total (amplitudo total merupakan jumlah amplitudo dari seluruh frekuensi). Dengan kata lain, amplitudo relatif merupakan suatu ukuran proporsi dari amplitudo total dalam suatu pita frekuensi dan oleh karena itu bersifat independen terhadap ketebalan tengkorak, resistensi kulit, dan lainnya, akan tetapi tidak mencakup seluruh sumber aktivitas elektrik yang bukan berasal dari otak, misalnya artefak pergerakan mata dan artefak EKG (Demos, 2005).

Absolute power merupakan nilai *power* dalam *frequency band* tertentu. Dinyatakan dalam satuan $\mu\text{V}^2/\text{Hz}$. *Relative power* merupakan presentasi *absolute power* pada satu *frequency band* dibandingkan dengan

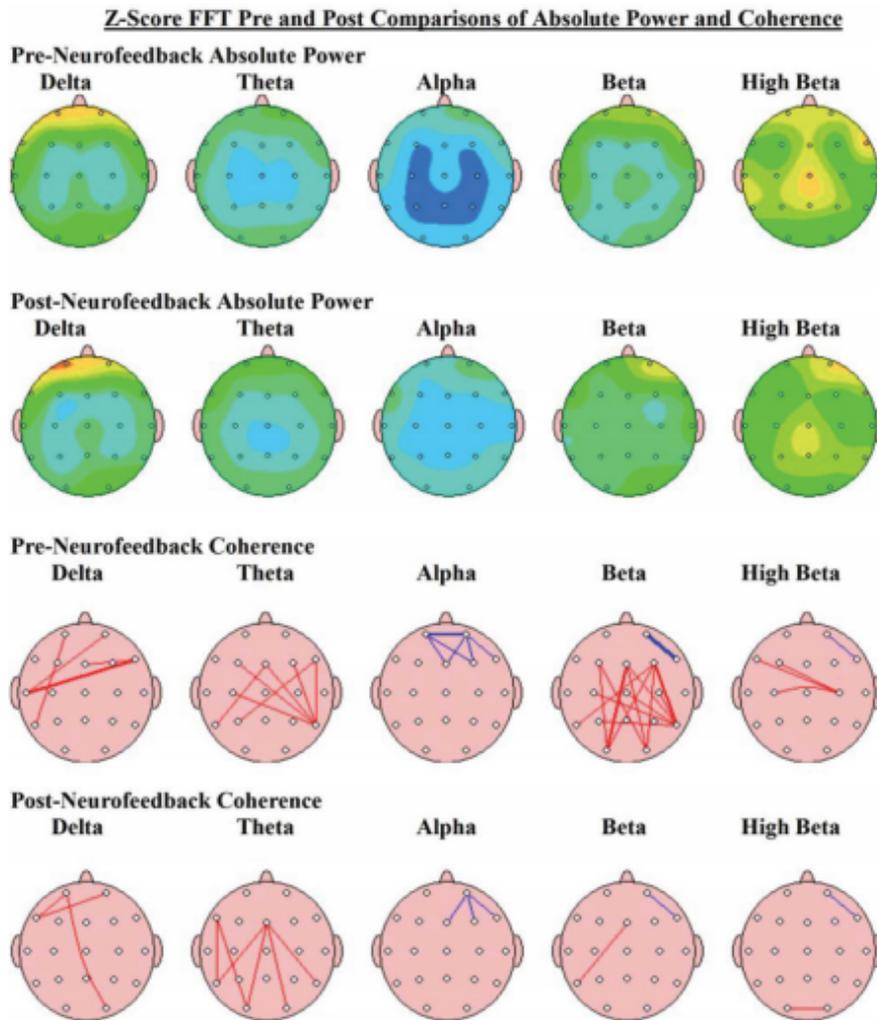
absolute power pada seluruh jenis *frequency bands*. Dinyatakan dalam % (Yuvaraj et al., 2014).

Perekaman Mata Terbuka dengan Mata Tertutup

NeuroGuide dapat memproses data dengan mata terbuka maupun dengan mata tertutup. Perekaman dengan mata tertutup biasanya lebih akurat dibandingkan perekaman dengan mata terbuka disebabkan oleh minimalnya artefak yang muncul dari pergerakan mata (Demos, 2005).

Koherensi Hemisfer Kontralateral dengan Ipsilateral

Koherensi antara dua sinyal EEG merupakan suatu pengukuran akan sinkronisasi dua sinyal tersebut dan dapat diinterpretasikan sebagai suatu indikator dari hubungan fungsional antara regio otak yang berbeda (Gudmundsson et al., 2007).



Gambar 8. Z-Score FFT *absolute power* dan koherensi sebelum dan setelah *neurofeedback* (Collura et al., 2010)

Pengukuran koherensi oleh aplikasi *NeuroGuide* adalah untuk interhemisferik (kontralateral) dan intrahemisferik (ipsilateral), sebagaimana halnya dengan perekaman mata terbuka dan tertutup. Koherensi disajikan sebagai data dan garis-garis berkode warna serta *Z-score*. Yang digunakan adalah rentang frekuensi, bukan frekuensi tunggal (Demos, 2005).

Konektivitas otak secara objektif diukur melalui koherensi. Koherensi menganalisa ukuran similaritas frekuensi antara dua titik/*channel*, tanpa mempertimbangkan amplitudonya.

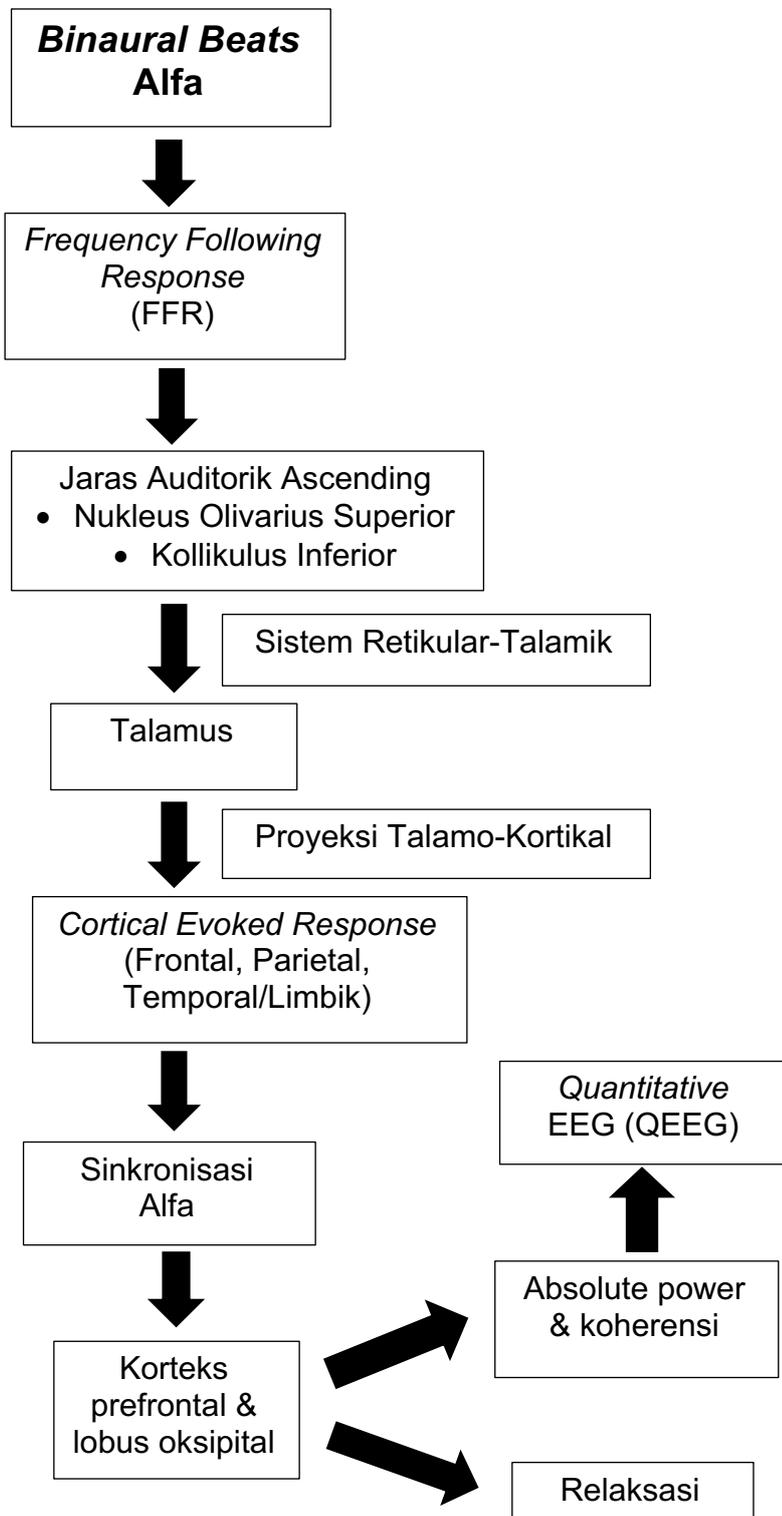
Asimetri

Ketika dua lokasi kulit kepala kontralateral asimetris, hal tersebut menandakan bahwa kedua lokasi tersebut sangatlah berbeda. Asimetris anterior merupakan suatu penanda untuk depresi dan kecemasan. Penelitian oleh Demos tahun 2005 menunjukkan bahwa asimetris alfa di bagian posterior berhubungan dengan depresi (Demos, 2005).

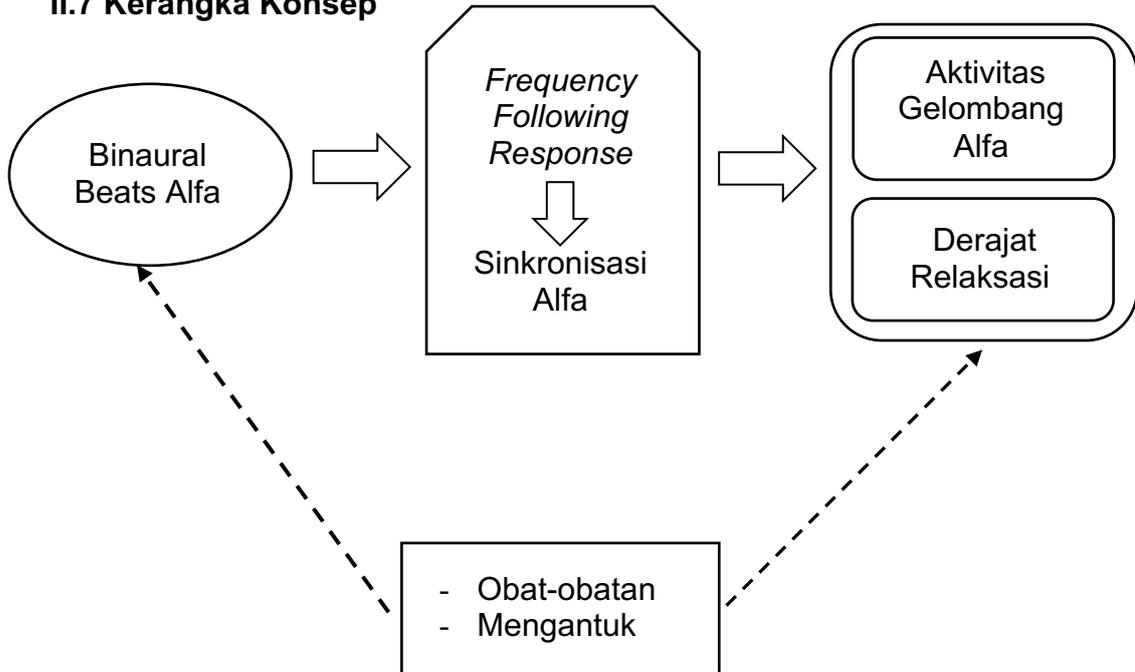
II.4.3 Perekaman *Quantitative EEG*

Selama perekaman QEEG dengan mata tertutup berlangsung, beberapa klien dapat merasakan ketegangan atau malahan menjadi mengantuk. Perlu diperhatikan untuk meminta klien agar memberitahukan kepada teknisi jika merasa mengantuk atau tidak nyaman. Setelah pengambilan data selesai, data EEG mentah siap untuk dikemas dan diproses oleh perangkat lunak QEEG *database* normatif, misalnya perangkat lunak *NeuroGuide* (Demos, 2005).

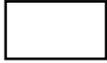
II.6 Kerangka Teori



II.7 Kerangka Konsep



Keterangan variabel :

-  = Variabel bebas
-  = Variabel terikat
-  = Variabel perancu
-  = Variabel antara