

# Aplikasi Neurobliss Pembangkit Sinyal Enhanced Alpha Pada Eksperimen Neuropsikologi

1<sup>st</sup> Muhammad Adnan

School of Electrical Engineering  
Telkom University  
Bandung, Indonesia

[mahasiswaadnan@student.telkomuniversity.ac.id](mailto:mahasiswaadnan@student.telkomuniversity.ac.id)

2<sup>nd</sup> Yasmin Azahra

School of Electrical Engineering  
Telkom University  
Bandung, Indonesia

[yasminazahra@student.telkomuniversity.ac.id](mailto:yasminazahra@student.telkomuniversity.ac.id)

3<sup>rd</sup> Azriel Gilbert Samuel Rogito

School of Electrical Engineering  
Telkom University  
Bandung, Indonesia

[rogitoazriel@student.telkomuniversity.ac.id](mailto:rogitoazriel@student.telkomuniversity.ac.id)

4<sup>th</sup> Fathurrizqa Balova

School of Electrical Engineering  
Telkom University  
Bandung, Indonesia

[rizqabalova@student.telkomuniversity.ac.id](mailto:rizqabalova@student.telkomuniversity.ac.id)

5<sup>th</sup> Inung Wijayanto

School of Electrical Engineering  
Telkom University  
Bandung, Indonesia

[iwijayanto@telkomuniversity.ac.id](mailto:iwijayanto@telkomuniversity.ac.id)

6<sup>th</sup> Sugondo Hadiyoso

School of Electrical Engineering  
Telkom University  
Bandung, Indonesia

[sugondo@telkomuniversity.ac.id](mailto:sugondo@telkomuniversity.ac.id)

**Abstrak** — Kecemasan merupakan gangguan mental yang sering dialami mahasiswa dan dapat mengganggu keseimbangan psikologis, akademik, serta sosial. Penelitian ini mengembangkan aplikasi Neurobliss, perangkat lunak desktop yang memfasilitasi stimulasi gelombang otak alfa melalui musik relaksasi dan binaural beats. Stimulasi audio ini bertujuan meningkatkan aktivitas gelombang alfa (8–13 Hz) yang berkaitan dengan relaksasi sekaligus menurunkan gelombang beta yang terkait stres dan kecemasan. Proses stimulasi dan monitoring menggunakan perangkat Muse EEG (Muse 2 dan Muse S) yang merekam sinyal listrik otak secara non-invasif. Data EEG diekspor dalam format CSV dan diproses dengan MATLAB, meliputi filtering dengan Band Pass Filter (0,5–60 Hz), konversi ke European Data Format, dekomposisi sinyal dengan Independent Component Analysis untuk menghilangkan artefak, serta analisis spektral menggunakan Fast Fourier Transform untuk memetakan distribusi daya pada pita frekuensi otak. Diharapkan stimulasi audio ini dapat meningkatkan daya gelombang alfa secara signifikan dan menurunkan kecemasan. Dengan demikian, Neurobliss menawarkan solusi teknologi untuk monitoring dan analisis EEG sekaligus menjadi alternatif intervensi dalam pengelolaan kesehatan mental mahasiswa.

**Kata kunci**— Binarual Beats, EEG, enhanced alpha, kecemasan, Neurobliss

## I. PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang

Kecemasan adalah respons terhadap ancaman yang tidak pasti dan dapat memengaruhi kondisi subjektif, perilaku, serta fisiologi seseorang. Gangguan kecemasan ditandai dengan ketakutan berlebihan tanpa alasan jelas dan berbeda dari kecemasan biasa. Gejalanya meliputi kegelisahan, kelelahan, kesulitan konsentrasi, mudah tersinggung, dan gangguan tidur.

Gangguan ini cukup umum, khususnya pada remaja dan mahasiswa. Data WHO menunjukkan 11,7–14,7% mahasiswa di 21 negara mengalami gangguan kecemasan. Di

Indonesia, survei I-NAMHS menunjukkan lebih dari sepertiga remaja mengalaminya, dan di Universitas Telkom, sekitar 9–11% mahasiswa terdampak, dengan kecemasan sebagai masalah utama yang mempengaruhi prestasi akademik dan interaksi sosial.

Kondisi emosional dapat dipantau melalui sinyal EEG, yang membagi aktivitas otak ke dalam 5 rentang frekuensi: delta, teta, alfa, beta, dan gamma. Gelombang beta berhubungan dengan kecemasan, sedangkan gelombang alfa dengan relaksasi. Binaural beats (BB), khususnya pada frekuensi alfa, terbukti efektif meningkatkan kesehatan emosional hingga 87% dalam tiga hari menurut studi Sharma & Choudhary. Penggabungan BB dan analisis EEG dapat menjadi pendekatan potensial untuk memahami dan mengelola kecemasan, meskipun tetap memerlukan validasi profesional.

### B. Analisis Masalah

Analisis masalah dibagi menjadi beberapa aspek, yaitu aspek psikologi, aspek sosial, aspek budaya dan aspek teknis.

#### a. Aspek Psikologi

Anxiety dapat mengganggu emosi seperti gelisah, sulit tidur, dan hilang nafsu makan. Trauma masa kecil dapat memicu gangguan emosi (Nicoara N), dan kondisi mental buruk memengaruhi sistem saraf otonom (Lee J dkk). Pada penderita kecemasan, amigdala menjadi overaktif dan medial prefrontal cortex gagal mengontrolnya, menyebabkan respon emosional berlebihan.

#### b. Aspek Sosial

Remaja usia 10–24 tahun rentan terhadap gangguan mental, terutama di negara berpendapatan rendah karena akses layanan kesehatan terbatas. Penelitian menunjukkan bahwa kecemasan berdampak pada prestasi, hubungan sosial, dan bisa memicu keinginan bunuh diri.

### c. Aspek Budaya

Menurut Zentner dkk, pengaruh budaya tercermin dari cara individu memandang dan menjelaskan diri mereka. Contohnya, orang Asia-Kanada yang lebih interdependen cenderung lebih rentan terhadap kecemasan sosial. Budaya juga membentuk konsep diri dan peran gender, yang dapat meningkatkan kerentanan terhadap kecemasan sosial. Di Indonesia, menurut N. Praherso, kesadaran masyarakat terhadap kesehatan mental masih rendah.

### d. Aspek Teknis

Diagnosis gangguan kesehatan mental hanya dapat dilakukan oleh psikolog, psikiater, atau ahli terkait, dengan acuan dari buku DSM-5 yang diterbitkan oleh American Psychiatric Association pada tahun 2013. Namun, teknologi seperti MATLAB dapat digunakan untuk membantu analisis sinyal. Inovasi ini membuka peluang untuk menciptakan perangkat bantu diagnostik guna mendukung kerja para profesional kesehatan mental.

## C. Tujuan

Tujuan TA adalah melakukan observasi mengenai pengaruh stimulasi sinyal alfa untuk menurunkan tingkat kecemasan dari perubahan frekuensi sinyal otak alfa dan beta melalui analisis sinyal EEG dan memanfaatkan teknologi untuk memberikan pendekatan ilmiah dalam pengelolaan kecemasan melalui suatu aplikasi praktis dengan stimulasi.

## II. KAJIAN TEORI

### a. Anxiety Disorder

Gangguan kecemasan merupakan salah satu bentuk masalah kesehatan mental yang cukup sering dialami oleh mahasiswa. Kondisi kecemasan yang berlebihan dapat mengganggu keseimbangan dalam menjalani aktivitas harian. Mahasiswa dan remaja termasuk kelompok yang sangat rentan terhadap gangguan ini, karena tuntutan situasi yang mengharuskan mereka lebih mandiri dalam menghadapi berbagai persoalan [13].

### b. Elektroensefalogram (EEG)

Elektroensefalogram (EEG) pada dasarnya digunakan untuk merekam aktivitas osilasi listrik dari neuron yang berada di korteks serebral. Sinyal EEG memuat gelombang dengan berbagai rentang frekuensi [13]. Aktivitas tersebut biasanya dikelompokkan menjadi beberapa pita, yaitu delta (kurang dari 4 Hertz), teta (antara 4 hingga 8 Hertz), alfa (8 sampai 13 Hertz), beta (13 sampai 30 Hertz), dan gamma (30 hingga 100 Hertz) [4].

### c. Stimulus Enhanced Alpha

Stimulasi enhanced alfa adalah metode untuk meningkatkan aktivitas gelombang otak alfa (8–13 Hz), biasanya melalui audio, visual, atau arus listrik rendah [21], [22]. Otak merespons osilasi dari stimulasi yang diterima. Teknik ini digunakan dalam terapi nyeri (9 Hz), pengurangan stres dan kecemasan (10–30 Hz), serta peningkatan memori, kognisi, dan pemulihan cedera otak (10,2 Hz) [23].

### d. Independent Component Analysis (ICA)

ICA adalah sebuah teknik untuk memisahkan sekumpulan sinyal tercampur menjadi sinyal-sinyal yang independen pada sumber aslinya. Berikut adalah rumus dasar model ICA:

$$x = As$$

Dimana  $x$  adalah vektor dari sinyal yang diamati (observed mixtures),  $A$  adalah matriks pencampur yang elemennya tidak diketahui (mixing matrix), dan  $s$  adalah vektor dari komponen-komponen independen (source signals).

### e. Band Pass Filter (BPF)

BPF merupakan alat atau rangkaian yang memungkinkan sinyal dalam rentang frekuensi tertentu (passband) untuk lewat, sambil menekan frekuensi di luar rentang tersebut [25]. BPF banyak digunakan dalam sistem komunikasi, radar, dan perangkat elektronik lain untuk menyaring sinyal yang diinginkan dan mengurangi gangguan dari frekuensi lain. BPF dalam pengolahan sinyal EEG berfungsi untuk menyaring dan membatasi rentang frekuensi sinyal yang dianalisis, sehingga hanya frekuensi yang relevan dengan aktivitas otak yang diambil [26].

### f. Fast Fourier Transform (FFT)

FFT adalah algoritma efisien hasil pengembangan dari Discrete Fourier Transform (DFT), yang digunakan untuk mengonversi sinyal dari domain waktu ke domain frekuensi dengan presisi tinggi [28]. Algoritma FFT dapat memproses transformasi lebih cepat daripada DFT karena ada pengurangan di proses looping [28]. Transformasi fourier secara matematis dinyatakan dalam persamaan.

$$s(f) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t)e^{-j2\pi ft} dt \quad (1)$$

## III. METODE

### A. Desain Sistem

Stimulasi alfa yang digunakan berupa stimulasi audio, yaitu musik relaksasi yang dikombinasikan dengan binaural beats (BB). Musik relaksasi meliputi suara alam, musik klasik, dan musik populer, sementara BB bekerja dengan menciptakan ilusi frekuensi di otak melalui perbedaan suara di telinga kiri dan kanan, menggunakan rentang 8–13 Hz, umumnya 10 Hz (contohnya dari 240 Hz dan 250 Hz).

Penelitian stimulus alfa ini dilakukan secara terorganisir melalui kolaborasi antara Universitas Telkom dan UNISBA, dengan tujuan utama mengumpulkan data untuk dianalisis dalam aplikasi Neurobliss. Aplikasi ini dirancang untuk membantu psikolog mendiagnosis kondisi mental pasien berdasarkan rekaman EEG setelah pemberian stimulus. Neurobliss memiliki fitur untuk menyimpan data pasien, menampilkan berbagai jenis stimulus alfa, serta menganalisis rekaman EEG secara mendalam.



GAMBAR 1  
(Alur Implementasi Sistem)

Implementasi tersebut merujuk kepada proyek capstone design yang diawali dengan proses pemilihan responden oleh

tim psikolog dari kemahasiswaan Universitas Telkom Bandung. Responden terpilih akan dijadwalkan untuk memasuki sesi eksperimen yang telah ditetapkan oleh tim peneliti.

#### 1. Pra Perekaman

Dalam persiapan pelaksanaan eksperimen, responden yang telah terpilih akan memasuki ruang tunggu, alur tersebut disebut tahap pra perekaman. Tahap ini bertujuan untuk mengevaluasi awal kondisi psikologis responden oleh tim psikolog dari UNISBA. Selanjutnya, tim peneliti akan menjelaskan secara singkat mengenai pengujian stimulus yang akan dilakukan.

#### 2. Proses perekaman

Pada tahap perekaman EEG, responden ditempatkan di ruangan khusus eksperimen dan menggunakan berbagai perangkat seperti Muse S/Muse 2, gel EEG, webcam, laptop, tablet, dan earphone. Stimulus audio BB dikirim melalui earphone dan dikendalikan lewat aplikasi Neurobliss.

Dalam eksperimen ini, responden yang mengalami peningkatan stres diberikan stimulus alfa berupa BB (10 Hz) yang dikombinasikan dengan musik relaksasi, bertujuan untuk meningkatkan gelombang alfa otak yang terbukti efektif dalam meredakan kecemasan dan menciptakan relaksasi.

#### 3. Pasca Perekaman

Evaluasi dilakukan melalui pengisian form berisi pertanyaan psikologis serta wawancara langsung guna menilai kondisi responden setelah menerima stimulus alfa.

Sebagai bentuk apresiasi, responden diberikan reward. Seluruh data hasil perekaman, baik dari alat EEG maupun video OBS, disimpan dan diunggah ke link Google Drive yang telah disediakan untuk keperluan dokumentasi dan analisis lebih lanjut.

#### 4. Pengolahan Data

Data dari aplikasi Mind Monitor disimpan dalam format .csv, kemudian diproses melalui tahapan pre-processing. Tujuan utamanya adalah mentransformasikan sinyal ke domain frekuensi agar daya pada setiap frekuensi dapat dianalisis selama sesi stimulasi EEG.

### B. Implementasi

#### 1. Responden

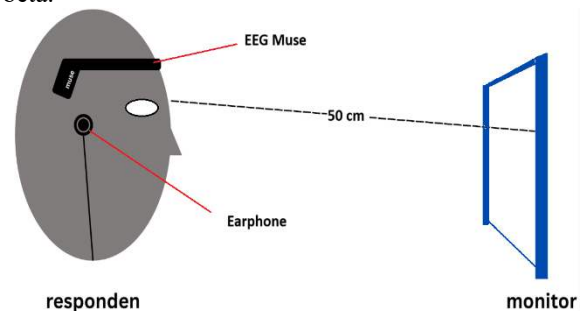
Partisipan dengan kondisi mental normal dipilih oleh psikolog Universitas Telkom berdasarkan kriteria tertentu untuk menjaga validitas penelitian. Sebelum eksperimen, partisipan diminta membaca dan menandatangani inform consent yang disusun bersama psikolog UNISBA.



GAMBAR 2  
(Pengisian Inform Consent Oleh Responden)

#### 2. Eksperimen

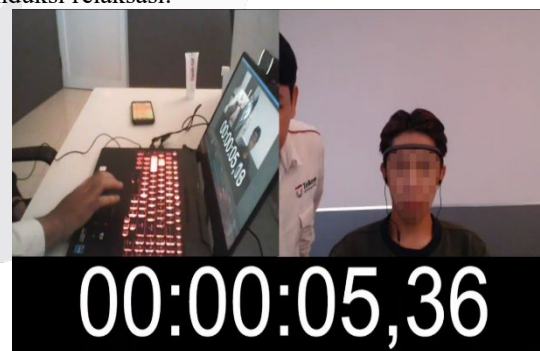
Penelitian ini bertujuan menguji efektivitas stimulasi audio. Eksperimen ini membandingkan aktivitas otak sebelum dan sesudah pemberian stimulus, serta menganalisis perubahan daya frekuensi, terutama pada frekuensi alfa dan high beta.



GAMBAR 3  
(Ilustrasi Pelaksanaan Perekaman Data Responden)

#### 3. Perekaman Stimulasi

Partisipan awalnya diberi stimulus beta untuk meningkatkan stres, lalu mendengarkan stimulus alfa guna menginduksi relaksasi.



GAMBAR 4  
(Pengambilan Data EEG dan Rekaman EEG)

### C. Hardware

Untuk melakukan proses perekaman stimulus alfa diperlukan alat atau *device* pendukung seperti Muse (elektroda), laptop, tablet, webcam, *earphone*, dan gel eeg.

#### 1. Wearable EEG Muse

Perangkat wearable Muse 2 dan Muse S Band seperti pada Gambar 4.5 berfungsi untuk merekam aktivitas sinyal

listrik pada otak manusia. Muse EEG wireless yang memiliki 4 channel yaitu TP9, AF7, AF8, dan TP10



GAMBAR 5  
(Perangkat Muse S dan Muse 2)

## 2. Laptop

Perangkat yang digunakan untuk menjalankan software Neurobliss yang berisi stimulus alfa yang akan diputar oleh responden.



GAMBAR 6  
(Laptop)

## 3. Tablet atau HP Android

Tablet digunakan sebagai media perangkat untuk menghubungkan perangkat elektroda Muse 2 dengan software Mind Monitor.



GAMBAR 7  
(Tablet)

## 4. Webcam

Webcam digunakan sebagai perangkat pendukung untuk software OBS. Webcam yang digunakan saat stimulasi berjumlah 2 buah, yang digunakan untuk merekam reaksi ekspresi dari depan dan respon jawaban dari samping.



GAMBAR 8  
(Webcam)

## 5. Earphone

Earphone sebagai perangkat untuk memaksimalkan pengalaman responden pada sesi stimulus alfa dengan mendengarkan suara/musik.



GAMBAR 9  
(Earphone)

## 6. Gel EEG

Gel EEG berfungsi sebagai konduktor antara kulit kepala dengan perangkat Muse. Gel digunakan apabila elektroda tidak dapat mendeteksi sinyal otak. Gel yang digunakan merupakan gel konduktif.



GAMBAR 10  
(Gel EEG)

## D. Software

Proses perekaman stimulus menggunakan software. Mind Monitor digunakan sebagai platform media untuk merekam sinyal EEG, aplikasi Neurobliss digunakan sebagai platform media stimulus alfa. OBS digunakan untuk merekam aktivitas yang dilakukan selama pengambilan data.

### 1. Neurobliss

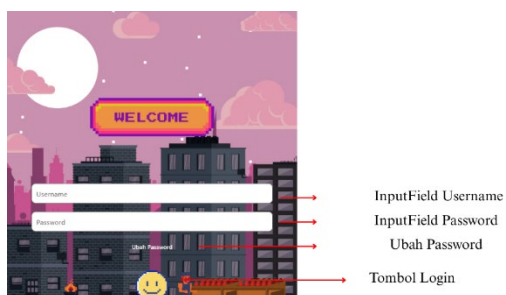
#### a) Aplikasi Neurobliss sebagai platform stimulasi

Kami mengembangkan sebuah aplikasi bernama Neurobliss, yang berfungsi sebagai platform utama bagi partisipan dalam menerima stimulus alfa. Aplikasi ini menyediakan dua jenis audio berbeda yang sama-sama mengandung frekuensi alfa, namun dengan variasi musik relaksasi dan binaural beats. Setiap audio telah dimodifikasi secara khusus untuk

memastikan efektivitas stimulasi. Neurobliss dirancang untuk memberikan pengalaman yang nyaman dan mudah diakses oleh pengguna. Aplikasi Neurobliss dikembangkan menggunakan Flutter sebagai framework dan Dart sebagai bahasa pemrograman untuk memastikan kompatibilitas dan performa yang optimal. Aplikasi ini ditujukan untuk platform desktop (PC/Laptop) dengan sistem operasi Windows, sehingga dapat diinstal di perangkat spek yang minim.

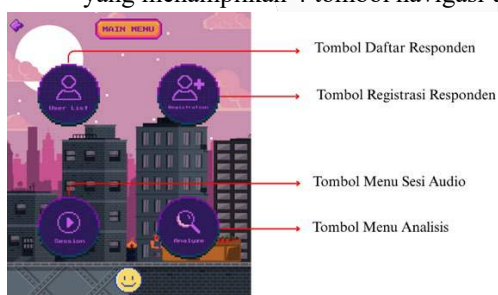
b) *Fungsi dan desain aplikasi Neurobliss*

- Halaman Depan: Dibuat dengan antarmuka yang sederhana dan intuitif, menampilkan kolom informasi pengguna yang dibutuhkan untuk login, serta tombol navigasi ke menu utama. Halaman ini juga memiliki fitur untuk mengubah password jika user lupa password sebelumnya. User akan diberikan beberapa pernyataan sebelum dapat mengganti password.



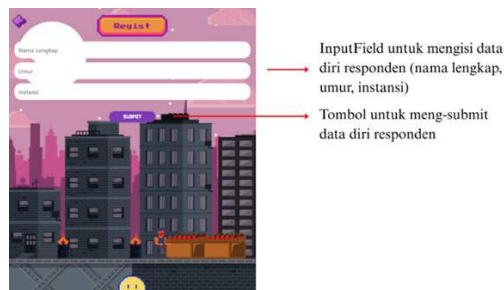
GAMBAR 11  
(Halaman Depan)

- Halaman Utama: Kodingan halaman ini memiliki fungsi utama sebagai antarmuka awal yang menampilkan 4 tombol navigasi utama.



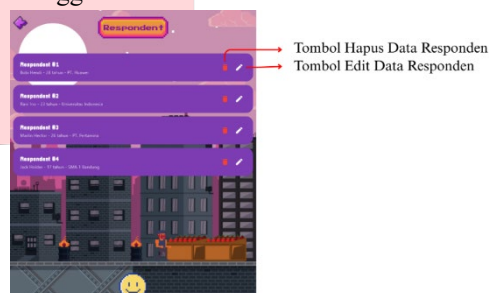
GAMBAR 12  
(Halaman utama)

- Halaman Registrasi: Pada halaman ini, pengguna dapat mengisi data diri berupa nama lengkap, umur, serta instansi



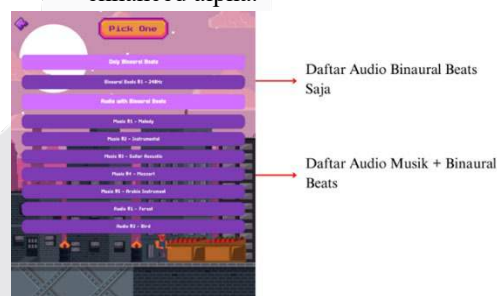
GAMBAR 13  
(Halaman register)

- Halaman Daftar Responden: Untuk menampilkan daftar responden yang telah terdaftar. Pengguna dapat mengedit dan menghapus data mereka yang telah tersimpan menggunakan SharedPreferences.



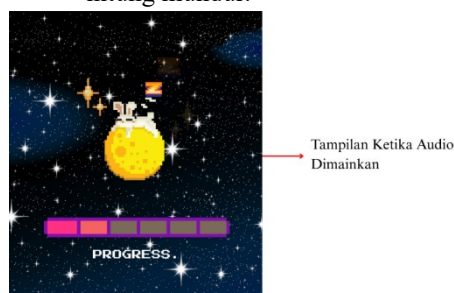
GAMBAR 14  
(Halaman daftar responden)

- Halaman Sesi: Pengguna dapat memilih audio berupa binaural beats maupun musik sebelum memulai sesi di halaman ini. Hal ini bertujuan untuk memberikan pengalaman personalisasi audio kepada pengguna sebelum memulai sesi enhanced alpha.



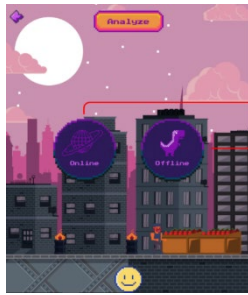
GAMBAR 15  
(Halaman Sesi)

- Halaman Pemutar Audio: Untuk menampilkan sesi pemutaran audio yang dipilih pengguna di halaman sebelumnya, disertai dengan timer hitung mundur.



GAMBAR 16  
(Halaman pemutar audio)

- Halaman Analisis: Pengguna bisa mengelola dan menganalisa hasil data dari sesi yang telah dilakukan, secara online maupun offline.



Tombol untuk menganalisis hasil rekaman EEG secara online  
Tombol untuk menganalisis hasil rekaman EEG secara offline

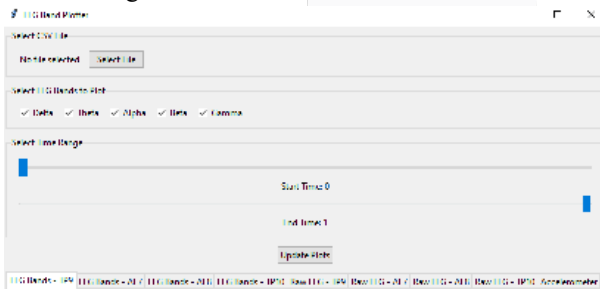
GAMBAR 17  
(Halaman analisis)

- Mindmonitor.com: tampilan untuk analisis menggunakan web yang disediakan dari aplikasi mind monitor.



GAMBAR 18  
(mind-monitor.com/Chart.php)

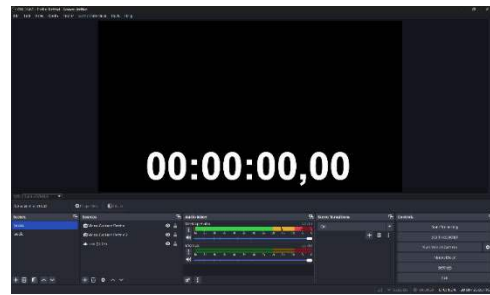
- Csvgraphs.exe: tampilan untuk analisis data mentah yang menampilkan visualisasi magnitude sinyal delta, teta, alfa, beta, dan gama.



GAMBAR 19  
(csvgraphs.exe)

## 2. OBS Studio

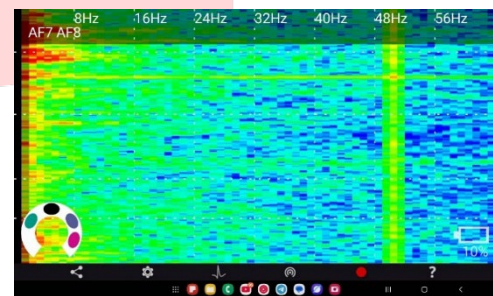
OBS Studio merupakan aplikasi untuk merekam aktivitas responden pada saat sesi perekaman data berlangsung. Digunakan dua webcam dengan penempatan yang sesuai. Webcam satu merekam secara langsung pada wajah responden untuk melihat ekspresi ataupun respon dari emosi dan gerakan responden. Webcam dua merekam posisi tangan, keyboard dan layer monitor untuk melihat respon. Lalu kedua webcam tersebut digabungkan ke dalam satu screen dan ditambahkan script timestamp pada aplikasi OBS Studio.



GAMBAR 20  
(OBS Studio)

## 3. Mind Monitor

Mind Monitor merupakan aplikasi yang dibuat secara khusus untuk perangkat Muse berfungsi untuk membaca, menampilkan, dan merekam data gelombang otak EEG dari Muse secara langsung.



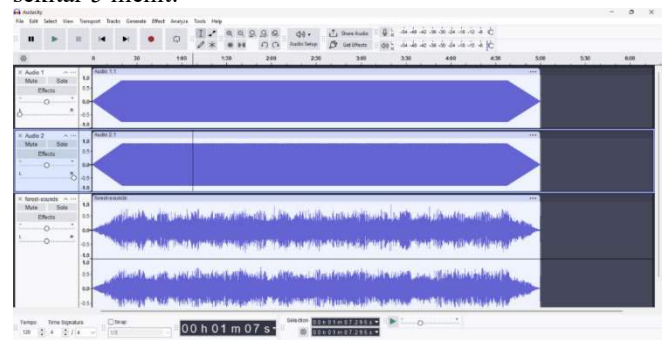
GAMBAR 21

## E. Tujuan Pengembangan Aplikasi Neurobliss

Tujuan utama aplikasi Neurobliss adalah menjadi platform terapi audio bagi individu yang mengalami stres atau tekanan psikologis. Dengan menyediakan stimulus alfa dalam bentuk audio yang mudah diakses, aplikasi ini diharapkan dapat membantu pengguna mencapai kondisi relaksasi lebih cepat dan efektif.

## F. Stimulus Alfa Berbasis Audio

Stimulasi alfa dilakukan dengan kombinasi musik relaksasi dan Binaural Beats (BB) yang menciptakan ilusi frekuensi 10 Hz dalam rentang gelombang alfa. Musik bertempo lambat dan suara alam ditambahkan untuk meningkatkan kenyamanan. Audio dibuat dengan Audacity 3.6, menggunakan frekuensi 240 Hz dan 250 Hz pada telinga kanan dan kiri. Kombinasi ini efektif meningkatkan aktivitas gelombang alfa dan mencegah kebosanan, dengan durasi sekitar 5 menit.



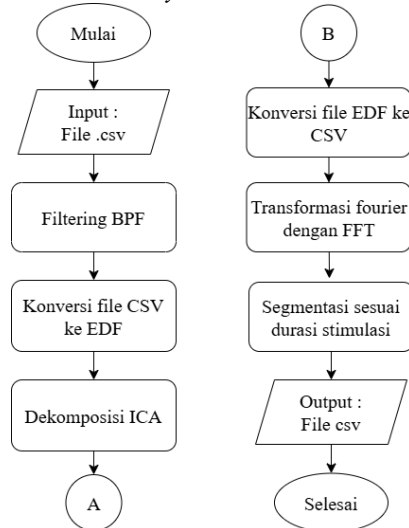
GAMBAR 22

(Kombinasi Audio di Aplikasi Audacity)

### G. Kuesioner

Responden diberikan 2 kuesioner untuk mengetahui kondisi psikologis mereka sebelum dan sesudah diberikan stimulasi. Kuesioner kondisi diri pra eksperimen diberikan sebelum responden masuk ke sesi stimulasi. Setelah selesai stimulasi, responden juga diberikan kuesioner untuk apa yang mereka rasakan setelah stimulasi.

### H. Pengolahan Data Sinyal EEG



GAMBAR 23  
(Flowchart Pengolahan Data)

#### 1. File CSV

Dalam proyek capstone ini, data EEG mentah diperoleh dari eksperimen stimulus menggunakan aplikasi Mind Monitor pada tablet, lalu diekspor ke PC dalam format .csv. Data tersebut belum melalui proses pre-processing seperti filtering atau ICA. Penelitian difokuskan pada empat channel EEG, yaitu TP9 dan TP10 serta AF7 dan AF8.

| TimeStamp | RAW_TP9  | RAW_AF7  | RAW_AF8  | RAW_TP10 |
|-----------|----------|----------|----------|----------|
| 03:30.3   |          |          |          |          |
| 03:30.3   | 819.1575 | 796.9963 | 808.2784 | 387.6191 |
| 03:30.3   | 1650     | 839.707  | 823.5897 | 1526.3   |
| 03:30.3   | 1650     | 822.381  | 824.7985 | 1650     |
| 03:30.3   | 807.8755 | 778.8644 | 805.4579 | 1009.341 |
| 03:30.3   | 0        | 751.0623 | 785.7143 | 0        |
| 03:30.3   | 692.2344 | 803.8461 | 804.652  | 240.5495 |
| 03:30.3   | 1643.956 | 854.2125 | 823.5897 | 1374.799 |
| 03:30.3   | 1650     | 846.5568 | 820.7692 | 1650     |
| 03:30.3   | 963.8095 | 790.5494 | 803.4432 | 1071.392 |
| 03:30.3   | 0        | 726.4835 | 780.4762 | 0        |
| 03:30.3   | 663.6264 | 766.7766 | 794.9817 | 47.14286 |
| 03:30.3   | 1648.791 | 823.5897 | 815.9341 | 1122.967 |
| 03:30.4   | 1650     | 826.8132 | 813.5165 | 1650     |
| 03:30.4   | 1010.549 | 799.011  | 796.1905 | 1201.136 |
| 03:30.4   | 0        | 759.5238 | 776.8498 | 77.76556 |
| 03:30.4   | 633.0037 | 792.1612 | 793.7729 | 0        |
| 03:30.4   | 1644.359 | 850.1832 | 817.9487 | 949.707  |
| 03:30.4   | 1650     | 853.8095 | 816.7399 | 1650     |
| 03:30.4   | 1015.788 | 820.3663 | 806.6667 | 1402.198 |

GAMBAR 24  
(Data Mentah Rekaman EEG)

#### 2. Flitering BPF (Band Pass Filter)

BPF adalah jenis filter yang bertujuan untuk memperoleh frekuensi di antara dua batas (lower cut-off

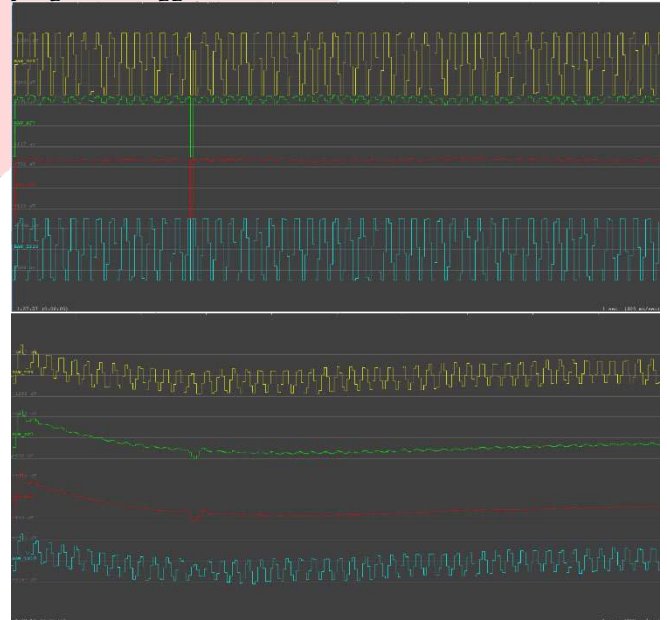
frequency dan upper-cut off frequency). Proses ini adalah proses awal yang penting karena gelombang otak manusia memiliki rentang frekuensi yang terbatas yaitu delta, teta, alfa, beta, dan gama.

```

% Buat filter bandpass 0.5-60 Hz
[b, a] = butter(4, [0.5 60]/(Fs/2), 'bandpass');
...
% Terapkan filter
filtered_values = filtfilt(b, a, raw_values);
  
```

GAMBAR 25  
(Skrip Pemrograman MATLAB Filter BPF)

Dalam pengolahan sinyal EEG, digunakan filter Butterworth orde 4 dengan BPF pada rentang 0,5–60 Hz. Filter ini dipilih karena memiliki respon frekuensi yang halus tanpa riak di passband, dan orde 4 dianggap ideal agar tidak menimbulkan distorsi sinyal, yang umum terjadi pada orde yang lebih tinggi.



GAMBAR 26  
(Perbandingan Sinyal Sebelum (atas) dan Sesudah di Filter dengan BPF)

#### 3. Konversi ke EDF

Sebelum melakukan dekomposisi ICA, data csv perlu dikonversi ke format EDF, hal ini perlu dilakukan agar file tersebut bisa melewati tahap proses dekomposisi ICA di aplikasi MATLAB. Konversi ke EDF dilakukan di website google colab menggunakan bahasa python.

```

# == Fungsi Konversi CSV ke EDF ==
def convert_csv_to_edf(file_name_csv, sample_frequency=256, selected_columns=None):
    try:
        df = pd.read_csv(file_name_csv)
        if selected_columns is not None:
            missing_cols = [col for col in selected_columns if col not in df.columns]
            if missing_cols:
                raise ValueError(f"Kolom tidak ditemukan di CSV: {missing_cols}")
            df = df[selected_columns]

        df_numeric = df.select_dtypes(include=[np.number])
        if df_numeric.empty:
            raise ValueError("Tidak ada kolom numerik setelah filter.")

        signals = df_numeric.to_numpy().T
        signals = np.nan_to_num(signals)
        n_channels = signals.shape[0]

        file_name_edf = file_name_csv.replace(".csv", ".edf")
        if os.path.exists(file_name_edf):
            os.remove(file_name_edf)

        channel_info = []
        for i in range(n_channels):
            signal = signals[i]
            col_name = df_numeric.columns[i]
            channel_info.append({
                'label': col_name,
                'dimension': 'uV',
                'sample_frequency': sample_frequency,
                'physical_min': float(np.min(signal)),
                'physical_max': float(np.max(signal)),
                'digital_min': -32768,
                'digital_max': 32767,
                'transducer': '',
                'prefilter': ''
            })

        edf_writer = pyedflib.EdfWriter(file_name_edf, n_channels=n_channels)
        edf_writer.setSignalHeaders(channel_info)
        edf_writer.writeSamples(signals)
        edf_writer.close()

        print(f"File EDF berhasil dibuat: {file_name_edf}")
        return file_name_edf

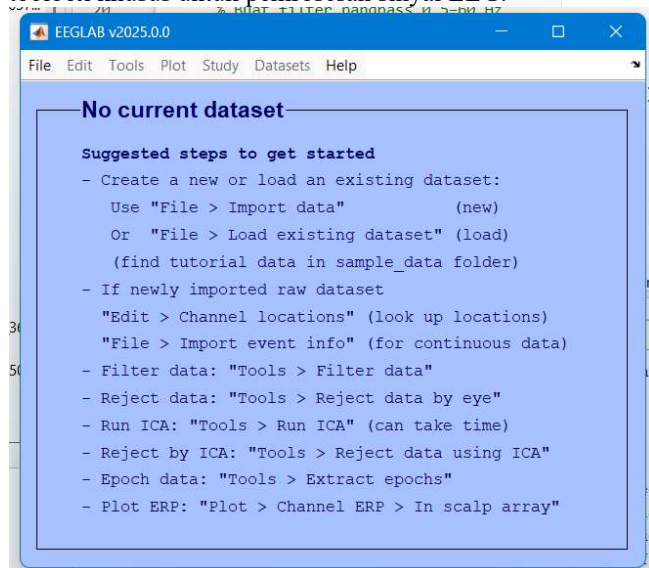
    except Exception as e:
        print(f"Error saat konversi CSV ke EDF: {str(e)}")
        return None

```

GAMBAR 27  
(Kodingan Python EDF Converter)

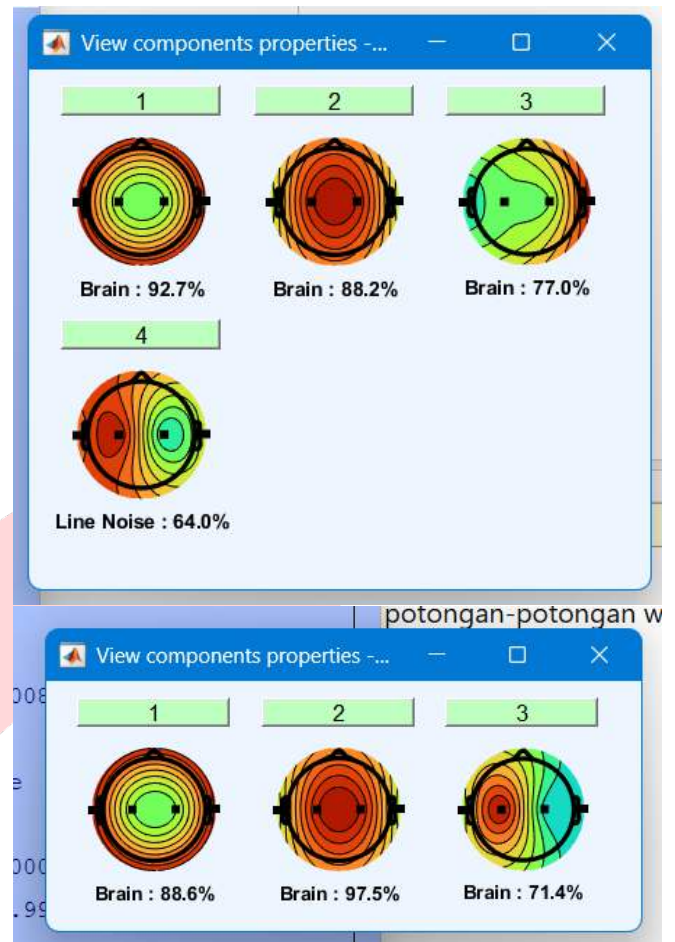
#### 4. Dekomposisi ICA

Tahap dekomposisi ICA berfungsi menghilangkan noise dan artefak dari aktivitas non-otak, seperti gerakan otot atau kedipan mata, yang hanya muncul pada kanal tertentu. ICA mampu mengidentifikasi dan membersihkan kanal yang mengandung mayoritas gangguan. Proses ini dijalankan menggunakan MATLAB dengan bantuan EEGLAB, sebuah toolbox khusus untuk pemrosesan sinyal EEG.



GAMBAR 28  
(EEGLAB)

ICA bertujuan untuk menghilangkan komponen noise tanpa merusak keseluruhan sinyal otak pada kanal EEG. Meskipun komponen artefak dihapus, sinyal tetap terdistribusi dengan baik. Contohnya, pada Gambar 29 ditunjukkan penghapusan komponen ke-4 yang didominasi oleh line noise.



GAMBAR 29  
(ICA Analisis Menghapus Komponen Line Noise)

#### 5. Konversi ke CSV

Data hasil analisis ICA disimpan dalam format EDF dan perlu dikonversi Kembali ke CSV untuk lanjut proses transformasi fourier. Konversi data dilakukan melalui kodingan python. Data hasil analisis ICA disimpan dengan format waktu ms, dan elektroda TP9, AF7, AF8, TP10

```

edf_reader = pyedflib.EdfReader(edf_file)
n_channels = edf_reader.signals_in_file
signal_labels = edf_reader.getSignalLabels()
sample_rate = edf_reader.getSampleFrequency(0)
n_samples = edf_reader.getNSamples()[0]

# Ambil data dari semua channel
data = np.zeros((n_samples, n_channels))
for i in range(n_channels):
    data[:, i] = edf_reader.readSignal(i)
edf_reader.close()

# Buat timestamp
timestamps = np.arange(n_samples) / sample_rate

# Simpan ke DataFrame dan CSV
df = pd.DataFrame(data, columns=signal_labels)
df.insert(0, 'TimeStamp', timestamps)
df.to_csv(csv_output, index=False)

```

GAMBAR 30  
(Konversi EDF ke CSV)

#### 6. Fast Fourier Transform

Karena sinyal awal berada di domain waktu, diperlukan konversi ke domain frekuensi menggunakan metode *Fast Fourier Transform* (FFT), yaitu algoritma yang secara efisien mengubah sinyal agar komponen frekuensinya dapat dianalisis.

```

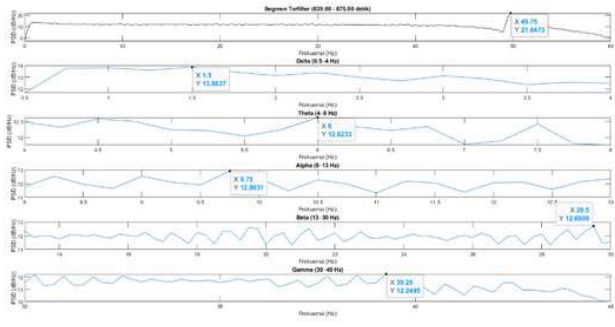
% --- Plot : FFT dari Segmen ---
subplot(6,1,1);
n = length(y_segment);
Y = fft(y_segment);
P2 = abs(Y/n);
P1 = P2(1:floor(n/2)+1);
P1(2:end-1) = 2*P1(2:end-1);
f = fs*(0:(n/2))/n;
plot(f, P1, 'k');
title(sprintf('FFT dari Segmen (%.2f - %.2f detik)', t_segment_abs(1),
t_segment_abs(end)));
xlabel('Frekuensi (Hz)'); ylabel('Magnitudo');
xlim([0 60]);

```

GAMBAR 31  
(Skrup FFT pada Pemrograman MATLAB)

#### 7. Segmentasi Awal dan Akhir

Sinyal EEG disegmentasi berdasarkan waktu saat responden menerima stimulus. Segmentasi ini membandingkan aktivitas otak saat stimulus video/game dengan stimulus BB. Sinyal kemudian divisualisasikan dalam rentang 0,5–60 Hz dan dipisahkan sesuai dengan osilasi gelombang otak.



GAMBAR 32  
(Klasifikasi Frekuensi Sinyal ke Pita Frekuensi Delta, Teta, Alfa, Beta, dan Gama)

### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Pengujian Aplikasi

Pengujian awal aplikasi dilakukan dalam sesi trial untuk menilai kinerja sebelum digunakan lebih lanjut. Evaluasi dilakukan oleh tim peneliti EEG dan UNISBA, dengan penilaian meliputi kemudahan akses, performa, tampilan, dan keamanan, menggunakan skala 1–5. Nilai rata-rata dihitung dari seluruh skor responden, kemudian diklasifikasikan ke dalam kategori penilaian berdasarkan rentang nilai yang telah ditentukan. Berikut kategori skor 1-5 untuk penilaian aplikasi :

- Nilai 1 = Sangat Tidak Setuju
- Nilai 2 = Tidak Setuju
- Nilai 3 = Netral
- Nilai 4 = Setuju
- Nilai 5 = Sangat Setuju

TABEL 1  
(Evaluasi Aplikasi Trial)

| Paramater         | Nilai |
|-------------------|-------|
| Kemudahan Akses   | 4,58  |
| Performa Aplikasi | 4,50  |
| Tampilan Aplikasi | 5,00  |
| Keamanan Aplikasi | 4,83  |

Hasil evaluasi awal aplikasi menunjukkan respons sangat positif dari tim peneliti EEG. Tampilan aplikasi mendapat skor tertinggi yaitu 5.00, menunjukkan kepuasan penuh

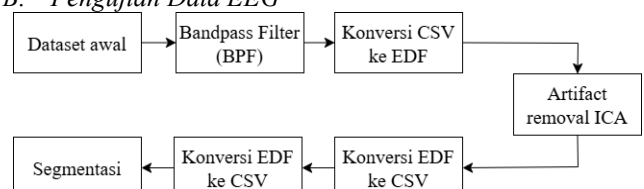
terhadap desain antarmuka. Keamanan aplikasi mendapat skor 4.83, menandakan kepercayaan tinggi terhadap perlindungan data. Kemudahan akses dan performa juga dinilai baik dengan skor masing-masing 4.58 dan 4.50.

Pengujian lanjutan dilakukan setelah pengambilan data EEG, menggunakan kuesioner Google Form yang mencakup aspek desain, performa, dan keamanan. Penilaian dari 32 responden menghasilkan hasil yang memuaskan, memperkuat kualitas aplikasi secara keseluruhan.

TABEL 2  
(Penilaian Aplikasi Hasil Kuesioner)

| No | Pertanyaan                                                                                                                                                        | Rata-rata skor | Kategori |
|----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|----------|
| 1  | Seberapa mudah pengguna memahami antarmuka aplikasi?                                                                                                              | 4,56           | Setuju   |
| 2  | Penggunaan font memudahkan pembaca dalam memahami isi tulisan                                                                                                     | 4,50           | Setuju   |
| 3  | Seberapa mudah pengguna menemukan fitur yang dibutuhkan?                                                                                                          | 4,43           | Setuju   |
| 4  | Bagaimana tingkat respons aplikasi saat pengguna menggunakannya?                                                                                                  | 4,50           | Setuju   |
| 5  | Apakah aplikasi terasa aman dalam hal perlindungan data pribadi?                                                                                                  | 4,40           | Setuju   |
| 6  | Seberapa puas anda dalam hal mengenai desain visual aplikasi?                                                                                                     | 4,46           | Setuju   |
| 7  | Seberapa nyaman tata letak dan desain aplikasi bagi pengguna?                                                                                                     | 4,46           | Setuju   |
| 8  | Seberapa cepat aplikasi memuat halaman atau fitur yang akan digunakan?                                                                                            | 4,53           | Setuju   |
| 9  | Aplikasi mudah digunakan tanpa perlu penjelasan tambahan                                                                                                          | 4,37           | Setuju   |
| 10 | Layout halaman dirancang agar nyaman digunakan dalam jangka panjang                                                                                               | 4,31           | Setuju   |
| 11 | Aplikasi tetap stabil tanpa error atau crash selama pemberian stimulus                                                                                            | 4,50           | Setuju   |
| 12 | Evaluasi secara menyeluruh menunjukkan bahwa baik dari sisi desain maupun operasional, aplikasi ini telah dirancang dengan baik untuk memenuhi kebutuhan pengguna | 4,62           | Setuju   |

#### B. Pengujian Data EEG



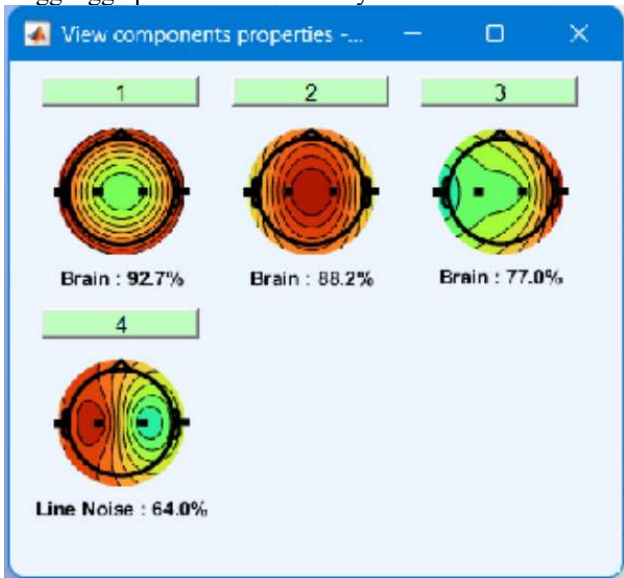
GAMBAR 33  
(Diagram Proses Tahapan Pengujian)

Dataset yang kami peroleh dari hasil perekaman EEG akan diimpor ke perangkat *desktop* untuk proses pengolahan lebih lanjut. Tahap pertama yang harus dilakukan ada proses penyaringan menggunakan *Band-pass Filter* (BPF) melalui MATLAB karena hanya 4 *channel* yang akan kami olah yaitu TP9, AF7, AF8, TP10.

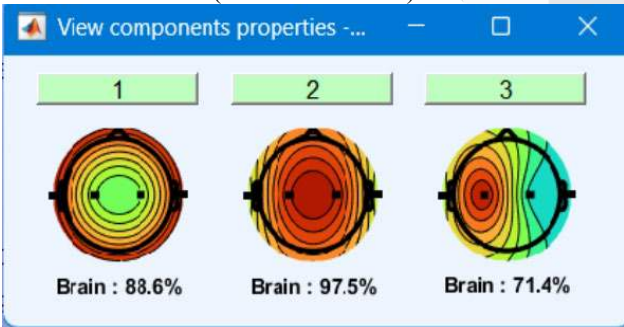
TABEL 3  
(Dataset Hasil Perekaman EEG)

| TimeStamp  | RAW_TP9  | RAW_AF7  | RAW_AF8  | RAW_TP10 |
|------------|----------|----------|----------|----------|
| 00:01:24.9 | 23.4311  | -5.89678 | 7.21773  | 9.297698 |
| 00:01:24.9 | 636.5617 | 649.1396 | 663.4152 | 620.1349 |
| 00:01:25.0 | 934.4297 | 929.5048 | 942.9647 | 880.3667 |
| 00:01:25.0 | 936.1657 | 877.8042 | 888.304  | 860.4584 |

Tabel diatas menampilkan contoh dataset responden yang telah melalui proses filtering dan konversi dari CSV ke EDF sebagai persiapan analisis ICA. Proses ICA digunakan untuk mendekomposisi sinyal EEG menjadi komponen independen, serta mengidentifikasi artefak seperti gerakan mata, aktivitas otot rahang, dan line noise yang dapat mengganggu proses klasifikasi sinyal.



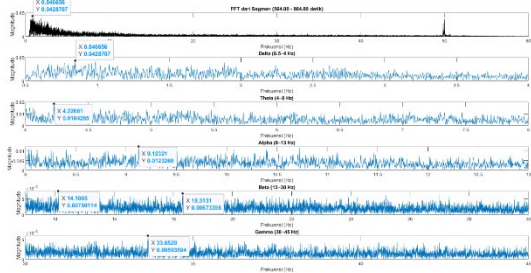
GAMBAR 34  
(Hasil Proses ICA)



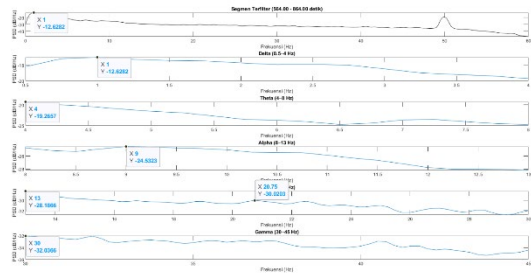
GAMBAR 35  
(Output ICA Setelah *Remove Components from Data*)

Setelah proses dekomposisi selesai, data bersih (*processed data*) kemudian diubah kembali formatnya dari

EDF ke CSV untuk proses analisis selanjutnya. Data kemudian akan diplot dan dianalisis menggunakan FFT yang bertujuan untuk mengklasifikasikan spektrum sinyal otak berdasarkan karakteristik frekuensinya.



GAMBAR 36  
(Magnitude Stimulus Audio)



GAMBAR 37  
(Daya Stimulus Audio)

C. Hasil Pengujian

Eksperimen stimulus enhanced alfa menggunakan audio Binaural Beats (BB) bertujuan meningkatkan osilasi sinyal alfa (10 Hz) untuk menciptakan relaksasi. Efektivitas BB dinilai dari penurunan stres, yang dilihat melalui perubahan frekuensi dan daya sinyal beta (terutama beta tinggi 22–30 Hz yang berkaitan dengan kecemasan). Analisis membandingkan osilasi sinyal alfa dan beta selama stimulus video dan dua sesi audio, dari 5 responden namun hanya 3 data yang dapat digunakan. Hasil perbandingan ditampilkan pada Tabel 4 (alfa) dan Tabel 5 (beta).

TABEL 4  
(Analisis Frekuensi Alfa)

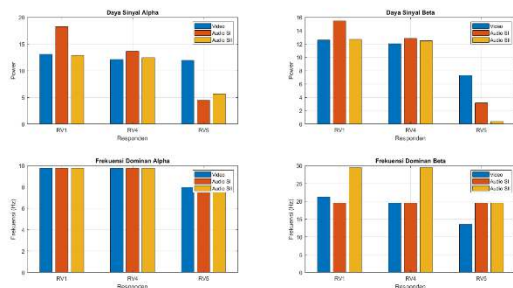
| Respo<br>nden | Video |       | Audio SI |       | Audio SII |       |
|---------------|-------|-------|----------|-------|-----------|-------|
|               | Frek. | Daya  | Frek.    | Daya  | Frek.     | Daya  |
| RV1           | 9,75  | 13,04 | 19,5     | 15,49 | 29,5      | 12,69 |
| RV4           | 9,75  | 12,12 | 19,5     | 12,82 | 29,5      | 12,49 |
| RV5           | 8,00  | 11,96 | 19,5     | 3,16  | 19,5      | 0,38  |

Tabel menunjukkan frekuensi alfa stabil di tiap responden, namun dayanya bervariasi. RV1 mengalami lonjakan daya tertinggi saat Audio SI, sedangkan RV5 justru menurun drastis. Ini menunjukkan respons individu berbeda-beda terhadap stimulus; RV1 paling sensitif, RV4 moderat, dan RV5 paling rendah. Temuan ini menegaskan bahwa modulasi otak harus disesuaikan secara personal.

TABEL 5  
(Analisis Frekuensi Beta)

| Responden | Video |       | Audio SI |       | Audio SII |       |
|-----------|-------|-------|----------|-------|-----------|-------|
|           | Frek. | Daya  | Frek.    | Daya  | Frek.     | Daya  |
| RV1       | 21,25 | 12,58 | 19,5     | 15,49 | 29,5      | 12,69 |
| RV4       | 19,5  | 12,04 | 19,5     | 12,82 | 29,5      | 12,49 |
| RV5       | 13,5  | 7,31  | 19,5     | 3,16  | 19,5      | 0,38  |

Tabel 5 menunjukkan frekuensi beta cenderung stabil pada RV1 dan RV4, namun melonjak ke 29,5 Hz pada Audio SII, mencerminkan respons kognitif tinggi. RV5 menunjukkan frekuensi rendah dan daya menurun drastis, terutama pada Audio SII. Daya beta tertinggi tercatat pada RV1 saat Audio SI (15,49  $\mu\text{V}^2/\text{Hz}$ ), sedangkan RV5 mengalami penurunan ekstrem, kemungkinan karena kelelahan atau gangguan fokus. Perbedaan ini menekankan pentingnya pendekatan individual dalam pengaturan stimulus kognitif.



GAMBAR 38  
(Visualisasi Perbandingan Frekuensi dan Daya)

Analisis kedua dilakukan untuk data rekaman menggunakan stimulus game-audio. Data yang dapat digunakan hanya dari 3 dari 5 responden. Responden diminta memainkan stimulus game, kemudian dilanjutkan dengan stimulus audio sebanyak dua sesi.

TABEL 6  
(Analisis Frekuensi Alfa)

| Responden | Video |       | Audio SI |       | Audio SII |       |
|-----------|-------|-------|----------|-------|-----------|-------|
|           | Frek. | Daya  | Frek.    | Daya  | Frek.     | Daya  |
| RG1       | 10,50 | 22,40 | 10,5     | 30,60 | 10,75     | 22,97 |
| RG4       | 9,75  | 16,26 | 8,00     | 17,72 | 10,75     | 23,68 |
| RG5       | 8     | 2,52  | 8,00     | 18,14 | 9         | 24,53 |

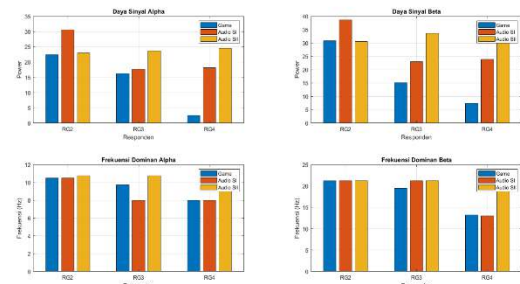
Tabel 6 menunjukkan bahwa RG2 konsisten memiliki daya alfa tertinggi di semua stimulus dengan frekuensi stabil. RG3 mengalami peningkatan daya meski frekuensinya berfluktuasi, sementara RG4 menunjukkan lonjakan signifikan dari daya rendah saat Game ke tinggi pada Audio SII. Perbedaan ini mencerminkan sensitivitas individu terhadap jenis stimulus, menekankan pentingnya intervensi neuromodulasi yang dipersonalisasi.

TABEL 7  
(Analisis Frekuensi Beta)

| Responden | Video |       | Audio SI |       | Audio SII |       |
|-----------|-------|-------|----------|-------|-----------|-------|
|           | Frek. | Daya  | Frek.    | Daya  | Frek.     | Daya  |
| RV1       | 21,25 | 12,58 | 19,5     | 15,49 | 29,5      | 12,69 |
| RV4       | 19,5  | 12,04 | 19,5     | 12,82 | 29,5      | 12,49 |

|     |      |      |      |      |      |      |
|-----|------|------|------|------|------|------|
| RV5 | 13,5 | 7,31 | 19,5 | 3,16 | 19,5 | 0,38 |
|-----|------|------|------|------|------|------|

Tabel 7 menunjukkan bahwa stimulus audio, khususnya Audio SII, secara umum memicu peningkatan frekuensi dan daya gelombang beta dibandingkan game. RG2 mempertahankan frekuensi stabil, namun daya tertinggi muncul saat Audio SI. RG3 dan RG4 menunjukkan peningkatan frekuensi dan daya signifikan, menandakan respons kognitif kuat terhadap audio. Hasil ini menegaskan bahwa efektivitas stimulus audio bersifat individual.



GAMBAR 39  
(Visualisasi Perbandingan Frekuensi dan Daya)

## V. KESIMPULAN

Aplikasi Neurobliss terbukti stabil dan mudah digunakan sebagai platform stimulasi sinyal alfa. Pengujian oleh 32 responden menghasilkan skor kepuasan rata-rata 4,47/5 untuk antarmuka, performa, dan keamanan data. Fitur pemutaran audio binaural beats dan musik relaksasi berjalan lancar tanpa error, sehingga aplikasi siap dipakai sebagai alat bantu non-medis dalam pengelolaan kecemasan.

Analisis sinyal EEG mengonfirmasi bahwa Audio SI menimbulkan lonjakan daya gelombang alfa hingga 15–40 % pada sebagian besar peserta, meskipun frekuensi dominan tetap stabil di 8–10 Hz. Audio SII dan stimulus game-audio secara konsisten meningkatkan frekuensi dan daya gelombang beta—tanda peningkatan kewaspadaan kognitif atau potensi stres. Secara keseluruhan, Neurobliss berhasil memenuhi tujuan penelitian dengan memfasilitasi observasi perubahan alfa dan beta melalui antarmuka praktis.

## REFERENSI

- [1] M. M. Kenwood, N. H. Kalin, and H. Barbas, "The prefrontal cortex, pathological anxiety, and anxiety disorders," Jan. 01, 2022, Springer Nature. doi: 10.1038/s41386-021-01109-z.
- [2] American Psychiatric Association, DIAGNOSTIC AND STATISTICAL MANUAL OF DSM-5 TM, 5th ed. Arlington, VA: American Psychiatric Association, 2013.
- [3] J. Noland. W. Sandra. K. Ciccarelli, Psychology, 6th ed. United Kingdom: Pearson Education, 2021.
- [4] J. A. Micoulaud-Franchi, C. Jeunet, A. Pelissolo, and T. Ros, "EEG Neurofeedback for anxiety disorders and post-traumatic stress disorders: a blueprint for a promising brain based therapy," Curr Psychiatry Rep, vol. 23, no. 12, p. 83, 2021, doi: 10.1007/s11920-021-01299-9.
- [5] X.-Q. Liu, Y.-X. Guo, and Y. Xu, "Risk factors and digital interventions for anxiety disorders in college students: Stakeholder perspectives," World J Clin Cases, vol. 11, no.

- 7, pp. 1442–1457, Mar. 2023, doi: 10.12998/wjcc.v11.i7.1442.
- [6] Wahdi, Amirah Ellyza, Siswanto Agus Wilopo, and Holly Elizabeth Erskine, “The prevalence of adolescent mental disorders in Indonesia: An analysis of Indonesia-National Mental Health Survey (I-NAMHS),” *Journal of Adolescent Health*, vol. 72, 2022.
- [7] A. J. Casson, M. Abdulaal, M. Dulabh, S. Kohli, S. Krachunov, and E. Trimble, “Electroencephalogram,” in *Seamless Healthcare Monitoring*, Cham: Springer International Publishing, 2018, pp. 45–81. doi: 10.1007/978-3-319-69362-0\_2.
- [8] H. Hebron et al., “A closed-loop auditory stimulation approach selectively modulates alpha oscillations and sleep onset dynamics in humans,” *PLoS Biol*, vol. 22, no. 6 June, Jun. 2024, doi: 10.1371/journal.pbio.3002651.
- [9] K. Sharma and S. Choudhary, “Effects of music therapy, mantra therapy, and alpha beta binaural beats on human energy fields using RFI technology,” *Int J Biomed Eng Technol*, vol. 44, no. 1, pp. 26–46, 2024, doi: 10.1504/IJBET.2024.136382.
- [10] N. D. Nicoară, P. Marian, A. O. Petriș, C. Delcea, and F. Manole, “A Review of the Role of Cognitive-Behavioral Therapy on Anxiety Disorders of Children and 68 Adolescents,” *Pharmacophore*, vol. 14, no. 4, pp. 28–32, 2023, doi: 10.51847/IKULo5pB1T.
- [11] S. Lee et al., “Investigating the effect of mindfulness training for stress management in military training: the relationship between the autonomic nervous system and emotional regulation,” *BMC Psychol*, vol. 13, no. 1, p. 13, Jan. 2025, doi: 10.1186/s40359-024 02322-3.
- [12] A. M. Kring and S. L. Johnson, *Abnormal Psychology: The Science and Treatment of Psychological Disorder*, 15th ed. Singapore: John Wiley & Sons Singapore, 2022.
- [13] Y. Deng and X. Wang, “The impact of physical activity on social anxiety among college students: the chain mediating effect of social support and psychological capital,” *Front Psychol*, vol. 15, 2024, doi: 10.3389/fpsyg.2024.1406452.
- [14] K. E. Zentner, H. Lee, B. S. Dueck, and T. Masuda, “Cultural and gender differences in social anxiety: The mediating role of self-construals and gender role identification,” *Current Psychology*, vol. 42, no. 25, pp. 21363–21374, Sep. 2023, doi: 10.1007/s12144 022-03116-9.
- [15] N. F. Praharso, H. Pols, and N. Tiliopoulos, “Mental health literacy of Indonesian health practitioners and implications for mental health system development,” *Asian J Psychiatr*, vol. 54, p. 102168, Dec. 2020, doi: 10.1016/j.ajp.2020.102168.
- [16] Z. Wang et al., “Personalized State Anxiety Detection: An Empirical Study with Linguistic Biomarkers and A Machine Learning Pipeline,” in *2023 45th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine & Biology Society (EMBC)*, IEEE, Jul. 2023, pp. 1–6. doi: 10.1109/EMBC40787.2023.10341015.
- [17] A. A. G. Saged et al., “The f an Islamic-Based Intervention on Depression and Anxiety in Malaysia,” *J Relig Health*, vol. 61, no. 1, pp. 79–92, Feb. 2022, doi: 10.1007/s10943 021-01484-3.
- [18] A. W. Keizer, “Standardization and Personalized Medicine Using Quantitative EEG in Clinical Settings,” *Clin EEG Neurosci*, vol. 52, no. 2, pp. 82–89, Apr. 2021, doi: 10.1177/1550059419874945.
- [19] V. Rakhshan, P. Hassani-Abharian, M. Joghataei, M. Nasehi, and R. Khosrowabadi, “Effects of the Alpha, Beta, and Gamma Binaural Beat Brain Stimulation and Short Term Training on Simultaneously Assessed Visuospatial and Verbal Working Memories, Signal Detection Measures, Response Times, and Intrasubject Response Time Variabilities: A Within-Subject Randomized Placebo-Controlled Clinical Trial,” *Biomed Res Int*, vol. 2022, 2022, doi: 10.1155/2022/8588272.
- [20] W. Yan, B. He, J. Zhao, Y. Wu, C. Du, and G. Xu, “Frequency Domain Filtering Method for SSVEP-EEG Preprocessing,” *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 10.1109/TNSRE.2023.3266488.
- [21] R. K. Das, A. Martin, T. Zuraes, D. Dowling, and A. Khan, “A Survey on EEG Data Analysis Software,” *Sci*, vol. 5, no. 2, p. 23, Jun. 2023, doi: 10.3390/sci5020023.
- [22] S. Suwanto, M. H. Bisri, D. C. R. Novitasari, and A. H. Asyhar, “Classification of EEG Signals using Fast Fourier Transform (FFT) and Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS),” *Jurnal Matematika “MANTIK”*, vol. 5, no. 1, pp. 35–44, May 2019, doi: 10.15642/mantik.2019.5.1.35-44.
- [23] A. Chaddad, Y. Wu, R. Kateb, and A. Bouridane, “Electroencephalography Signal Processing: A Comprehensive Review and Analysis of Methods and Techniques,” *Jul. 01, 2023, Multidisciplinary* 10.3390/s23146434.
- [24] M. P. Hosseini, A. Hosseini, and K. Ahi, “A Review on Machine Learning for EEG Signal Processing in Bioengineering,” *IEEE Rev Biomed Eng*, vol. 14, pp. 204–218, 2021, doi: 10.1109/RBME.2020.2969915.
- [25] Z.-B. Liu et al., “Short-term efficacy of music therapy combined with  $\alpha$  binaural beat therapy in disorders of consciousness,” *Front Psychol*, vol. 13, Sep. 2022, doi: 10.3389/fpsyg.2022.947861.
- [26] T. Makada, D. Ozair, M. Mohammed, and C. Abellanoza, “Enhancing Memory Retention by Increasing Alpha and Decreasing Beta Brainwaves using Music,” in *Proceedings of the 9th ACM International Conference on PErvasive Technologies Related to Assistive Environments*, New York, NY, USA: ACM, Jun. 2016, pp. 1–4. doi: 10.1145/2910674.2935851.
- [27] Z. B. Liu et al., “Short-term efficacy of music therapy combined with  $\alpha$  binaural beat therapy in disorders of consciousness,” *Front Psychol*, vol. 13, Sep. 2022, doi: 10.3389/fpsyg.2022.947861.
- [28] T. Makada, D. Ozair, M. Mohammed, and C. Abellanoza, “Enhancing memory retention by increasing

alpha and decreasing beta brainwaves using music,” in ACM International Conference Proceeding Series, Association for Computing Machinery, Jun. 2016. doi: 10.1145/2910674.2935851.

