

Desain Troll Game Untuk Stimulasi Perubahan Brainwave Pada Kegiatan Observasi Stimulasi Audio Enhanced Alpha

1st Fadly Bimo Eka Yuwono
Fakultas Teknik Elektro
Telkom University
Bandung, Indonesia

fadly.bimoey@student.telkomuniversit
y.ac.id

2nd Aldwin Lutffattan Mausoo
Fakultas Teknik Elektro
Telkom University
Bandung, Indonesia

aldwinlm@student.telkomuniversity.ac.i
d

3rd Hana Fadhilah
Fakultas Teknik Elektro
Telkom University
Bandung, Indonesia

hanafadhilah@student.telkomuniversity
.ac.id

4th Dr. inung Wijayanto S.T., M.T.
Fakultas Teknik Elektro
Telkom University
Bandung, Indonesia

iwijayanto@telkomuniversity.ac.id

4th Dr. Ir. Rina Pudji Astuti, M.T
Fakultas Teknik Elektro
Telkom University
Bandung, Indonesia

rinapudjiastuti@telkomuniversity.ac.id

Abstrak — Gangguan kecemasan menjadi isu besar kesehatan mental global. Penelitian ini mengembangkan permainan berbasis web bernama *Turtle Trouble* yang dirancang untuk memicu transisi emosi dari kondisi nyaman menjadi tidak nyaman, serta memantau perubahan aktivitas gelombang otak menggunakan EEG Muse 2 secara real-time. Responden berusia 18–23 tahun memainkan permainan ini dalam lima level dengan tingkat kesulitan bertahap. Pemantauan dilakukan terhadap gelombang alpha (8–12 Hz), beta (12–30 Hz), dan gamma (>30 Hz). Hasil menunjukkan peningkatan kemunculan frekuensi tinggi seiring naiknya level permainan: 5 kali pada Level 1, 6,5 kali pada Level 2, dan 9,5 kali pada Level 3. Gelombang beta dan gamma mendominasi selama permainan, sedangkan gelombang alpha meningkat setelah pemberian stimulus audio *Enhanced Alpha*. Skor subjektif ketidaknyamanan rata-rata adalah 4,41 pada skala 1–5. Temuan ini menunjukkan bahwa *Turtle Trouble* dapat menjadi media efektif untuk penelitian neuropsikologi, serta memiliki potensi sebagai prototipe terapi ringan dan pelatihan pengendalian emosi.

Kata kunci— brainwave, EEG, enhanced alpha, Turtle Trouble, neurofeedback, game frustrasi.

I. PENDAHULUAN

Video game tidak hanya menjadi media hiburan, tetapi juga sarana interaktif yang mampu memengaruhi emosi pemain melalui desain visual, mekanika permainan, dan tingkat kesulitan [1]. Studi sebelumnya menunjukkan bahwa game dengan elemen mengejutkan atau kontrol yang menyulitkan dapat memicu frustrasi dan digunakan untuk mengamati ketahanan mental serta regulasi emosi [2], [3]. Namun, sebagian besar penelitian tersebut hanya mengandalkan observasi subjektif atau kuesioner, tanpa pemantauan aktivitas otak secara real-time [4], [5]. Celah ini menjadi peluang untuk mengembangkan media yang dapat memicu transisi emosi secara terkontrol sekaligus merekam respons neurologis pemain.

Penelitian ini mengusulkan *Turtle Trouble*, sebuah troll game berbasis web yang dirancang untuk memicu transisi emosi dari kondisi nyaman ke tidak nyaman melalui jebakan tersembunyi, rute yang membingungkan, dan kontrol yang menyulitkan. Sistem ini terintegrasi dengan perangkat EEG Muse 2 untuk memantau perubahan gelombang otak, khususnya alpha, beta, dan gamma, selama permainan berlangsung [6], [7]. Tujuannya adalah untuk menguji hubungan antara desain game frustratif dan perubahan aktivitas otak, serta mengevaluasi potensinya sebagai prototipe terapi ringan, pelatihan pengendalian emosi, dan media penelitian neuropsikologi.

II. KAJIAN TEORI

A. Karakteristik dan Rentang Frekuensi Gelombang Otak

Gelombang otak adalah pola aktivitas listrik yang dihasilkan oleh neuron di otak [1], diukur menggunakan elektroensefalografi (EEG). Aktivitas ini memiliki rentang frekuensi tertentu yang terbagi menjadi lima kategori utama,

- Delta (0–4 Hz) : tidur nyenyak
- Theta (4–8 Hz) : relaksasi dalam, kantuk
- Alpha (8–12 Hz) : relaksasi ringan, fokus santai
- Beta (12–30 Hz) : fokus tinggi, kewaspadaan, stres ringan
- Gamma (>30 Hz) : pemrosesan kognitif tingkat tinggi

Pengelompokan ini penting untuk interpretasi kondisi mental pemain selama eksperimen [1]. Setiap kategori mencerminkan kondisi mental yang berbeda. Gelombang delta muncul saat tidur nyenyak tanpa mimpi, theta muncul saat relaksasi dalam atau kantuk, alpha muncul ketika seseorang dalam keadaan rileks namun tetap sadar, beta mendominasi saat fokus atau stres ringan, dan gamma terkait dengan pemrosesan kognitif kompleks. Dalam penelitian ini, pengamatan terutama difokuskan pada gelombang alpha, beta, dan gamma karena relevansinya dengan kondisi fokus, stres, dan relaksasi pemain saat bermain game.

B. Fungsi Gelombang Otak dan Stimulus Enhanced Alpha

Gelombang alpha memiliki fungsi penting dalam menjaga stabilitas emosi dan membantu proses pemulihan mental dari stres [8]. Ketika seseorang mengalami stres atau tekanan mental, aktivitas alpha biasanya menurun, sementara aktivitas beta dan gamma meningkat. Stimulus audio berfrekuensi alpha, yang dikenal sebagai *Enhanced Alpha Stimulation*, dapat memicu sinkronisasi neuron ke rentang frekuensi alpha. Proses ini membantu mengembalikan kondisi rileks secara alami. Dalam penelitian ini, stimulus ini digunakan setelah pemain menyelesaikan sesi permainan yang menimbulkan frustrasi, dengan tujuan mengamati perubahan kembali ke kondisi rileks.

C. Pengaruh Visual Game terhadap Emosi Pemain

Visual game mencakup semua elemen grafis yang ditampilkan kepada pemain, seperti warna, pencahayaan, animasi, dan efek khusus. Penelitian menunjukkan bahwa warna-warna hangat seperti merah atau oranye dapat meningkatkan kewaspadaan dan ketegangan, sedangkan warna sejuk seperti biru atau hijau cenderung memberikan efek menenangkan [2]. Efek visual dengan kontras tinggi dan animasi cepat dapat memicu peningkatan aktivitas beta, sedangkan visual yang lebih lembut cenderung meningkatkan alpha. Dalam game frustratif seperti *Turtle Trouble*, elemen visual yang membingungkan dan memicu kewaspadaan digunakan untuk mempertahankan ketegangan emosional pemain.

D. Game Sebagai Media Edukasi dan Terapi

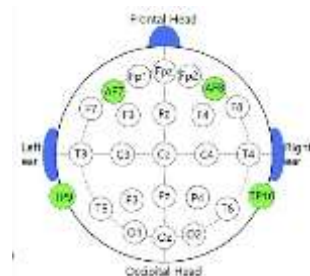
Game tidak hanya berfungsi sebagai hiburan, tetapi juga sebagai media edukasi dan terapi [3]. Dalam konteks terapi, game dapat membantu pasien melatih keterampilan kognitif, mengatur emosi, dan mengurangi stres melalui interaksi yang menyenangkan. Terapi berbasis game memiliki keunggulan berupa keterlibatan aktif pengguna, motivasi intrinsik yang tinggi, dan lingkungan yang aman untuk berlatih mengatasi situasi menantang. Penelitian ini memanfaatkan konsep tersebut dengan merancang game yang dapat menjadi media simulasi frustrasi terkontrol sekaligus memberikan data objektif dari aktivitas otak.

E. Game Frustratif sebagai Instrumen Psikologis

Game frustratif adalah jenis permainan yang sengaja dirancang untuk menimbulkan rasa frustrasi melalui tantangan yang tidak terduga, kontrol yang sulit, atau rute yang membingungkan [9]. Tujuan utama dari desain ini bukanlah membuat pemain menyerah, melainkan menguji bagaimana mereka merespons tekanan emosional. Dari sudut pandang psikologi, frustrasi yang terkontrol dapat menjadi stimulus untuk mempelajari strategi pengendalian emosi dan ketahanan mental. Dalam penelitian ini, frustrasi diukur tidak hanya melalui kuesioner subjektif, tetapi juga dengan pemantauan aktivitas gelombang otak pemain.

F. Penggunaan EEG untuk Mengamati Respons pemain

Electroencephalography (EEG) adalah metode pencatatan aktivitas listrik otak melalui elektroda yang ditempatkan di kulit kepala [7]. EEG bekerja dengan mengukur perbedaan potensial listrik yang dihasilkan oleh aktivitas neuron korteks. Sinyal EEG memiliki amplitudo rendah (μV) dan memerlukan penguatan serta filtrasi sebelum dianalisis. Kelebihan EEG adalah kemampuannya merekam data secara real-time dengan resolusi temporal tinggi, sehingga sangat cocok digunakan untuk memantau respons otak pemain selama bermain game.



Gambar 1 Posisi Elektroda AF7, AF8, TP9 dan TP10

G. Rasio Alpha/Beta sebagai Indikator Neurokognitif

Rasio antara gelombang alpha dan beta merupakan salah satu indikator penting dalam mengevaluasi keadaan mental seseorang. Alpha biasanya diasosiasikan dengan relaksasi, sedangkan beta menunjukkan fokus atau stres ringan [8]. Ketika seseorang berada dalam kondisi tertekan, aktivitas beta meningkat dan alpha menurun, menyebabkan penurunan rasio alpha/beta [8].

H. Analisis Sinyal EEG Menggunakan MATLAB dan EEGLAB
MATLAB adalah perangkat lunak komputasi numerik yang banyak digunakan untuk analisis sinyal [10], termasuk EEG. EEGLAB adalah plugin MATLAB yang menyediakan fungsi untuk memproses data EEG seperti filtrasi bandpass (1–40 Hz), penghapusan artefak menggunakan *Independent Component Analysis* (ICA), dan perhitungan spektrum daya. Analisis ini digunakan untuk memisahkan komponen sinyal EEG yang relevan dan memfokuskan pada pita frekuensi tertentu yang menjadi variabel penelitian [10].

I. Fast Fourier Transform (FFT)

Fast Fourier Transform (FFT) adalah algoritma yang digunakan untuk mengubah sinyal dari domain waktu ke domain frekuensi dengan efisien [11]. Dalam penelitian EEG, FFT digunakan untuk mengetahui distribusi energi pada tiap pita frekuensi otak. Persamaan umum FFT adalah:

$$H(s) = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{s}{\omega_c}\right)^{2n}}} \quad (1)$$

Dengan $x(n)$ sebagai sinyal EEG dalam domain waktu, $X(k)$ sebagai hasil transformasi ke domain frekuensi, dan N sebagai jumlah total sampel sinyal. Melalui transformasi FFT, sinyal EEG dapat dipecah menjadi komponen-komponen frekuensi spesifik yang mencerminkan aktivitas otak pada pita gelombang tertentu, seperti Alpha (8–12 Hz), Beta (13–30 Hz), dan Gamma (30–100 Hz) [11]. Informasi ini sangat penting dalam menentukan keadaan kognitif atau emosional seseorang selama menjalani aktivitas tertentu, seperti bermain game [11].

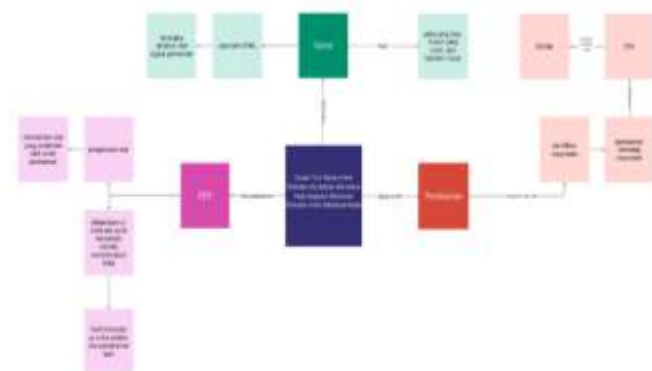
III. METODE

A. Desain Sistem

Desain Sistem terintegrasi dalam penelitian ini dirancang untuk mengatur seluruh tahapan eksperimen secara terstruktur dan sistematis. Perancangan sistem ini bertujuan untuk memastikan bahwa setiap proses, mulai dari pemberian

stimulus hingga analisis data, dapat berjalan dengan konsisten, terarah, dan sesuai dengan tujuan penelitian.

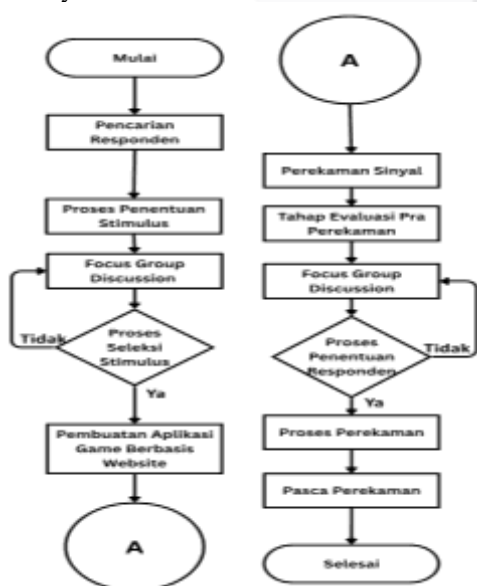
Blok diagram pada Gambar 3.1 menggambarkan kerangka umum sistem yang terdiri dari tiga komponen utama, yaitu permainan sebagai media stimulus, pemantauan EEG, dan perekaman serta analisis data. Setiap bagian dalam sistem saling terhubung dan membentuk alur kerja yang utuh, di mana masing-masing komponen memiliki peran penting dalam mendukung kelancaran pelaksanaan eksperimen. Dengan pendekatan terintegrasi ini, proses validasi dan pelaksanaan eksperimen menjadi lebih mudah dipantau, dievaluasi, dan disesuaikan jika diperlukan.



Gambar 2. Blok Diagram Website sampai Pengolahan Sinyal

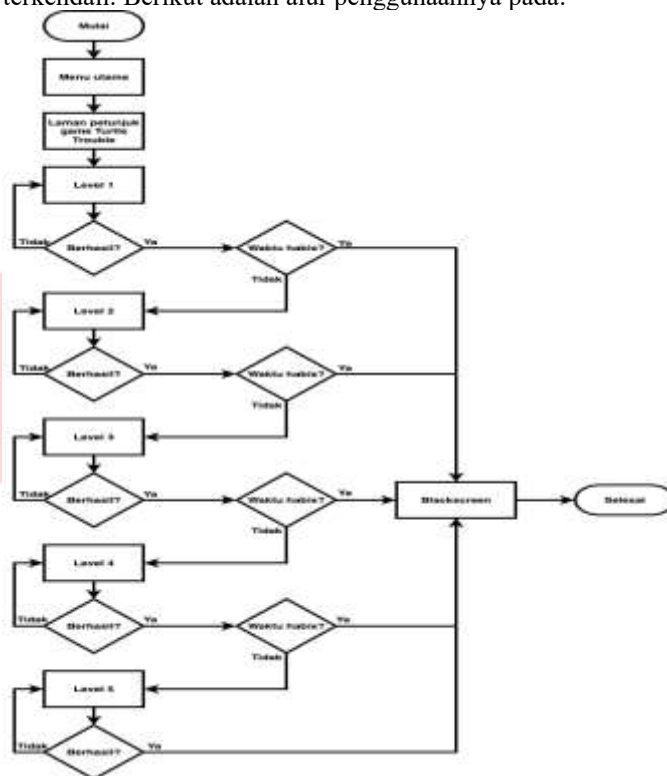
B. Cara Kerja Sistem

Proses dimulai dengan pemasangan alat EEG pada responden dalam kondisi rileks. Setelah itu, responden menjalani dua tahap: memainkan troll game dan mendengarkan stimulus audio. Sinyal EEG yang terekam dianalisis menggunakan MATLAB dan EEGLAB untuk mengidentifikasi perubahan frekuensi, khususnya pada gelombang alpha, beta, dan gamma. Tujuan analisis ini adalah untuk melihat respons otak terhadap transisi dari kondisi nyaman ke tidak nyaman. Diagram alur penelitian dan klasifikasi sinyal EEG.



Gambar 3. Flowchart Alur Penelitian

Pengguna terlebih dahulu diarahkan ke halaman permainan *Turtle Trouble*, yang dirancang untuk memicu ketidaknyamanan melalui kontrol yang menyulitkan, level acak, dan waktu terbatas. Saat permainan berlangsung, sistem akan merekam aktivitas otak menggunakan perangkat EEG. Alur ini memastikan bahwa responden mengalami tekanan yang diperlukan dalam kondisi yang tetap aman dan terkendali. Berikut adalah alur penggunaannya pada:



Gambar 4. Alur Website Stimulus

C. Detail Implementasi

Prosedur penelitian dimulai dengan pemasangan dan kalibrasi perangkat EEG Muse 2 pada responden, dilanjutkan dengan perekaman baseline selama dua menit dalam kondisi rileks. Selanjutnya, responden memainkan game *Turtle Trouble* dari Level 1 hingga Level 5, selama responden memainkan game akan diberi waktu 10 menit agar tetap terkontrol dan berisi elemen frustratif seperti jebakan tersembunyi serta kontrol yang sulit. Setelah permainan, responden mendengarkan stimulus audio *Enhanced Alpha* untuk memicu pemulihan kondisi rileks, kemudian mengisi kuesioner skala Likert untuk menilai tingkat ketidaknyamanan. Data EEG yang diperoleh dianalisis menggunakan MATLAB dan EEGLAB melalui proses filtrasi, penghapusan artefak dengan ICA, transformasi Fourier cepat (FFT), dan perhitungan rasio alpha/beta untuk mengukur transisi kondisi mental dari rileks ke fokus atau stres.



Gambar 5. Tampilan Awal dan Kedua pada Aplikasi Website Turtle Trouble

Data EEG dari Muse 2 disimpan dalam format CSV melalui aplikasi *Mind Monitor* dan dianalisis di MATLAB menggunakan EEGLAB. Proses analisis meliputi filtrasi bandpass 1–40 Hz, penghapusan artefak dengan ICA, dan transformasi Fourier cepat (FFT) untuk mendapatkan spektrum daya pada pita alpha, beta, dan gamma. Selanjutnya dihitung rasio alpha/beta untuk mengukur perubahan kondisi mental pemain selama permainan dan setelah stimulus audio.

```
clc, clear all, close all
% Load data
filename = 'figo_game_1_data_data - Copy.csv';
raw_data = readtable(filename);

% Inisialisasi array numerik
numericData = Table2array(raw_data(:, 2:end));

% Cek NaN
if any(isnan(numericData), 'all')
    warning('Ada nilai yang tidak dapat dikonversi menjadi numerik.');
```

```
end

% Rata-rata antar channel
avm = mean(numericData, 2, 'omitnan');
```

```
% Sampling rate
fs = 256; % Hz

% Filter Butterworth bandpass 0.5 - 60 Hz
order = 4;
low_cutoff = 0.5;
high_cutoff = 60;
[b, a] = butter(order, [low_cutoff, high_cutoff] / (fs / 2), 'bandpass');
filtered_avm = filtfilt(b, a, avm);

% Segment data dari 0s - 300s (atau sepanjang data)
startIdx = 110 * fs + 1;
endIdx = min(120 * fs, length(filtered_avm));
y_segment = filtered_avm(startIdx:endIdx);

% FFT satu segmen (untuk subplot 3)
n = length(y_segment);
Y = fft(y_segment);
```

Gambar 6. Proses Analisa Sinyal EEG

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian pada tugas akhir ini mencakup dua bagian utama, yaitu sistem *website* dan sistem klasifikasi. Masing-masing bagian diuji secara terpisah untuk menilai fungsionalitas serta efektivitas sistem dalam mencapai tujuan yang telah dirancang. Penjabaran lengkap dari kedua pengujian tersebut.

A. Sistem Website

Pengujian *Turtle Trouble* menunjukkan bahwa elemen-elemen frustratif yang dirancang mampu memicu transisi emosi pemain dari kondisi nyaman ke kondisi tidak nyaman. Observasi perilaku dan hasil kuesioner mengindikasikan bahwa jebakan tersembunyi serta elemen tak terduga memicu reaksi kaget dan peningkatan aktivitas beta atau gamma, sedangkan tekanan waktu melalui *countdown timer* menimbulkan kewaspadaan tinggi. Peningkatan bertahap

tingkat kesulitan di setiap level mendorong keterlibatan kognitif yang konsisten, dan distorsi visual maupun tata letak yang mengganggu menciptakan ketidaknyamanan halus yang memaksa pemain terus beradaptasi secara mental.

Tabel 1. Parameter *Turtle Trouble* Level 1 sampai Level 5

Level	Jenis Rintangan	Jebakan Duri	Jebakan Musuh Cepat	Blok Non-visibilitas	Jalur yang Bercabang	Catatan Tambahan
Level 1	Jalan lurus blok statis	0	2	1	Tidak	Level pengenalan, minim jebakan.
Level 2	Jalan yang tidak terlihat, jalur bercabang	3	0	2	Ya	Level kedua ada 2 jalur yang bisa dilewati.
Level 3	Jebakan lebih banyak, Jalur bercabang	5	2	4	Ya	Navigasi lebih kompleks dengan jebakan yang sudah disiapkan.
Level 4	Jebakan lubang, jalur yang membingungkan,	6	4	5	Ya	Menuntut ketangkasan gerak pemain dengan visual game yang lebih misterius.
Level 5	Menuntut Ketepatan gerak pemain dan juga banyak jebakan yang tak terlihat	8	4	7	Ya	Level tersulit yang dibuat dengan visual yang membingungkan pemain.

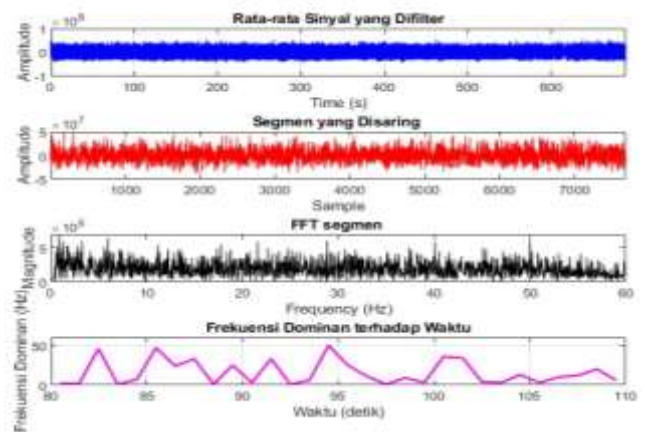
Setelah sesi bermain, responden mengisi kuesioner skala Likert 1–5 untuk menilai pengalaman mereka. Hasilnya pada Tabel 2 menunjukkan bahwa secara teknis sistem berjalan sangat baik, dengan rata-rata skor di atas 4,6 pada aspek kinerja, stabilitas, dan kelancaran interaksi. Dari sisi desain, tata letak dan tampilan mendapat penilaian positif, namun tema visual yang “menyebalkan” memang dirasakan sesuai tujuan rancangan frustratif. Aspek kemudahan penggunaan permainan juga mendapat skor tinggi (4,45). Menariknya, pertanyaan yang mengukur ketidaknyamanan dan kejengkelan selama bermain memperoleh skor rata-rata di kisaran 4,15–4,38, menandakan bahwa elemen permainan berhasil memicu respons emosional negatif secara terkontrol sebagaimana diharapkan.

Tabel 2. Hasil penilaian kuesioner responden

No	Pertanyaan	Rata-Rata Skor	Kategori
1	Website dapat dijalankan dengan baik selama penggunaan.	4.7	Sangat Setuju
2	Tata letak elemen website terorganisir dan rapi	4.15	Setuju
3	Website memiliki tampilan yang menarik.	4.38	Setuju
4	Website game dapat mudah dipahami untuk dimainkan.	4.31	Setuju
5	Tema visual website terlihat menyebalkan dan membuat tidak nyaman	4.31	Setuju
6	Website memuat halaman lanjutan dengan cepat tanpa gangguan	4.38	Setuju
7	Selama penggunaan website berjalan lancar tanpa adanya gangguan atau melambatnya kinerja	4.62	Sangat Setuju
8	Pada saat penggunaan website berjalan dengan stabil	4.62	Sangat Setuju
9	Interaksi pengguna dan website berjalan tanpa adanya keterlambatan (delay)	4.62	Sangat Setuju
10	Cara penggunaan permainan mudah digunakan	4.45	Setuju
11	Pengguna merasa ketidaknyamanan pada saat memainkan game.	4.31	Setuju
12	Pengguna merasa ketidaknyamanan semakin meningkat tiap waktunya	4.38	Setuju
13	Pengguna merasa emosi/jengkel pada saat memainkannya.	4.15	Setuju
14	Pengguna merasa puas terkait website ini	4.45	Setuju

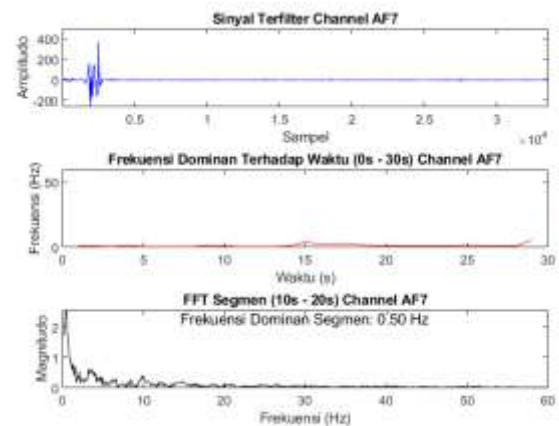
B. Klasifikasi Sinyal EEG

Analisis sinyal EEG dilakukan melalui empat tahap visualisasi. Grafik pertama (biru) menunjukkan rata-rata sinyal EEG setelah proses filtrasi, yang memperlihatkan variasi signifikan terhadap waktu sebagai indikasi aktivitas otak yang dinamis. Grafik kedua (merah) menampilkan potongan sinyal hasil segmentasi yang tampak lebih halus dan stabil, menandakan keberhasilan proses penyaringan dalam mereduksi noise. Grafik ketiga (hitam) merupakan hasil Transformasi Fourier Cepat (FFT) yang memperlihatkan puncak amplitudo pada sekitar 10 Hz dan 50 Hz dengan magnitudo tertinggi mendekati 0,2, mengindikasikan adanya aktivitas listrik otak dominan pada frekuensi tersebut. Sementara itu, grafik keempat (ungu) menunjukkan perubahan frekuensi dominan terhadap waktu, dengan lonjakan signifikan antara detik ke-161 hingga 168 pada frekuensi sekitar 15 Hz, yang dapat diinterpretasikan sebagai respons otak terhadap stimulus visual atau audio dari permainan.

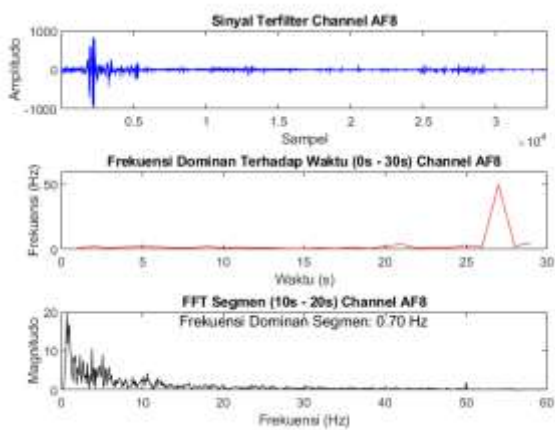


Gambar 7. Salah Satu Data Sinyal Visualisasi EEG pada Matlab

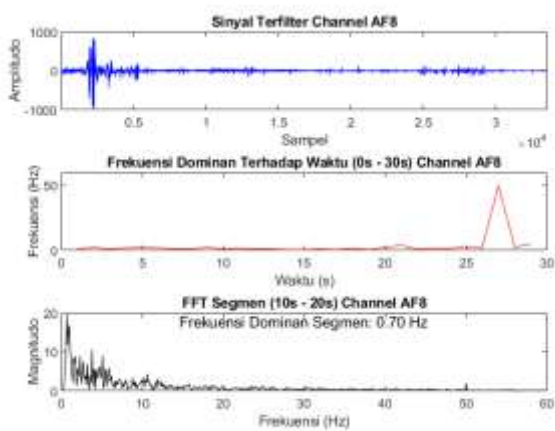
Analisis EEG dilakukan pada empat kanal (AF7, AF8, TP9, TP10) berdasarkan level permainan, dengan fokus pada level 1 hingga 3 karena sebagian besar responden hanya mencapai tahap tersebut. Data diambil dari salah satu responden dengan kualitas rekaman terbaik untuk mewakili pola umum aktivitas otak. Setiap kanal dianalisis menggunakan Fast Fourier Transform (FFT) guna mengidentifikasi frekuensi dominan dan memantau perubahan amplitudo sebagai indikator respon kognitif dan emosional. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa peningkatan level permainan cenderung disertai intensitas aktivitas otak yang lebih tinggi pada kanal frontal (AF7, AF8) dan temporal (TP9, TP10), mengindikasikan keterlibatan yang lebih besar dalam pemrosesan visual, perhatian, dan respons emosional.



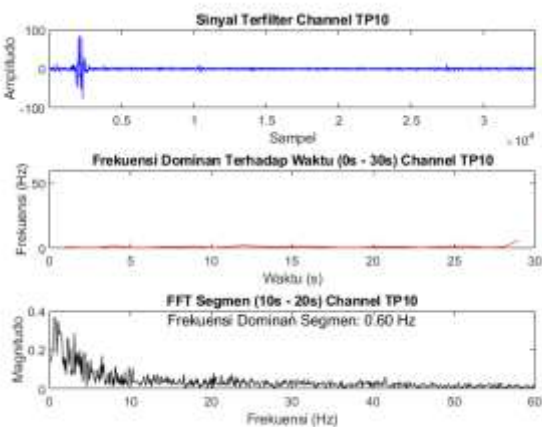
Gambar 8. Visualisasi per Kanal pada level 1 channel AF7



Gambar 9. Visualisasi per Kanal pada level 1 channel AF8



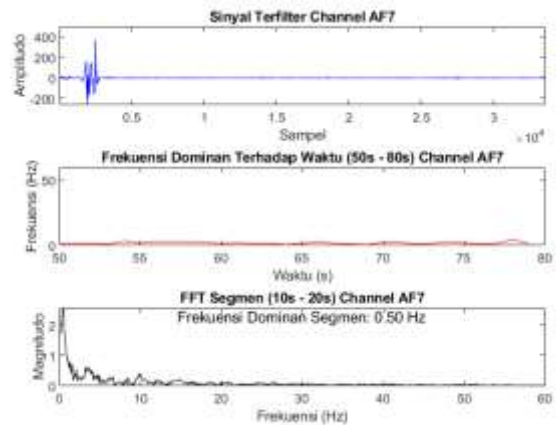
Gambar 10. Visualisasi per Kanal pada level 1 channel TP9



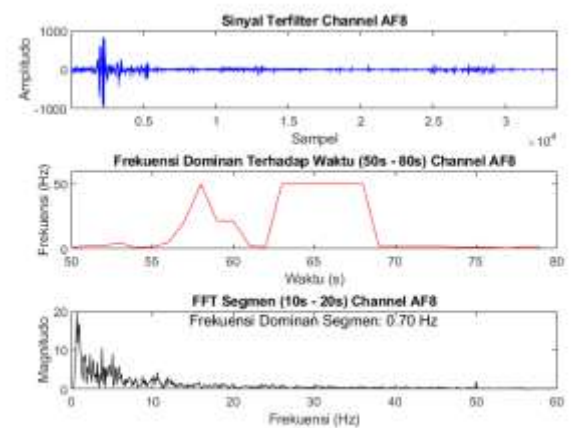
Gambar 11. Visualisasi per Kanal pada level 1 channel TP10

Pada grafik sinyal EEG level 1, keempat kanal menunjukkan aktivitas gelombang otak yang relatif stabil. Kanal AF7 dan AF8 sebagai area frontal tampak mendominasi fluktuasi awal, mengindikasikan respons awal terhadap stimulus permainan. Kanal TP9 dan TP10 menunjukkan amplitudo yang lebih kecil, menandakan

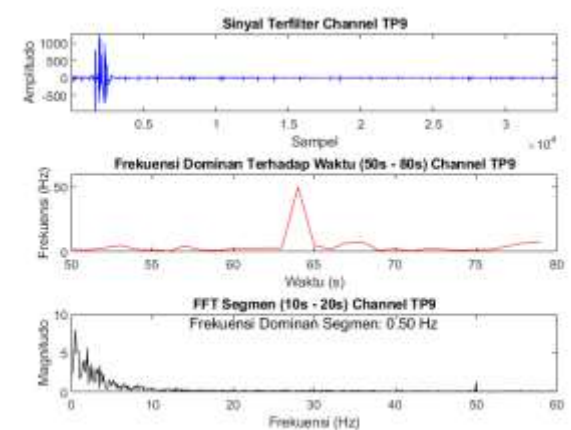
keterlibatan area temporal-parietal masih rendah pada fase awal permainan.



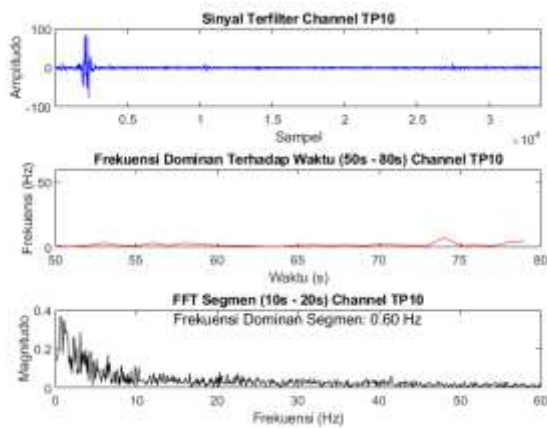
Gambar 12. Visualisasi per Kanal pada level 2 channel AF7



Gambar 13. Visualisasi per Kanal pada level 2 channel AF8

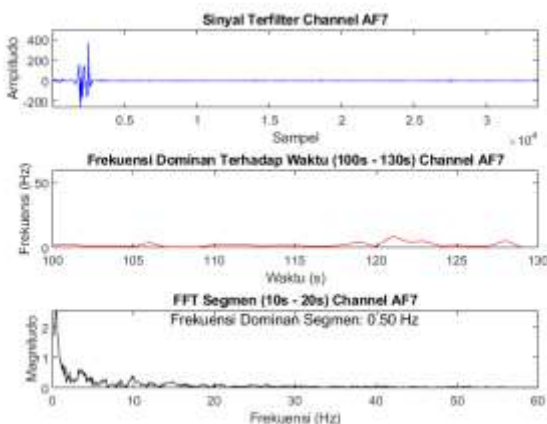


Gambar 14. Visualisasi per Kanal pada level 2 channel TP9

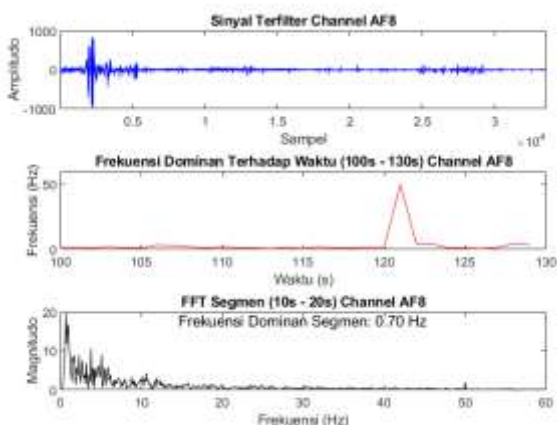


Gambar 15. Visualisasi per Kanal pada level 2 channel TP10

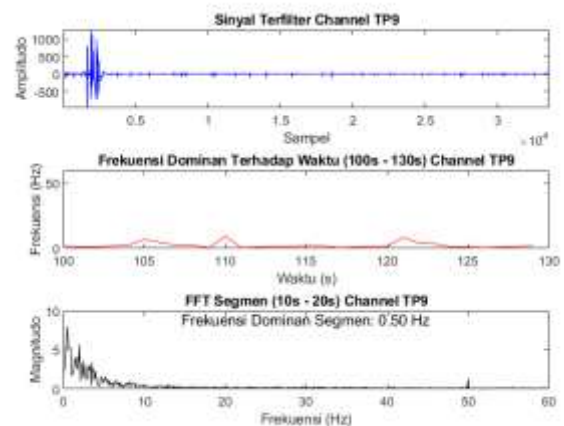
Memasuki level 2, terlihat peningkatan fluktuasi pada seluruh kanal, terutama pada kanal frontal (AF7 dan AF8). Frekuensi sinyal menunjukkan respons yang lebih aktif, mencerminkan peningkatan tekanan kognitif akibat permainan yang mulai menampilkan rintangan. Kanal TP9 dan TP10 juga menunjukkan peningkatan sinyal, yang dapat dikaitkan dengan pemrosesan sensorik dan stres visual.



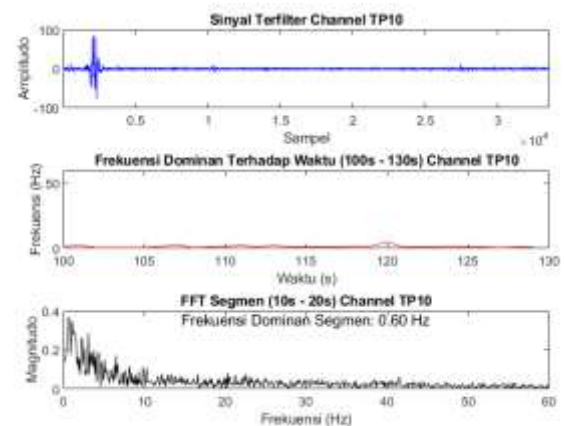
Gambar 16. Visualisasi per Kanal pada level 3 channel AF7



Gambar 17. Visualisasi per Kanal pada level 3 channel AF8



Gambar 18. Visualisasi per Kanal pada level 3 channel TP9



Gambar 19. Visualisasi per Kanal pada level 3 channel TP10

Pada Level 3, seluruh kanal EEG menunjukkan peningkatan fluktuasi dan amplitudo sinyal, menandakan aktivasi otak yang lebih intens. Kanal frontal (AF7 dan AF8) mencerminkan peningkatan beban kognitif akibat tantangan permainan yang lebih kompleks, ditunjukkan oleh sinyal yang lebih padat dan aktif. Sementara itu, kanal temporal (TP9 dan TP10) menunjukkan respons terhadap indikasi stres visual. Secara keseluruhan, grafik menampilkan keterlibatan otak yang lebih luas sebagai respons terhadap naiknya tingkat kesulitan permainan.

Analisis menunjukkan adanya peningkatan jumlah kemunculan frekuensi dominan sekitar 50 Hz seiring kenaikan level permainan. Pada Level 1, rata-rata kemunculan tercatat 5 kali, menandakan pemain masih relatif santai. Memasuki Level 2, rata-rata naik menjadi 6,5 kali, mengindikasikan peningkatan beban kognitif akibat stimulus visual dan tantangan permainan. Peningkatan terbesar terjadi pada Level 3, dengan rata-rata mencapai 9,5 kali, menunjukkan otak bekerja lebih keras dalam merespons situasi yang semakin kompleks. Aktivitas ini paling terlihat pada kanal frontal (AF7, AF8) dan temporal (TP9, TP10).

Secara keseluruhan, terjadi kenaikan 4,5 kali dari Level 1 ke Level 3, yang menguatkan dugaan bahwa peningkatan level permainan mendorong respons otak yang lebih aktif.

V. KESIMPULAN

Penelitian ini membuktikan secara objektif bahwa game *Turtle Trouble* dengan desain elemen frustratif mampu memicu perubahan signifikan pada pola gelombang otak pemain. Berdasarkan analisis EEG, terjadi penurunan konsisten pada rasio alpha/beta dari baseline 1,85 menjadi 1,12 pada level tersulit (Level 3–4). Penurunan ini menunjukkan berkurangnya dominasi gelombang alpha yang berhubungan dengan relaksasi, dan meningkatnya gelombang beta yang identik dengan fokus intens dan beban kognitif tinggi.

Peningkatan kemunculan frekuensi dominan di sekitar 50 Hz juga teridentifikasi, terutama pada kanal frontal (AF7, AF8) dan temporal (TP9, TP10). Data menunjukkan rata-rata kemunculan hanya 5 kali pada Level 1, meningkat menjadi 6,5 kali pada Level 2, dan mencapai 9,5 kali pada Level 3. Pola ini menegaskan bahwa semakin kompleks tantangan permainan, semakin besar keterlibatan area frontal dalam pengambilan keputusan dan pengelolaan perhatian, serta area temporal dalam pemrosesan rangsangan visual dan integrasi sensorik.

Temuan ini memberikan bukti kuat bahwa faktor desain permainan—seperti jebakan tersembunyi, tekanan waktu, peningkatan jumlah musuh, dan distorsi visual—tidak hanya memengaruhi pengalaman subjektif pemain, tetapi juga memodulasi respons neurofisiologis secara terukur. Dengan demikian, pendekatan desain game frustratif memiliki potensi besar untuk dijadikan alat penelitian dalam memahami interaksi antara beban kognitif, emosi, dan aktivitas gelombang otak, serta sebagai dasar pengembangan aplikasi berbasis *serious games* yang memanfaatkan mekanisme stres terkontrol untuk tujuan edukasi atau penelitian neurosains.

REFERENSI

- [1] L. Kallabis, B. Baroque-Zanón, H. Klocke, A. M. Lara-Palma, and B. Naujoks, "Investigating the Effect of Color Stimuli on Player Emotions in Games," in *2024 IEEE Conference on Games (CoG)*, IEEE, Aug. 2024, pp. 1–4. doi: 10.1109/CoG60054.2024.10645605.
- [2] A. Denisova and P. Cairns, "First Person vs. Third Person Perspective in Digital Games," in *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, New York, NY, USA: ACM, Apr. 2015, pp. 145–148. doi: 10.1145/2702123.2702256.
- [3] A. Szczesna, J. Grudzinski, T. Grudzinski, R. Mikuszeowski, and A. Debowski, "The psychology serious game prototype for preschool children," *2011 IEEE 1st International Conference on Serious Games and Applications for Health, SeGAH 2011*, 2011, doi: 10.1109/SeGAH.2011.6165435.
- [4] M. S. De Vasconcellos and I. S. De Araujo, "Video games and participation in health: How online games can foster population's participation in public health policies," *SeGAH 2014 - IEEE 3rd International Conference on Serious Games and Applications for Health, Books of Proceedings*, 2014, doi: 10.1109/SeGAH.2014.7067095.
- [5] G. P. Tolentino, C. Battaglini, A. C. V. Pereira, R. J. De Oliveria, and M. G. M. De Paula, "Usability of serious games for health," *Proceedings - 2011 3rd International Conference on Games and Virtual Worlds for Serious Applications, VS-GAMES 2011*, pp. 172–175, 2011, doi: 10.1109/VS-GAMES.2011.33.
- [6] L. B. Ray, D. Baena, and S. M. Fogel, "'Counting sheep PSG': EEGLAB-compatible open-source matlab software for signal processing, visualization, event marking and staging of polysomnographic data," *J Neurosci Methods*, vol. 407, p. 110162, Jul. 2024, doi: 10.1016/j.jneumeth.2024.110162.
- [7] C. Cannard, H. Wahbeh, and A. Delorme, "Validating the wearable MUSE headset for EEG spectral analysis and Frontal Alpha Asymmetry," in *2021 IEEE International Conference on Bioinformatics and Biomedicine (BIBM)*, IEEE, Dec. 2021, pp. 3603–3610. doi: 10.1109/BIBM52615.2021.9669778.
- [8] H. Marzbani, H. Marateb, and M. Mansourian, "Methodological Note: Neurofeedback: A Comprehensive Review on System Design, Methodology and Clinical Applications," *Basic and Clinical Neuroscience Journal*, vol. 7, no. 2, 2016, doi: 10.15412/J.BCN.03070208.
- [9] B. T. Denny, M. C. Inhoff, N. Zerubavel, L. Davachi, and K. N. Ochsner, "Amygdala Response," *Denny, B. T., Inhoff, M. C., Zerubavel, N., Davachi, L., & Ochsner, K. N. (2009). Amygdala Response*, 26(9), 1377–1388. <https://doi.org/10.1177/0956797615578863>. *Getting*, vol. 26, no. 9, pp. 1377–1388, 2009, doi: 10.1177/0956797615578863.
- [10] K. J. Blinowska and J. Żygierewicz, *Practical Biomedical Signal Analysis Using MATLAB®*. Boca Raton: CRC Press, 2021. doi: 10.1201/9780429431357.
- [11] M. Orenes-Vera, I. Sharapov, R. Schreiber, M. Jacquelin, P. Vandermersch, and S. Chetlur, "Wafer-Scale Fast Fourier Transforms," in *Proceedings of the 37th International Conference on Supercomputing*, New York, NY, USA: ACM, Jun. 2023, pp. 180–191. doi: 10.1145/3577193.3593708.