

Respon Gelombang Beta pada Kanal T3 dan T4 EEG terhadap Visualisasi Kemasan Produk dalam Neuromarketing

Jauzaa Maylia Suhendro¹, Ni Wayan Suaryani Taro Putri²,

I Gede Putu Krisna Juliharta³, Ni Putu Noviyanti Kusuma⁴

[Submission: 27-05-2026, Accepted: 19-06-2026]

Abstract— Conventional marketing research frequently encounters challenges related to respondent response bias. As an alternative, neuromarketing offers an objective solution by utilizing Electroencephalography (EEG) to record psychological responses. However, current neuromarketing research generally evaluates product packaging only as a whole entity and has not yet unraveled the neural processes underlying individual design elements. This study aims to analyze the functional asymmetry of the temporal lobe (Channels T3 and T4) and the involvement of 12–30 Hz Beta waves during consumer evaluation of packaging. Utilizing an Ultracortex Mark IV headset, brain activity from 25 participants was recorded while viewing packaging images categorized as "attractive" and "unattractive," which were previously validated through an initial questionnaire involving 60 respondents. Data were extracted using the Python-based Power Spectral Density (PSD) method. Quantitative results consistently demonstrate that attractive packaging triggers the highest average PSD spike in Beta waves across both channels. The functional asymmetry pattern is clearly evidenced by the dominance of Channel T4 (Right Temporal), reaching $0.251 \mu\text{V}^2/\text{Hz}$, as the right brain processes non-verbal information, aesthetics, color, logos, and graphic layouts. Concurrently, Channel T3 (Left Temporal) is active at $0.201 \mu\text{V}^2/\text{Hz}$ to support logical-verbal processing when digesting product information text. The output of this research proves that attractive packaging enhances spatial visualization reconstruction in the consumer's mind through a recurrent feedback mechanism before a decision is made.

Keyword— Brain Signal; EEG; Neuromarketing; Packaging; PSD

Intisari—Riset pemasaran konvensional sering kali menghadapi tantangan berupa bias respons dari responden. Sebagai alternatif, neuromarketing hadir memberikan solusi melalui penggunaan Electroencephalography (EEG) untuk merekam respons psikologis secara objektif. Namun demikian, penelitian neuromarketing saat ini umumnya baru menilai kemasan produk sebagai satu kesatuan utuh dan belum mengurai proses saraf di balik tiap elemen desain. Penelitian ini bertujuan menganalisis asimetri fungsional lobus temporal Kanal T3 dan T4 serta keterlibatan gelombang Beta 12–30 Hz saat konsumen mengevaluasi kemasan. Menggunakan headset Ultracortex Mark IV, aktivitas otak dari 25 partisipan direkam saat melihat gambar kemasan kategori "menarik" dan "tidak menarik" hasil validasi kuesioner awal 60 responden. Data diekstraksi menggunakan metode Power Spectral Density (PSD) berbasis Python. Hasil kuantitatif menunjukkan kemasan menarik secara konsisten

memicu lonjakan rata-rata PSD gelombang Beta tertinggi pada kedua kanal. Pola asimetri fungsional terlihat nyata melalui dominasi Kanal T4 (Temporal Kanan) yang mencapai $0.251 \mu\text{V}^2/\text{Hz}$ karena otak kanan memproses informasi non-verbal, estetika, warna, logo, dan tata letak grafis. Di saat bersamaan, Kanal T3 (Temporal Kiri) aktif di angka $0.201 \mu\text{V}^2/\text{Hz}$ untuk mendukung pemrosesan logis-verbal saat mencerna teks informasi produk. Luaran penelitian ini membuktikan bahwa kemasan menarik meningkatkan rekonstruksi visualisasi spasial di benak konsumen melalui mekanisme *recurrent feedback* sebelum keputusan diambil.

Kata Kunci— EEG; Kemasan; Neuromarketing; PSD; Sinyal Otak

I. PENDAHULUAN

Perkembangan metodologi riset pemasaran konvensional, seperti kuesioner, wawancara, dan *focus group discussion* (FGD), sering kali menghadapi keterbatasan dalam mengungkap preferensi konsumen yang sesungguhnya [1]. Metode-metode tersebut rentan terhadap bias kognitif, ingatan yang subjektif, serta kecenderungan peserta untuk memberikan jawaban yang dinilai sosial dapat diterima (*social desirability bias*) [2]. Untuk menjembatani kesenjangan tersebut, pendekatan neuromarketing hadir sebagai disiplin ilmu yang mengintegrasikan neurosains dengan strategi pemasaran. Neuromarketing memungkinkan para peneliti dan praktisi untuk mengamati, mengukur, dan menganalisis respons bawah sadar serta proses pengambilan keputusan konsumen secara langsung melalui aktivitas neural saat terpapar oleh stimulus pemasaran [3].

Di antara berbagai instrumen neurosains, *Electroencephalography* (EEG) menjadi salah satu perangkat yang paling efektif dan sering digunakan dalam studi *neuromarketing*. Keunggulan EEG terletak pada sifatnya yang *non-invasif* serta mampu menangkap dinamika perubahan aktivitas listrik otak secara *real-time* [4]. Dalam konteks perilaku konsumen, analisis gelombang otak melalui EEG dapat memberikan pemahaman objektif mengenai tingkat atensi, keterlibatan emosional, serta evaluasi kognitif terhadap suatu produk. Aktivitas neural ini direkam melalui berbagai kanal elektrode yang ditempatkan pada korteks serebral manusia, di mana setiap area memiliki spesialisasi fungsional tersendiri dalam memproses informasi.

Dalam proses persepsi produk, aspek visual memegang peranan yang sangat krusial dalam meningkatkan daya saing

^{1,2,3,4}Universitas Primakara Jl. Tukad Badung No.135, Renon, Denpasar Selatan, Kota Denpasar, Bali 80226 (telp: [0361-8956085](tel:0361-8956085); e-mail: jauzaams@primakara.ac.id)



pasar. Kemasan produk merupakan titik sentral dari stimulus visual yang pertama kali berinteraksi dengan calon pembeli [5]. Desain kemasan yang mencakup elemen warna, tipografi, bentuk, dan tata letak bukan sekadar berfungsi sebagai pelindung fisik, melainkan juga sebagai komunikator visual yang menstimulasi respons kognitif dan afektif konsumen. Di era *smart economy*, optimalisasi desain berbasis preferensi data ini menjadi instrumen strategis untuk menciptakan diferensiasi produk [6]. Ketika konsumen melihat sebuah kemasan produk, otak akan memproses informasi visual tersebut secara hierarkis. Evaluasi terhadap estetika dan daya tarik kemasan ini sangat memengaruhi persepsi nilai produk dan niat beli secara instan, bahkan sebelum konsumen memproses informasi tekstual seperti merek atau kandungan produk [7].

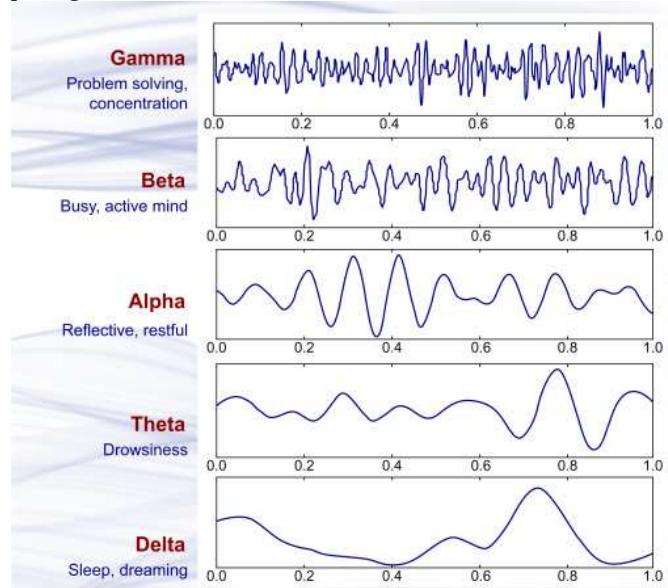
Secara neurofisiologis, pemrosesan stimulus visual dan visualisasi spasial berkaitan erat dengan aktivitas gelombang Beta (β) [8]. Gelombang Beta, yang berada pada rentang frekuensi 12 hingga 30 Hz, dipilih sebagai parameter utama karena gelombang ini merupakan indikator linier dari aktivitas kortikal yang aktif, kondisi terjaga, konsentrasi tinggi, pemecahan masalah, serta pemrosesan informasi kognitif yang disengaja (*top-down attentional processing*). Peningkatan daya spektral Beta merepresentasikan besarnya atensi kognitif dan keterlibatan mental konsumen terhadap stimulus eksternal yang kompleks [9]. Dalam mengamati respons kedalaman terhadap elemen visual kemasan produk, pemantauan dialokasikan secara spesifik pada area korteks temporal melalui kanal T3 (temporal kiri) dan T4 (temporal kanan). Pemilihan kedua kanal ini didasarkan pada jalur pemrosesan visual ventral dalam neurosains, di mana informasi visual dari lobus oksipital diteruskan ke lobus temporal untuk proses identifikasi objek, pengenalan bentuk, penafsiran warna, dan semantik visual [10]. Kanal T3 (temporal kiri) dan T4 (temporal kanan) memiliki fungsi penting dalam pemrosesan memori visual, asosiasi objek, serta regulasi emosi terhadap stimulus eksternal [11]. Kanal T3 sering dikaitkan dengan pemrosesan logis dan verbal (seperti membaca informasi kemasan)[12], sedangkan kanal T4 lebih dominan dalam memproses informasi non-verbal, spasial, dan estetika visual [13].

Untuk mengukur kekuatan dan distribusi energi dari gelombang Beta tersebut secara kuantitatif, metode *Power Spectral Density* (PSD) digunakan sebagai teknik analisis berbasis domain frekuensi. Melalui ekstraksi nilai PSD pada kanal T3 dan T4, peneliti dapat mengidentifikasi perubahan daya spektral secara presisi, yang merepresentasikan tingkat keterlibatan kognitif dan aktivitas mental emosional konsumen saat mengevaluasi elemen visual kemasan. Meskipun studi mengenai daya tarik kemasan telah banyak dilakukan, belum banyak penelitian yang memetakan secara spesifik bagaimana atensi kognitif dan evaluasi visual konsumen yang direpresentasikan oleh gelombang Beta diproses secara fungsional di area temporal otak (Kanal T3 dan T4). Oleh karena itu, penelitian ini hadir untuk mengisi celah (*gap*) tersebut guna memberikan kontribusi empiris sekaligus panduan praktis dalam perancangan desain kemasan yang berbasis pada sains data otak.

II. STUDI PUSTAKA

A. Gelombang Otak Manusia

Aktivitas bioelektrik otak manusia dihasilkan oleh miliaran neuron yang berkomunikasi melalui impuls listrik. Gelombang otak umumnya dikategorikan berdasarkan frekuensinya, yang diukur dalam satuan Hertz (Hz). Amplitudo dan frekuensi gelombang ini bervariasi tergantung pada status kesadaran, aktivitas kognitif, dan kondisi psikologis individu. Secara umum, literatur neurosains membagi gelombang otak menjadi lima pita frekuensi utama (*frequency bands*), yaitu Delta, Theta, Alpha, Beta, dan Gamma. Pembagian Pita frekuensi disajikan pada gambar 1.



Gambar 1. Pembagian *Frequency Band* Otak Manusia[14]

Setiap pita frekuensi memiliki keterkaitan spesifik dengan proses mental, tingkat kesadaran, serta mekanisme pemrosesan informasi di korteks serebral. Klasifikasi fungsional dari masing-masing gelombang otak tersebut dijabarkan sebagai berikut [15]:

1. Gelombang Delta (δ)
Gelombang Delta memiliki frekuensi terendah (0.5 – 4 Hz) namun memiliki amplitudo tertinggi. Gelombang ini dominan pada bayi dan orang dewasa yang sedang berada dalam fase tidur lelap tanpa mimpi (Non-Rapid Eye Movement / NREM tahap 3 dan 4). Kehadiran gelombang delta pada kondisi terjaga sering dikaitkan dengan adanya kelainan klinis atau cedera otak traumatik[14].
2. Gelombang Theta (θ)
Dengan rentang frekuensi 4 – 8 Hz, gelombang Theta muncul saat seseorang mengalami relaksasi mendalam, meditasi, atau dalam kondisi hipnosis. Dalam konteks kognitif, aktivitas Theta di area frontal sering dikaitkan dengan proses retensi memori kerja (*working memory*) dan regulasi emosi[14].
3. Gelombang Alpha (α)
Gelombang Alpha (8 – 12 Hz) pertama kali ditemukan oleh Hans Berger. Gelombang ini paling kuat terdeteksi di area oksipital (belakang kepala) ketika seseorang dalam keadaan rileks tetapi tetap sadar/terjaga dengan mata tertutup. Ketika mata dibuka atau diberikan stimulasi visual, gelombang Alpha akan mengalami supresi (atenuasi), sebuah fenomena yang dikenal sebagai Alpha Blocking [16].
4. Gelombang Beta (β)

Gelombang Beta (12 – 30 Hz) merupakan representasi dari aktivitas kortikal yang aktif. Gelombang ini dominan di area frontal dan parietal saat seseorang sedang melakukan aktivitas mental yang membutuhkan konsentrasi tinggi, analisis logis, pengambilan keputusan, atau ketika mengalami kecemasan (*anxiety*)[17].

5. Gelombang Gamma (γ)

Gelombang Gamma memiliki frekuensi tertinggi (biasanya berkisar antara 30 – 100 Hz). Gelombang ini berkaitan dengan pengikatan informasi (*information binding*), pemrosesan sensorik tingkat tinggi, serta aktivitas kognitif yang kompleks seperti pembelajaran kilat atau pemecahan masalah yang membutuhkan tingkat kesadaran penuh (*high-level information processing*)[18].

B. Struktur dan Pembagian Otak Manusia

Otak manusia (*cerebrum*) merupakan pusat kendali dari seluruh sistem saraf pusat. Secara anatomis, korteks serebral dibagi menjadi dua belahan utama, yaitu hemisfer kiri dan hemisfer kanan, yang dihubungkan oleh seikat serat saraf yang disebut *corpus callosum*. Dalam studi neurosains, korteks serebral pada setiap hemisfer dibagi menjadi empat lobus utama berdasarkan fungsi kognitif dan sensorik spesifiknya [19], [20].

1. Lobus Frontal (*Frontal Lobe*)

Lobus frontal terletak di bagian depan otak. Lobus ini bertanggung jawab atas fungsi eksekutif tingkat tinggi, yang meliputi perencanaan, pengambilan keputusan, penalaran logis, kontrol motorik, pemecahan masalah, serta pengaturan emosi dan kepribadian. Dalam penelitian kognitif, aktivitas di area frontal sering dianalisis untuk mengukur tingkat beban kerja mental (*mental workload*) dan fokus [21].

2. Lobus Parietal (*Parietal Lobe*)

Lobus parietal terletak di bagian atas-belakang lobus frontal. Area ini berfungsi sebagai pusat pemrosesan sensorik utama, termasuk integrasi informasi taktil (sentuhan, tekanan, suhu, dan rasa sakit) serta kesadaran spasial seperti navigasi dan orientasi tubuh terhadap lingkungan sekitar [22].

3. Lobus Oksipital (*Occipital Lobe*)

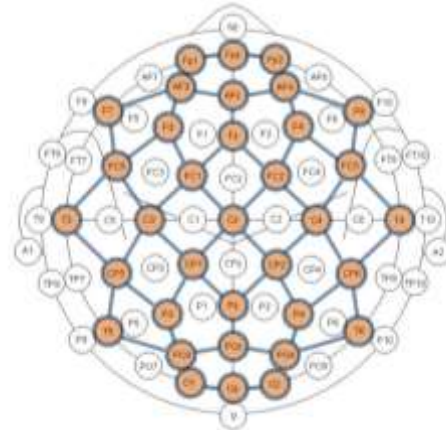
Lobus oksipital yang terletak di bagian posterior korteks serebral merupakan pusat utama pemrosesan informasi visual. Aktivitas elektrofisiologis di area ini mengalami peningkatan signifikan saat menerima stimulasi visual. Fenomena ini berkaitan erat dengan *alpha blocking*, yaitu pelemahan amplitudo gelombang Alpha yang terdeteksi paling dominan di area oksipital sesaat setelah mata menerima paparan visual dalam kondisi terbuka [23].

4. Lobus Temporal (*Temporal Lobe*)

Lobus temporal terletak di bagian samping bawah otak, sejajar dengan telinga. Fungsi utama lobus ini adalah untuk pemrosesan informasi auditori (pendengaran), pemahaman bahasa, serta pembentukan memori jangka panjang dan regulasi emosi [24].

C. Electroencephalography (EEG)

Electroencephalography (EEG) adalah teknik elektrofisiologis yang digunakan untuk merekam aktivitas listrik otak secara non-invasif. Sinyal yang terekam pada permukaan kulit kepala merupakan hasil dari potensial pascasinaps (*postsynaptic potentials*) yang terjadi secara simultan pada ribuan neuron piramidal di korteks serebral[25]. Karena tengkorak dan kulit kepala memiliki sifat konduktivitas yang rendah, sinyal listrik yang mencapai permukaan menjadi sangat lemah, umumnya berada dalam rentang amplitudo 10 μ V hingga 100 μ V. Oleh karena itu, perangkat EEG memerlukan komponen amplifier (penguat sinyal) berkinerja tinggi serta filter analog/digital untuk menyaring derau (*noise*)[26].



melalui metode periodogram rata-rata (*Welch's method*) dihitung berdasarkan persamaan berikut [29]:

$$PSD = \frac{1}{P} \sum_{p=0}^{P-1} \hat{I}_{xx}^{(p)}(\omega) \quad (1)$$

Sinyal EEG yang panjang dan fluktuatif terlebih dahulu dibagi menjadi beberapa segmen waktu yang saling tumpang-tindih (*overlapping windowed segments*), di mana jumlah total segmen ini disimbolkan sebagai P . Karakteristik spektral atau kandungan energi dari masing-masing segmen pada frekuensi tertentu (ω) kemudian dihitung secara individual untuk menghasilkan nilai periodogram segmen, yang disimbolkan sebagai $\hat{I}_{xx}^{(p)}(\omega)$. Langkah terakhir dari persamaan ini adalah melakukan penjumlahan $\sum$ atas seluruh nilai periodogram dari segmen pertama $P = 0$ hingga segmen terakhir $P - 1$, yang kemudian dibagi dengan jumlah total segmen $\frac{1}{P}$ untuk mendapatkan nilai rata-ratanya. Pendekatan perataan (*averaging*) ini sangat krusial dalam pemrosesan sinyal karena terbukti efektif mereduksi varians derau (*noise*), sehingga fitur energi dominan dari setiap pita gelombang otak dapat teridentifikasi secara lebih stabil, akurat, dan representatif.

E. Penelitian Terkait

Penelitian sebelumnya pada tahun 2023 mengenai respons emosional berbasis sinyal otak diawali melalui studi komparatif pengenalan emosi antara laki-laki dan perempuan. Riset ini berhasil memetakan bagaimana perbedaan gender memengaruhi karakteristik sinyal EEG saat merespons stimulus emosional. Namun, stimulus yang digunakan masih bersifat umum dan belum dikontekstualisasikan untuk kebutuhan evaluasi elemen visual [17].

Selanjutnya, terdapat penelitian yang memperdalam kajian afektif tersebut menggunakan analisis koherensi sinyal EEG untuk mengidentifikasi emosi senang dan sedih saat subjek menerima stimulasi visual. Riset ini sangat efektif dalam melihat hubungan fungsional antar-wilayah otak secara global. Penelitian ini baru melihat perubahan emosi makro dan belum menyentuh proses kognitif dalam mengenali detail objek visual yang kompleks [25].

Aplikasi riset ini kemudian dibawa ke ranah komersial pada tahun 2024 melalui studi neuromarketing untuk memprediksi keputusan pembelian konsumen yang dipicu oleh video iklan. Walaupun sukses merekam ketertarikan konsumen terhadap stimulus dinamis (*video*). Sifat video yang bergerak cepat membuat isolasi terhadap elemen visual statis seperti teks dan tata letak gambar menjadi sulit diamati secara terpisah [30].

Sisi kognitif dasar mengenai cara otak mengenali objek dikembangkan pada tahun 2025 menggunakan metode *brain activity mapping*. Riset ini berhasil mengklasifikasikan sinyal EEG untuk membedakan kondisi otak saat mengenali informasi yang familiar versus informasi yang asing. Meskipun memberikan peta topografi otak yang jelas, penelitian ini masih terbatas pada pengelompokan yang kaku saat mengenali benda-benda secara garis besar. [31].

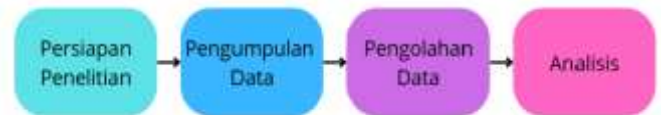
Sebagai jembatan menuju evaluasi objek statis, terdapat penelitian yang melakukan analisis domain frekuensi pada sinyal EEG terhadap stimulus gambar kemasan produk. Riset

ini membuktikan bahwa tampilan visual kemasan secara utuh mampu memicu fluktuasi amplitudo gelombang otak yang merepresentasikan impresi awal konsumen. Studi ini menggunakan kanal O1 dan O2 yaitu area yang bertanggung jawab terhadap rangsangan Visual pada *Sub-band Alfa* [16].

Berbeda dengan penelitian terdahulu yang menilai kemasan secara utuh, kebaruan riset ini terletak pada elemen desain melalui pemetaan asimetri fungsional Kanal T3 yang dominan memproses informasi logis-verbal (membaca teks/label produk) versus Kanal T4 yang mengontrol estetika visual dan organisasi spasial (warna/logo/tata letak). Selain itu, gelombang Beta (β) dilibatkan sebagai indikator *recurrent feedback* untuk membuktikan secara neurofisiologis bahwa otak subjek sedang aktif merekonstruksi visualisasi spasial elemen kemasan di dalam pikiran sebelum respons emosional muncul. Melalui pendekatan yang sangat mendalam, penelitian hadir untuk mengisi *research gap* yang belum tersentuh oleh peta jalan penelitian terdahulu.

III. METODE

Langkah-langkah detail mengenai pelaksanaan penelitian yang dilakukan secara ringkas disajikan dalam diagram alir pada Gambar 4.



Gambar 4. Alur Penelitian

A. Tahapan I - Persiapan Penelitian

Tahap ini meliputi pelaksanaan studi literatur serta eksplorasi terhadap perangkat EEG yang akan digunakan. Studi literatur dilakukan guna mendalami landasan teori terkait karakteristik gelombang Beta, metode *Power Spectral Density* (PSD), konsep neuromarketing, serta teknik pengolahan dan klasifikasi data EEG. Instrumen eksperimen yang diaplikasikan dalam penelitian ini adalah headset EEG Ultracortex Mark IV yang terintegrasi dengan Cyton Board, serta dilengkapi dengan komponen dongle untuk kebutuhan transmisi data



Gambar 3. Helmet EEG Ultracortex Mark IV beserta Cyton Board

Visualisasi mengenai struktur dan komponen dari *headset* EEG tersebut ditunjukkan pada Gambar 3. Eksplorasi perangkat dilakukan untuk memahami mekanisme kerja sistem, prosedur konfigurasi posisi elektrode, serta teknik perekaman sinyal otak yang optimal. *Headset* Ultracortex Mark IV ini dirancang berbasis sistem internasional 10-20, di mana kerangka (*frame*) menyediakan *node* atau titik penempatan elektrode yang presisi di seluruh area kulit kepala [32].

Langkah eksplorasi ini difokuskan pada pemanfaatan *node* di area temporal, khususnya kanal T3 (temporal kiri) dan T4 (temporal kanan), guna memastikan sensor terpasang dengan tepat untuk merekam fluktuasi aktivitas gelombang Beta saat partisipan menerima stimulasi visual kemasan produk.

B. Tahapan II – Pengumpulan Data

Stimulus dalam penelitian ini menggunakan materi visual berupa gambar kemasan produk. Penentuan stimulus tersebut didasarkan pada hasil klasifikasi kuesioner daring yang disebarkan sebelumnya kepada 60 responden untuk memisahkan kategori kemasan yang dinilai "menarik" dan "tidak menarik". Dari penilaian tersebut, dipilih 5 gambar dengan skor tertinggi sebagai representasi kemasan menarik dan 5 gambar dengan skor terendah sebagai representasi kemasan tidak menarik untuk digunakan dalam sesi eksperimen. Pengambilan data EEG melibatkan 25 orang partisipan yang dipilih berdasarkan kriteria spesifik, yaitu tidak memiliki riwayat gangguan penglihatan maupun gangguan neurologis, serta berada dalam kondisi kesehatan fisik dan mental yang prima saat pengujian berlangsung. Proses eksperimen diselenggarakan di dalam sebuah ruangan khusus dengan kondisi suara dan intensitas pencahayaan yang terkontrol guna meminimalkan *artifact* lingkungan. Selama perekaman sinyal otak, partisipan diposisikan duduk dengan nyaman dan dipasangkan *headset* EEG Ultracortex Mark IV. Alur sistematis mengenai tahapan pengambilan data EEG tersebut ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 5. Alur Pengambilan Data EEG

Tahapan sistematis mengenai proses perekaman sinyal otak dari awal hingga akhir disajikan pada Gambar 5. Sebelum prosedur perekaman EEG dilaksanakan, setiap partisipan diwajibkan untuk mengisi kuesioner awal (Kuesioner 0) guna mengumpulkan data informasi demografi dan profil pribadi. Proses perekaman data neural diawali dengan tahap *baseline*, di mana partisipan diminta memfokuskan pandangan pada layar hitam dengan titik putih di bagian tengah untuk mengondisikan otak dalam keadaan rileks. Selanjutnya, stimulus visual berupa gambar kemasan produk ditayangkan selama 5 detik, yang kemudian langsung diikuti dengan pengisian kuesioner evaluasi untuk mengukur tingkat ketertarikan partisipan terhadap produk tersebut. Pengumpulan data EEG ini secara khusus bertujuan untuk merekam dan memetakan aktivitas elektrik otak saat merespons stimulus

Jauzaa Maylia Suhendro : Respon Gelombang Beta pada Kanal ...

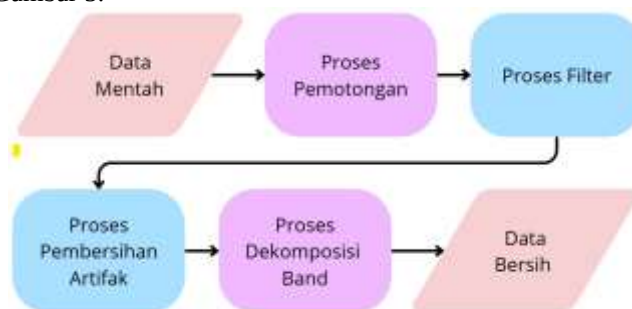
kemasan berkategori menarik maupun tidak menarik. Data sinyal EEG mentah (*raw data*) yang diperoleh selama eksperimen kemudian diekspor dan disimpan dalam format teks (.txt) agar dapat diproses lebih lanjut pada tahap *pre-processing*. Sementara itu, representasi visual mengenai situasi dan kondisi lingkungan saat pelaksanaan eksperimen berlangsung dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Tampilan GUI Open BCI Saat Pengambilan Data

C. Tahapan III

Tahap pengolahan awal (*pre-processing*) wajib dilakukan untuk mengeliminasi berbagai bentuk *artifact*—seperti aktivitas kedipan mata, pergerakan motorik tubuh, maupun interferensi arus Listrik sehingga kualitas sinyal EEG yang diperoleh meningkat. Proses komputasi pada tahapan ini diimplementasikan menggunakan bahasa pemrograman Python dengan memanfaatkan beberapa pustaka (*library*) utama seperti SciPy, NumPy, dan Matplotlib. Rangkaian prosedur pengolahan awal ini diilustrasikan secara sistematis pada Gambar 5.



Gambar 7. Alur Pengambilan Data EEG

Berdasarkan alur pada gambar 7, proses pembersihan sinyal dilakukan secara bertahap guna menghasilkan data yang valid untuk dianalisis. Langkah pertama dimulai dari pemuatan sinyal EEG mentah (*raw data*), yang kemudian dipotong

p-ISSN:1693 – 2951; e-ISSN: 2503-2372



9 772503 237160

(epoching) untuk mengambil segmen data yang relevan dengan durasi stimulasi. Sinyal tersebut selanjutnya difilter menggunakan filter digital untuk mereduksi *noise*[33]. Komponen *artifact* yang berasal dari gerakan mata atau aktivitas otot kemudian dieliminasi menggunakan metode *Independent Component Analysis* (ICA). Setelah sinyal bersih, dilakukan dekomposisi pita frekuensi untuk mengisolasi gelombang Beta (β). Tahap akhir dari proses ini menghasilkan Data EEG Bersih yang siap menuju proses ekstraksi fitur. *Power Spectral Density* (PSD) diaplikasikan untuk mengukur kerapatan distribusi daya sinyal pada rentang frekuensi gelombang Beta (12–30 Hz) khusus untuk kanal T3 dan T4.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini menyajikan data hasil implementasi dan pengujian penelitian. Temuan tersebut dianalisis secara mendalam untuk menjawab rumusan masalah, serta disajikan lewat kombinasi grafik, tabel, dan gambar agar mudah dipahami.

D. Hasil Kuesioner Pasca Stimulus

Setelah perekaman EEG, dilakukan validasi terhadap 25 partisipan (15 wanita, 10 pria) untuk memastikan perbedaan persepsi terhadap stimulus kemasan. Partisipan menilai tingkat ketertarikan gambar kemasan produk menggunakan google form yang disajikan pada gambar 8.

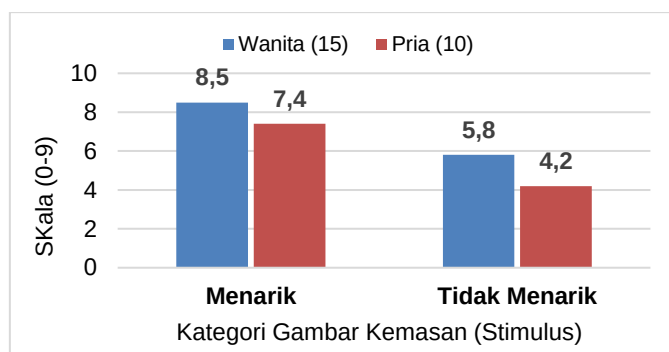
Gambar 8. Kuisisioner Pasca Stimulus

Prosedur validasi persepsi partisipan dilakukan secara digital menggunakan instrumen Kuesioner Pasca Stimuli berbasis *Google Form* yang mengadopsi skala penilaian linear 9 poin dimana skala 1 yaitu sangat tidak menarik hingga 9 yaitu sangat menarik. Analisis data hasil kuesioner dari 25 partisipan (15 wanita dan 10 pria) dihitung menggunakan rumus rata-rata (mean), di mana penarikan kesimpulan validitas stimulus didasarkan pada kriteria ambang batas nilai tengah (skor 5)

sebagai indikator netral. Stimulus kemasan diklasifikasikan ke dalam kategori "Menarik" jika memperoleh akumulasi nilai rata-rata $X > 5$, dan dikategorikan "Tidak Menarik" jika nilai rata-rata kelompok berada pada rentang $X < 5$. Berdasarkan parameter tersebut, hasil rekapitulasi data penilaian disajikan pada Tabel 1, sedangkan tren komparasi preferensi visual antar-gender divisualisasikan secara komprehensif pada Gambar 9.

Tabel 1. Hasil Analisis Kuisisioner Pasca Stimulus

Partisipan	Skala (0-9)	
	Menarik	Tidak Menarik
Wanita (15)	8.5	5.8
Pria (10)	7.4	4.2



Gambar 9. Grafik Distribusi Penilaian Subjektif terhadap Stimulus Kemasan Produk Berdasarkan Gender

Data pada Tabel I dan Gambar 6 menunjukkan konsistensi penilaian yang kontras di antara kedua kelompok gender. Pada kategori kemasan menarik, kelompok wanita dan pria memberikan skor rata-rata yang tinggi, masing-masing sebesar 8.5 dan 7.4. Sebaliknya, pada kategori tidak menarik, penilaian menurun signifikan menjadi 5.8 untuk wanita dan 4.2 untuk pria.

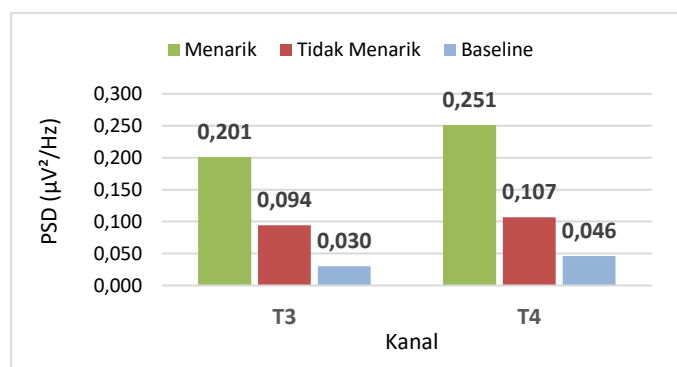
Walaupun partisipan wanita cenderung memberikan nilai yang lebih tinggi pada kedua kategori tersebut, adanya perbedaan skor yang mencolok antara kemasan menarik dan tidak menarik membuktikan bahwa gambar produk yang dipilih sudah memiliki perbedaan daya tarik yang jelas. Hal ini menunjukkan bahwa stimulus visual tersebut valid untuk digunakan dalam penelitian.

E. Hasil Ekstraksi Fitur *Power Spectral Density* (PSD)

Analisis kuantitatif sinyal EEG dilakukan dengan menghitung nilai rata-rata *Power Spectral Density* (PSD) pada gelombang beta (13–30 Hz). Perhitungan ini bertujuan untuk melihat perbedaan aktivitas listrik otak di area temporal saat partisipan melihat tiga kondisi yang berbeda: gambar kemasan menarik, gambar kemasan tidak menarik, serta kondisi baseline (tanpa stimulus). Nilai densitas daya sinyal dari kedua kanal temporal, yaitu T3 (temporal kiri) dan T4 (temporal kanan), dirangkum secara mendetail pada Tabel 2. Sedangkan pola daya sinyal pada masing-masing kanal divisualisasikan dalam bentuk grafik perbandingan pada Gambar 10.

Tabel 2. Hasil Analisis PSD

Sub-band (Gelombang)	Kanal	Gambar Kemasan Menarik	Gambar Kemasan Tidak Menarik	Base-line
Beta	T3	0.201 $\mu\text{V}^2/\text{Hz}$	0.094 $\mu\text{V}^2/\text{Hz}$	0.030 $\mu\text{V}^2/\text{Hz}$
	T4	0.251 $\mu\text{V}^2/\text{Hz}$	0.107 $\mu\text{V}^2/\text{Hz}$	0.046 $\mu\text{V}^2/\text{Hz}$



Gambar 10. Grafik Perbandingan Rata-Rata PSD pada Sub-band Beta di Kanal T3 dan T4.

Berdasarkan Tabel II dan Gambar 10, terlihat pola yang konsisten pada kedua kanal, di mana nilai PSD gelombang beta mencapai angka tertinggi saat partisipan melihat kemasan yang menarik. Pada kanal T3, kemasan menarik menghasilkan nilai rata-rata PSD sebesar 0.201 $\mu\text{V}^2/\text{Hz}$. Nilai ini lebih tinggi dibandingkan kemasan tidak menarik 0.094 $\mu\text{V}^2/\text{Hz}$ dan kondisi *baseline* 0.030 $\mu\text{V}^2/\text{Hz}$. Pola yang sama juga terjadi pada kanal T4. Nilai rata-rata PSD untuk kemasan menarik berada di angka tertinggi sebesar 0.251 $\mu\text{V}^2/\text{Hz}$, diikuti oleh kemasan tidak menarik sebesar 0.107 $\mu\text{V}^2/\text{Hz}$, dan kondisi *baseline* yang hanya 0.046 $\mu\text{V}^2/\text{Hz}$.

Secara keseluruhan, data ini menunjukkan bahwa stimulasi visual berupa kemasan produk yang menarik mampu memicu peningkatan aktivitas gelombang beta yang signifikan di area temporal otak jika dibandingkan dengan kemasan yang tidak menarik maupun kondisi tenang (*baseline*). Lonjakan nilai PSD ini mengindikasikan adanya keterlibatan proses kognitif yang lebih aktif, seperti peningkatan konsentrasi, analisis emosional, atau pemanggilan memori asosiatif saat partisipan mengevaluasi desain kemasan yang dirancang menarik.

Jika ditinjau dari pola asimetri fungsional kedua hemisfer, data menunjukkan adanya dominasi aktivitas yang lebih tinggi pada Kanal T4 (Temporal Kanan) dibandingkan Kanal T3 (Temporal Kiri) di seluruh kondisi pengujian. Pada kondisi kemasan menarik, terjadi selisih nilai PSD sebesar 0.050 $\mu\text{V}^2/\text{Hz}$. Pola asimetri ini mengindikasikan bahwa proses neurokognitif partisipan saat mengevaluasi kemasan bekerja melalui dua jalur simultan yang berbeda yaitu Kanal T4 mendominasi karena otak bekerja lebih keras dalam memproses informasi non-verbal, estetika visual, komponen warna, logo, serta organisasi spasial dari desain kemasan;

Jauzaa Maylia Suhendro : Respon Gelombang Beta pada Kanal ...

sedangkan Kanal T3 secara simultan aktif untuk mendukung pemrosesan logis-verbal, seperti membaca teks merek, mencerna informasi label, atau memahami struktur semantik yang tertera pada kemasan produk tersebut[11], [12].

V. KESIMPULAN

Penelitian ini menyimpulkan bahwa desain kemasan yang menarik secara konsisten memicu aktivitas neurokognitif gelombang Beta (β) yang jauh lebih kuat melalui pola asimetri fungsional lobus temporal otak. Dominasi tertinggi terjadi pada Kanal T4 0.251 $\mu\text{V}^2/\text{Hz}$ yang memproses elemen non-verbal, estetika visual, dan organisasi spasial kemasan, didukung secara simultan oleh Kanal T3 0.201 $\mu\text{V}^2/\text{Hz}$ dalam mencerna komponen logis-verbal seperti teks dan label produk. Kebaruan dari hasil riset ini terletak pada keberhasilannya memisahkan respons otak terhadap kemasan utuh menjadi dua proses berpikir yang lebih mendetail dan berjalan secara bersamaan. Lonjakan gelombang Beta ini memberikan bukti neurofisiologis baru bahwa otak konsumen aktif melakukan rekonstruksi visualisasi spasial terhadap struktur estetika desain melalui mekanisme *recurrent feedback* sebelum melahirkan keputusan ketertarikan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Tim pelaksana Riset mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat (DRPM) Universitas Primakara atas dukungan penuh yang diberikan pada Penelitian Periode 2025-2026.

REFERENSI

- [1] G. I. P. Kusuma, "Analisis Stimulus Desain Kemasan Menggunakan Metode Eye Tracking Dan Ekspresi Wajah," 2021, *UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA*.
- [2] G. N. I. Burhanuddin, "Prefrensi Konsumen Terhadap Sajian Kopi Peach Americano Melalui Neuromarkting Pada Kelompok Usia Lansia Awal (Studi Kasus : Cafe di Kota Makassar)," 2023, *Universitas Hasanuddin*.
- [3] M. Edu, A. Adam, dan G. I. Rumambi, "Pengaruh Neuromarketing Dan Daya Tarik Iklan Terhadap Keputusan Pembelian Produk Coca Cola Melalui Emosi Konsumen Sebagai variabel Intervening (Studi Kasus Kota Tomohon)," *Jurnal EHO*, vol. 5, no. 2, hlm. 7–17, 2025.
- [4] Z. Khakim dan S. Kusrohmaniah, "Dasar-Dasar Electroencephalography (EEG) bagi Riset Psikologi The Basics of Electroencephalography (EEG) for Psychological Research," *Buletin Psikologi*, vol. 29, no. 1, hlm. 92–115, 2021.
- [5] E. C. L. B. Elchy Citra Lestari Basri, "Daya Tarik Produk Kemasan Pastry Mania. C. Plain Place Terhadap Brand Awareness," 2024.
- [6] L. Pramudya dan N. I. ER, "Evaluasi Implementasi Komponen Smart City di Bali: Literature Review," *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, vol. 24, no. 1, hlm. 9–22, 2025.
- [7] F. Zebua, T. H. S. Hulu, D. Lase, dan E. Baene, "Inovasi desain kemasan dodol durian Nias sebagai strategi peningkatan daya tarik dan penjualan di UD Tanda Setia Gunungstoli," *Management Perspective: Jurnal Penelitian Manajemen*, vol. 2, no. 2, hlm. 80–97, 2025.
- [8] Y. A. Ilksoy, A. de la Fuente, J. D. Sitt, E. Tagliazucchi, dan C. Pallavicini, "Investigating the role of beta and gamma tACS in visual processing and conscious perception," *Neurosci. Conscious.*, vol. 2026, no. 1, hlm. niaf056, 2026.
- [9] G. Di Dona dan L. Ronconi, "Beta oscillations in vision: a (preconscious) neural mechanism for the dorsal visual stream?," *Front. Psychol.*, vol. 14, hlm. 1296483, 2023.
- [10] A. Mengad, J. Dirkaoui, M. Ertel, M. Chakkouch, dan F. Elomari, "The contribution of numerical EEG analysis for the study and understanding



- of addictions with substances,” *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, vol. 14, no. 5, 2023.
- [11] D. R. Chartier, M. B. Dellinger, J. R. Evans, dan H. K. Budzynski, *Introduction to quantitative EEG and neurofeedback*. Elsevier, 2023.
- [12] P. M. Cortes, J. P. García-Hernández, F. A. Iribe-Burgos, M. Hernández-González, C. Sotelo-Tapia, dan M. A. Guevara, “Temporal division of the decision-making process: An EEG study,” *Brain Res.*, vol. 1769, hlm. 147592, 2021.
- [13] N. V. Shemyakina *dkk.*, “A study of eeg characteristics of aesthetic perception and assessment of painting works during museum visits: Neuroaesthetic study,” *Hum. Physiol.*, vol. 50, no. 4, hlm. 345–357, 2024.
- [14] C. Terlouw, C. Bourguet, dan V. Deiss, “Consciousness, unconsciousness and death in the context of slaughter. Part I. Neurobiological mechanisms underlying stunning and killing,” *Meat Sci.*, vol. 118, hlm. 133–146, Agu 2016, doi: 10.1016/j.meatsci.2016.03.011.
- [15] T. Diantoro dan F. A. Fiolana, “Klasifikasi Sinyal Delta, Theta, Alpha, Beta, Gamma Pada Electroencephalography (EEG),” *ALINIER: Journal of Artificial Intelligence & Applications*, vol. 4, no. 2, hlm. 91–104, 2023.
- [16] J. M. Suhendro, N. W. N. S. T. Putri, F. Endria, dan G. R. P. Prasetya, “Analisis Frekuensi Domain Pada Sinyal EEG Terhadap Stimulus Gambar Kemasan Produk: Studi Neuromarketing dalam Kemasan Produk,” *Jurnal Elektro dan Mesin Terapan*, vol. 11, no. 1, hlm. 43–50, 2025.
- [17] N. Fatih, A. D. Wibawa, M. H. Purnomo, dan A. Mas, “Comparative Analysis of EEG-based Emotion Recognition between Male and Female Participants Using Hjorth Parameter,” dalam *2023 International Electronics Symposium (IES)*, IEEE, 2023, hlm. 179–185.
- [18] J. M. Suhendro, A. D. Wibawa, dan A. Mas, “Analysis of Attraction Response on Product Packaging Based on EEG Signal:(A preliminary study of Neuromarketing on Packaging),” dalam *2023 International Electronics Symposium (IES)*, IEEE, 2023, hlm. 479–485.
- [19] M. Bear, B. Connors, dan M. A. Paradiso, *Neuroscience: Exploring the brain*. Jones & Bartlett Learning, 2025.
- [20] B. A. Vachha, T. F. Massoud, dan S. Y. Huang, “Anatomy of the cerebral cortex, lobes, and cerebellum,” *Neuroimaging Clinics*, vol. 32, no. 3, hlm. 463–473, 2022.
- [21] J. G. Scott dan M. R. Schoenberg, “Frontal lobe/executive functioning,” dalam *The little black book of neuropsychology: A syndrome-based approach*, Springer, 2026, hlm. 251–280.
- [22] S. A. El Rahmah, K. K. Putri, dan S. Noviyanti, “Hubungan Antara Bahasa dan Kinerja Otak Manusia,” *Didaktik: Jurnal Ilmiah PGSD STKIP Subang*, vol. 11, no. 04, hlm. 212–226, 2025.
- [23] P. Insani, O. Aulevpia, dan W. Vironica, “Pengaruh Kegiatan Seni Finger Painting dalam Melatih Kemampuan Lobus Oksipital Anak Terhadap Pengenalan Warna Usia 4-5 Tahun,” *JPT: Jurnal Pendidikan Tematik*, vol. 5, no. 2, hlm. 220–223, 2024.
- [24] R. P. Azqia, R. Marlina, dan D. Lestari, “Peran Lobus Temporal Pada Perkembangan Fungsi Bahasa dan Memori Pada Anak Usia Dini,” *Jurnal Pendidikan dan Pembelajaran*, vol. 4, no. 02, hlm. 2220–2225, 2025.
- [25] S. Pratasik, A. D. Wibawa, dan D. P. Wulandari, “Coherence analysis of EEG signal in happy and sad emotions during visual stimulation,” dalam *2023 IEEE International Biomedical Instrumentation and Technology Conference (IBITeC)*, IEEE, 2023, hlm. 171–176.
- [26] H. F. Perdhana dan H. Zakaria, “Pembersihan Artefak EOG dari Sinyal EEG menggunakan Denoising Autoencoder,” *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, vol. 10, no. 3, hlm. 639, 2022.
- [27] I. Robiyana, T. Sumardi, A. Ramadhan, dan M. A. Suhendra, “Analisis Band Power, Relative Power, dan Entropi Sinyal EEG saat Relaksasi dengan Mata Tertutup berdasarkan Brain Region,” *Jurnal Riset Fisika Indonesia*, vol. 6, no. 01, hlm. 21–29, 2025.
- [28] C. Batista, J. I. Soares, P. Coelho, S. Ferreira, I. Rosenzweig, dan D. F. Borges, “Closing the temporal blind spot: Six additional electrodes increase patient-level EEG abnormality detection by~ 12%,” *Epileptic Disorders*, vol. 28, no. 1, hlm. 97–108, 2026.
- [29] W. Bin Ng, A. Saidatul, Y. F. Chong, dan Z. Ibrahim, “PSD-based features extraction for EEG signal during typing task,” dalam *IOP conference series: materials science and engineering*, IOP Publishing, 2019, hlm. 12032.
- [30] B. G. Pratama, A. D. Wibawa, D. P. Wulandari, dan S. Pratasik, “Neuromarketing Study of Purchase Decisions Using Advertising Videos Based on EEG Signal Analysis,” dalam *2024 IEEE International Conference on Industry 4.0, Artificial Intelligence, and Communications Technology (IAICT)*, IEEE, 2024, hlm. 315–320.
- [31] A. D. Wibawa, S. D. Suryani, dan S. Pratasik, “Classifying Electroencephalogram (EEG) Signals via Brain Activity Mapping to Distinguish Identified vs Unidentified Information,” *CommIT (Communication and Information Technology) Journal*, vol. 19, no. 1, hlm. 101–114, 2025.
- [32] W. S. Mada Sanjaya, *Brain-Computer Interface: Kontrol Robot Menggunakan Sinyal EEG berbasis MindWave NeuroSky, Python, dan Arduino-Penerbit Bolabot*. Bolabot, 2025.
- [33] F. Handayani, A. Andang, dan F. M. S. Nursuwars, “Peningkatan Kualitas Sinyal Photoplethysmography (PPG) melalui Pendekatan Prapemrosesan Multistage,” *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, vol. 24, no. 1, hlm. 61–70, 2025.