

Analisis Frekuensi Domain Pada Sinyal EEG Terhadap Stimulus Gambar Kemasan Produk: Studi *Neuromarketing* dalam Kemasan Produk

Jauzaa Maylia Suhendro¹, Ni Wayan Nanik Suaryani Taro Putri², Felysia Endria³, Gede Renanda Putra Prasetya⁴

^{1,3} Program Studi Sistem Informasi, Universitas Primakara, Denpasar 80226, Indonesia

^{2,4} Program Studi Manajemen, Universitas Primakara, Denpasar 80226, Indonesia

Corresponding Author: jauzaams@primakara.ac.id

Riwayat Artikel

Diserahkan: 23 April 2025

Direvisi: 10 Mei 2025

Diterima: 14 Mei 2025

Dipublikasi: 31 Mei 2025

Abstrak

Kemasan produk tidak hanya berfungsi sebagai pelindung, tetapi juga sebagai elemen visual strategis yang dapat membentuk persepsi konsumen di titik penjualan. Seiring berkembangnya pendekatan pemasaran berbasis neurosains, *neuromarketing* menjadi metode potensial untuk mengungkap respons otak terhadap stimulus visual. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis aktivitas gelombang alfa dalam merespons gambar kemasan produk yang diklasifikasikan sebagai menarik dan tidak menarik. Sebanyak 25 partisipan terlibat dalam eksperimen dengan stimulus yang dipilih berdasarkan survei dari 60 responden. Aktivitas otak direkam menggunakan EEG pada kanal O1 dan O2, kemudian dianalisis menggunakan *Power Spectral Density* (PSD). Hasil menunjukkan bahwa kemasan menarik menghasilkan aktivitas alfa yang lebih tinggi dibandingkan kemasan tidak menarik dan *baseline*, mengindikasikan peningkatan atensi visual. Selanjutnya, fitur PSD diklasifikasikan menggunakan algoritma *Random Forest*, *Support Vector Machine*, dan *K-Nearest Neighbors*. *Random Forest* menunjukkan akurasi tertinggi sebesar 78% pada data uji. Penelitian ini memberikan kontribusi pada evaluasi objektif terhadap desain kemasan berbasis sinyal otak, serta membuka arah baru dalam pengembangan strategi pemasaran berbasis data.

Kata kunci: EEG, Gelombang Alfa, Domain Frekuensi, Kemasan Produk, *Neuromarketing*.

Abstract

Product packaging not only serves as protection but also functions as a strategic visual element that shapes consumer perception at the point of sale. With the advancement of neuroscience-based marketing, neuromarketing has emerged as a promising approach to investigate brain responses to visual stimuli. This study aims to analyze alpha wave activity in response to product packaging images categorized as attractive and unattractive. A total of 25 participants were involved, with visual stimuli selected based on a prior survey of 60 respondents. Brain activity was recorded using EEG from channels O1 and O2 and analyzed using the Power Spectral Density (PSD) method. The results indicate that attractive packaging elicited higher alpha wave activity compared to unattractive packaging and baseline, suggesting increased visual attention. Furthermore, PSD features were classified using three machine learning algorithms:

Random Forest, Support Vector Machine, and K-Nearest Neighbors. Among them, Random Forest achieved the highest test accuracy at 78%. This study contributes to the objective evaluation of product packaging design through brain signal analysis and supports the development of data-driven marketing strategies.

Keywords: Alpha Wave, EEG, Frequency-domain, Neuromarketing, Packaging.

1. Pendahuluan

Strategi pemasaran berperan penting dalam membentuk persepsi dan preferensi konsumen melalui berbagai stimulus, seperti iklan, promosi visual, dan kemasan. Di antara stimulus tersebut, kemasan menjadi elemen visual yang paling langsung berinteraksi dengan konsumen di titik penjualan. Selain sebagai pelindung, kemasan menyampaikan nilai dan identitas merek serta dapat memengaruhi persepsi kualitas dan keputusan pembelian[1]. Seiring berkembangnya pendekatan pemasaran berbasis sains, *neuromarketing* muncul sebagai metode untuk memahami perilaku konsumen melalui respons sinyal otak. *Neuromarketing* merupakan pendekatan yang menggabungkan ilmu saraf dan pemasaran untuk memahami bagaimana otak merespons stimulus pemasaran[2]. Metode ini berfungsi untuk mengungkap preferensi konsumen secara lebih mendalam melalui pengamatan aktivitas otak, sehingga membantu merancang strategi pemasaran yang lebih efektif. Salah satu alat utama yang digunakan dalam metode ini adalah *Electroencephalography* (EEG), yang merekam aktivitas otak secara *real-time* saat konsumen terpapar stimulus visual seperti kemasan produk[3].

Secara umum, otak manusia terdiri atas beberapa lobus utama dengan fungsi berbeda: lobus frontal untuk pengambilan keputusan dan emosi, lobus parietal untuk persepsi sensorik, lobus temporal untuk pendengaran dan memori, serta lobus oksipital untuk pemrosesan visual[4]. Lobus oksipital, yang terletak di bagian belakang kepala, merupakan pusat korteks visual primer dan berperan dalam mengolah sinyal visual dari mata[5]. Sinyal

EEG merupakan representasi aktivitas listrik otak yang direkam dalam bentuk sinyal sinusoidal dengan berbagai frekuensi[6]. Aktivitas otak yang direkam melalui EEG terbagi ke dalam beberapa jenis gelombang berdasarkan frekuensinya yaitu delta (0,5–4 Hz) saat kondisi tidur nyenyak, theta (4–8 Hz) saat relaksasi ringan dan meditasi, alfa (8–12 Hz) saat kondisi tenang terjaga, beta (13–30 Hz) saat aktivitas mental aktif, dan gamma (>30 Hz) saat proses kognitif kompleks. Masing-masing gelombang mencerminkan kondisi mental dan kognitif tertentu[7][8].

Penelitian ini berfokus pada gelombang alfa yang berkaitan dengan kondisi relaksasi dan atensi visual. Kanal O1 dan O2 di area oksipital dipilih karena berperan dalam pemrosesan visual dan mencerminkan respons otak terhadap rangsangan seperti desain kemasan produk. Meskipun identik dengan ketenangan, beberapa penelitian mengungkapkan bahwa gelombang alfa juga terkait dengan atensi visual[9]. Analisis dilakukan menggunakan metode *Power Spectral Density* (PSD) dalam domain frekuensi untuk mengukur intensitas sinyal EEG secara objektif, sehingga memberikan pemahaman yang lebih terukur terhadap respons otak terhadap elemen visual kemasan[10][11].

Beberapa penelitian sebelumnya telah menerapkan pendekatan *Power Spectral Density* (PSD) pada analisis EEG untuk mengevaluasi respons otak terhadap stimulus pemasaran. Pratama dkk (2014) meneliti iklan *video* dan menemukan peningkatan gelombang alfa terkait keterlibatan emosional[12][13]. Gaspar-Figueiredo (2023) mengevaluasi pengalaman pengguna (*user experience*) saat berinteraksi dengan dua puluh menu grafis

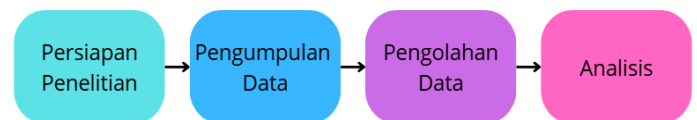
adaptif dan hasilnya sinyal EEG berkorelasi kuat dengan penilaian pengguna[14]. Penelitian oleh Roy (2021) menyelidiki respons otak terhadap stimulus warna (VIBGYOR) menggunakan EEG pada 16 partisipan dengan penglihatan warna normal dan hasilnya warna biru memicu kompleksitas sinyal otak tertinggi, diikuti merah dan hijau[15]. Ketiga studi tersebut menyoroti pentingnya elemen visual dalam membentuk persepsi, namun belum secara langsung mengamati respons otak terhadap kemasan produk berdasarkan persepsi menarik dan tidak menarik. Penelitian ini menawarkan kebaruan dengan secara spesifik menganalisis respons gelombang alfa terhadap gambar kemasan melalui pendekatan frekuensi domain.

Penelitian ini diawali dengan melakukan survey gambar kemasan produk yang diklasifikasikan sebagai menarik dan tidak menarik berdasarkan penilaian 60 responden menggunakan kuesioner *online*. Sebanyak 25 partisipan direkam sinyal EEG-nya pada kanal O1 dan O2 Alfa untuk membandingkan respons otak terhadap kedua jenis kemasan menggunakan metode *Power Spectral Density* (PSD). Hipotesis menyatakan bahwa kemasan menarik akan memicu aktivitas alfa yang lebih tinggi, mencerminkan tingkat atensi visual yang lebih besar. Selanjutnya, hasil ekstraksi fitur PSD akan diklasifikasikan menggunakan tiga algoritma pembelajaran mesin, yaitu *Random Forest* (RF), *Support Vector Machine* (SVM), dan *K-Nearest Neighbors* (KNN), untuk mengevaluasi akurasi dalam membedakan respons terhadap kemasan menarik dan tidak menarik. Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis perbedaan aktivitas otak yang ditimbulkan oleh persepsi visual terhadap kemasan produk yang menarik dan tidak menarik khususnya pada gelombang alfa kanal O1 dan O2. Penelitian diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam bidang *neuromarketing* melalui pendekatan kuantitatif berbasis EEG, serta menawarkan wawasan bagi strategi desain kemasan yang mampu

mengaktivasi respons kognitif konsumen secara efektif.

2. Metode

Bab ini menjelaskan metode yang digunakan dalam penelitian untuk menganalisis aktivitas gelombang alfa terhadap rangsangan gambar kemasan produk. Metode penelitian mencakup tahapan sistematis, mulai dari persiapan penelitian, pengumpulan data, pengolahan data, hingga analisis hasil. Tahapan penelitian ini digambarkan dalam diagram alir berikut.

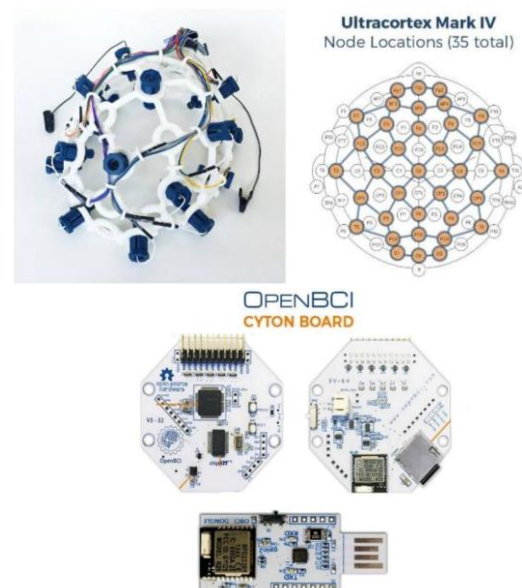


Gambar 1. Tahapan Penelitian

Berikut merupakan penjelasan dari Gambar 1. Tahapan Penelitian

a. Persiapan Penelitian

Tahap ini mencakup studi literatur dan eksplorasi perangkat EEG. Studi literatur dilakukan untuk memahami teori gelombang alfa, *Power Spectral Density* (PSD), *neuromarketing*, serta teknik analisis dan klasifikasi data EEG. Perangkat EEG yang digunakan adalah Ultracortex Mark IV dengan *Cyton Board* dan *dongle* untuk konektivitas data.

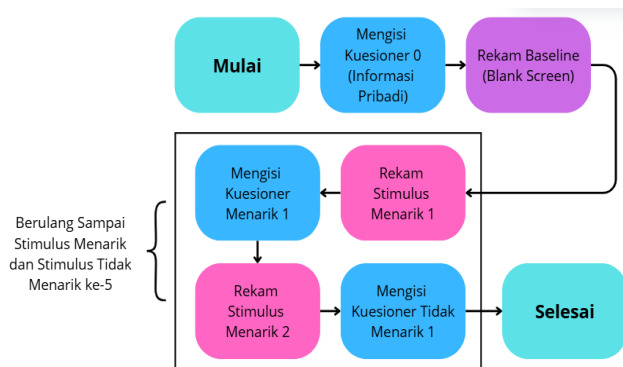


Gambar 2. Headset EEG Ultracortex Mark IV beserta Cyton Board dan Dongel[16].

Gambar 2 menampilkan bentuk dan bagian-bagian dari *Headset* EEG. Eksplorasi perangkat ini dilakukan untuk memahami cara kerja, lokasi pemasangan elektroda, serta metode perekaman sinyal otak yang optimal khususnya bagian oksipital yang berperan dalam rangsangan visual.

b. Pengumpulan Data

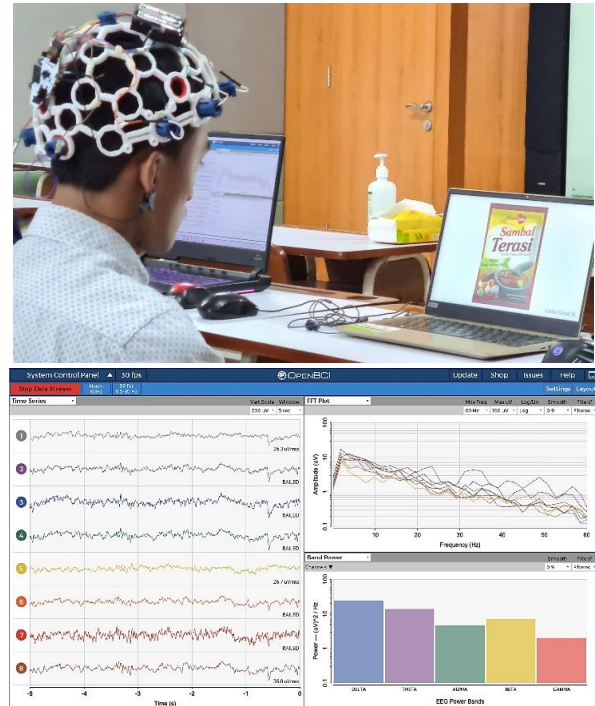
Penelitian ini menggunakan gambar kemasan produk sebagai stimulus, yang diklasifikasikan menjadi menarik dan tidak menarik berdasarkan kuesioner *online* dari 60 responden. 5 gambar dengan skor tertinggi dan 5 dengan skor terendah dipilih sebagai stimulus eksperimen. Sebanyak 25 partisipan berpartisipasi, dengan kriteria tidak memiliki gangguan penglihatan atau neurologis serta dalam kondisi fisik dan mental yang stabil. Eksperimen dilakukan di ruangan dengan pencahayaan dan suara yang dikontrol. Partisipan duduk nyaman dan mengenakan *headset* EEG Ultracortex Mark IV untuk merekam aktivitas otak selama eksperimen. Berikut merupakan alur pengambilan data EEG.



Gambar 3. Alur Pengambilan Data EEG

Gambar 3 menampilkan alur pengambilan data EEG dari awal hingga akhir. Sebelum perekaman EEG dimulai, peserta mengisi kuesioner awal (Kuesioner 0) berisi informasi pribadi. Perekaman diawali dengan *baseline*, yaitu tampilan layar hitam dengan titik putih di tengah sebagai fokus. Peserta kemudian melihat stimulus selama 5 detik, diikuti dengan pengisian kuesioner untuk menilai tingkat ketertarikan terhadap stimulus tersebut.

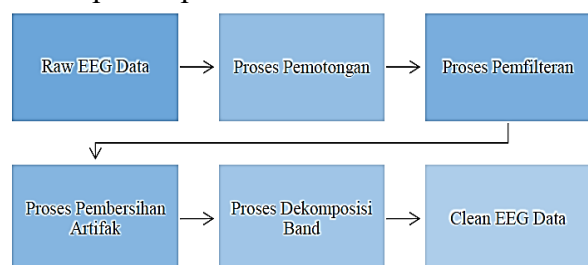
Perekaman EEG bertujuan untuk menangkap respons otak terhadap stimulus yang menarik dan tidak menarik. Sinyal EEG mentah akan disimpan dalam format txt untuk nantinya dilakukan *pre-processing*. Kondisi saat perekaman data EEG ditampilkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Perekaman Sinyal EEG dengan Visualisasi Sinyal Secara *Real-Time*.

c. Pengolahan Data

Dalam proses pengolahan data EEG terdapat *Pre-Processing* data yang bertujuan untuk meningkatkan kualitas sinyal EEG dengan menghilangkan artefak yang disebabkan oleh kedipan mata, gerakan tubuh, atau gangguan listrik[17]. Tahap ini dilakukan menggunakan Bahasa pemrograman python dan beberapa *library* yang digunakan seperti *SciPy*, *NumPy* dan *Matplotlib*. Adapun proses dari *Pre-Processing* terdiri dari beberapa tahap yang ditampilkan pada Gambar 3.



Gambar 5. Tahapan *Pre-Processing*

Gambar 5 menggambarkan tahapan *Pre-Processing* data EEG untuk memperoleh sinyal yang bersih dan siap dianalisis. Proses dimulai dengan *Raw EEG Data*, yang dipotong untuk mengambil segmen relevan, lalu difilter untuk menghilangkan *noise*. Selanjutnya, dilakukan Pembersihan Artefak menggunakan *Independent Component Analysis (ICA)* guna menghilangkan gangguan dari gerakan mata, otot, atau faktor eksternal[18]. Setelah itu, dilakukan Dekomposisi *Band* untuk memisahkan sinyal ke dalam gelombang alfa. Hasil akhirnya adalah *Clean EEG Data*, yang siap untuk dianalisis. Ekstraksi fitur *Power Spectral Density (PSD)* kemudian dilakukan untuk mengukur distribusi daya [19] dalam rentang alfa (8–12 Hz) pada kanal O1 dan O2, yang merepresentasikan respons otak terhadap stimulus visual dengan rumus Persamaan 1.

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

Dimana:

PSD = Kerapatan Spektral Daya, yaitu distribusi daya sinyal terhadap frekuensi

P = Jumlah segmen (potongan sinyal yang dianalisis)

$\hat{I}_{xx}^{(p)}(\omega)$ = Periodogram dari masing-masing segmen yang telah diberi jendela (*windowing*) pada frekuensi.

d. Analisis

Dalam Tahapan analisis, dilakukan Visualisasi data PSD untuk melihat perbedaan tingkat aktivitas gelombang alfa antara kemasan menarik dan tidak menarik. Grafik distribusi PSD pada masing-masing kategori dianalisis untuk memahami pola respons otak terhadap daya tarik kemasan produk. Untuk menguji apakah pola aktivitas gelombang alfa dapat digunakan sebagai indikator daya tarik kemasan produk, dilakukan klasifikasi menggunakan tiga algoritma pembelajaran mesin, yaitu *Random Forest (RF)* mengklasifikasikan pola aktivitas otak dengan membangun banyak pohon keputusan[20],

Support Vector Machine (SVM) bekerja dengan mencari garis atau *hyperplane* terbaik yang memisahkan data EEG[21], dan *K-Nearest Neighbors (KNN)* menentukan kelas berdasarkan mayoritas dari K data terdekat dalam ruang fitur[22].

3. Hasil dan Pembahasan

Bab ini menyajikan hasil penelitian, termasuk kuesioner pemilihan stimulus, analisis *Power Spectral Density (PSD)*, visualisasi respons otak, dan klasifikasi data EEG. Pembahasan difokuskan pada perbedaan aktivitas gelombang alfa terhadap stimulus menarik dan tidak menarik serta akurasi model klasifikasi.

3.1. Hasil Kuesioner

Berikut ini merupakan hasil kuesioner yang telah diisi partisipan setelah melihat stimulus. Dalam kolom penilaian daya tarik, semua partisipan mengevaluasi tingkat daya tarik pada skala 0 hingga 9. Nilai rata-rata daya tarik untuk kemasan produk yang menarik dan tidak menarik disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Kuesioner Pemilihan Stimulus

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

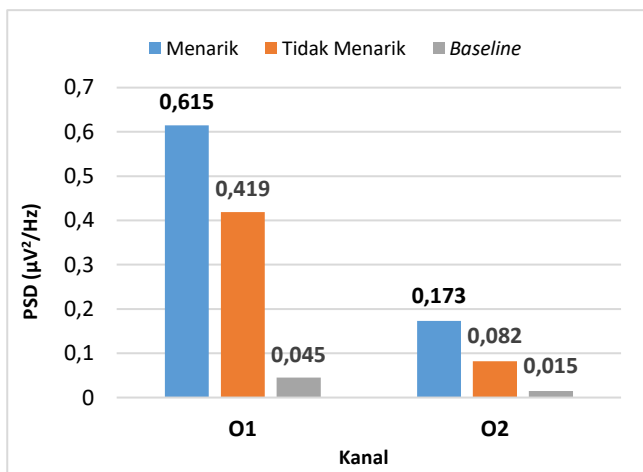
3.2. Hasil Rata – Rata *Power Spectral Density (PSD)*

Tabel 2 menyajikan hasil rata-rata nilai *Power Spectral Density (PSD)* pada *sub-band* alfa yang diperoleh dari dua kanal oksipital, yaitu O1 dan O2. Nilai PSD dibandingkan berdasarkan tiga kondisi stimulus, yaitu gambar kemasan produk yang menarik, tidak menarik, dan kondisi *baseline* (tanpa stimulus visual).

Tabel 2. Hasil Rata – Rata PSD

<i>Sub-band</i>	Kanal	Gambar Kemasan Menarik	Gambar Kemasan Tidak Menarik	Base-line
Alfa	O1	0.615 $\mu V^2/Hz$	0.419 $\mu V^2/Hz$	0.045 $\mu V^2/Hz$
	O2	0.173 $\mu V^2/Hz$	0.082 $\mu V^2/Hz$	0.015 $\mu V^2/Hz$

Tabel 2 menunjukkan hasil rata-rata *Power Spectral Density* (PSD) pada *sub-band* alfa untuk kanal O1 dan O2 dalam tiga kondisi yaitu gambar kemasan menarik, gambar kemasan tidak menarik, dan *baseline*. Pada kanal O1, nilai rata-rata PSD untuk gambar kemasan menarik adalah $0.615 \mu\text{V}^2/\text{Hz}$, lebih tinggi dibandingkan dengan gambar kemasan tidak menarik yang hanya $0.419 \mu\text{V}^2/\text{Hz}$, serta jauh di atas *baseline* sebesar $0.045 \mu\text{V}^2/\text{Hz}$. Sementara itu, pada kanal O2, nilai PSD untuk gambar kemasan menarik sebesar $0.173 \mu\text{V}^2/\text{Hz}$, lebih besar dari gambar kemasan tidak menarik ($0.082 \mu\text{V}^2/\text{Hz}$) dan *baseline* ($0.015 \mu\text{V}^2/\text{Hz}$), sehingga dapat dibuatkan grafik seperti Gambar 6.



Gambar 6. Grafik Perbandingan Rata – rata PSD pada *Sub-band* Alfa dan Kanal O1 O2.

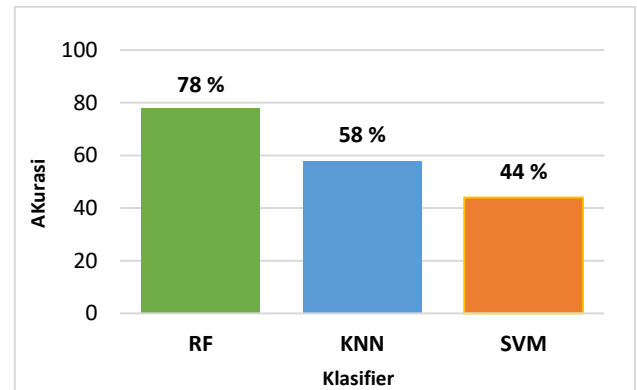
Hasil pada Gambar 6 menunjukkan bahwa aktivitas gelombang alfa meningkat saat peserta melihat gambar kemasan menarik dibandingkan dengan gambar kemasan tidak menarik maupun saat kondisi *baseline*. Hal ini mengindikasikan bahwa kemasan menarik lebih memicu respons otak yang lebih aktif dalam rentang frekuensi alfa, yang dapat dikaitkan dengan tingkat atensi visual.

3.3. Hasil Klasifikasi

Tabel 3 merupakan hasil klasifikasi menggunakan 3 model *Machine Learning* yaitu RF, KNN dan SVM.

Tabel 3. Hasil Kasifikasi *Machine Learning*

Classi-fier	Data set	Accura-cy (%)	Preci-sion (%)	Recall (%)	F1-Score (%)
RF	Train	85	84	85	84.5
	Test	78	75	78	76.2
KNN	Train	67	65	66	65.5
	Test	58	56	59	57.4
SVM	Train	60	59	57	58
	Test	44	41	44	42.5



Gambar 7. Grafik Perbandingan Akurasi

Tabel 3 menunjukkan perbandingan performa tiga algoritma klasifikasi yaitu *Random Forest*, KNN, dan SVM berdasarkan tiga metrik evaluasi utama. Dari hasil ini terlihat bahwa *Random Forest* memiliki akurasi pelatihan tertinggi sebesar 78%, namun penurunan performa saat pengujian menunjukkan kemungkinan *overfitting*. Sedangkan KNN dan SVM menunjukkan hasil yang lebih stabil meski dengan akurasi dan F1 Score yang lebih rendah[23]. Selaras dengan penelitian sebelumnya, akurasi tinggi pada *Random Forest* disebabkan kemampuannya menangkap pola kompleks, namun membuatnya sensitif terhadap *noise*, seperti artefak gerakan mata dan otot pada sinyal EEG, sehingga rentan *overfitting*. Sebaliknya, SVM dan KNN cenderung lebih stabil karena pendekatannya yang lebih sederhana dan toleran terhadap variasi data[24]. Secara keseluruhan, Grafik Perbandingan akurasi antar tiga model klasifier dapat dilihat pada Gambar 7.

4. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil menjawab tujuan utama yaitu menganalisis respons otak terhadap stimulus visual berupa gambar kemasan produk

menarik dan tidak menarik menggunakan pendekatan domain frekuensi pada gelombang alfa. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kemasan menarik menghasilkan nilai *Power Spectral Density* (PSD) yang lebih tinggi pada kanal O1 dan O2 dibandingkan kemasan tidak menarik maupun kondisi *baseline*, yang mengindikasikan peningkatan aktivitas otak dalam rentang frekuensi alfa yang berkaitan dengan atensi visual. Selain itu, hasil klasifikasi menggunakan algoritma *Random Forest*, KNN, dan SVM menunjukkan bahwa model *Random Forest* memberikan akurasi tertinggi, meskipun menunjukkan indikasi *overfitting*. Temuan ini memperkuat peran *neuromarketing* sebagai pendekatan objektif untuk mengevaluasi daya tarik visual kemasan melalui sinyal EEG. Sebagai implikasi, penelitian ini membuka peluang untuk mengintegrasikan analisis EEG dalam proses perancangan produk yang berorientasi pada pengalaman konsumen. Penelitian selanjutnya disarankan untuk melibatkan jumlah partisipan yang lebih besar dan beragam serta mengeksplorasi lebih banyak fitur EEG dan pendekatan klasifikasi yang lebih kompleks untuk meningkatkan akurasi dan generalisasi model.

5. Daftar Pustaka

- [1] A. R. Alhaq and W. Murwonugroho, "Metamorfosis Mitos Gaya Jepang Pada Elemen Visual," *Jurnal Senirupa Warna*, vol. 10, no. 2, pp. 228–245, 2022.
- [2] C. Halkiopoulou, H. Antonopoulou, E. Gkintoni, and A. Aroutzidis, "Neuromarketing as an indicator of cognitive consumer behavior in decision-making process of tourism destination—An overview," in *Transcending Borders in Tourism Through Innovation and Cultural Heritage: 8th International Conference, IACuDiT, Hydra, Greece, 2021*, Springer, 2022, pp. 679–697.
- [3] A. N. McInnes, B. Sung, and R. Hooshmand, "A practical review of electroencephalography's value to consumer research," *International Journal of Market Research*, vol. 65, no. 1, pp. 52–82, 2023.
- [4] W. Guo, G. Xu, and Y. Wang, "Horizontal and vertical features fusion network based on different brain regions for emotion recognition," *Knowl Based Syst*, vol. 247, p. 108819, 2022.
- [5] S. P. Syarifuddin, *HYPNOTEACHING METODE PEMBELAJARAN ALAM BAWAH SADAR*. Cendekia Publisher, 2024.
- [6] I. S. Tauladan, H. Novia, and A. Gunawan, "Penerapan Sensor PZEM-004T Untuk Monitoring Tegangan Fluktuasi 1 Fasa dengan Menggunakan Metode Fast Fourier Transform (FFT)," *Jurnal Elektro dan Mesin Terapan*, vol. 4, no. 20, 2024, doi: 10.35143/elementer.v10i2.
- [7] T. Diantoro and F. A. Fiolana, "Klasifikasi Sinyal Delta, Theta, Alpha, Beta, Gamma Pada Electroencephalography (EEG)," *ALINIER: Journal of Artificial Intelligence & Applications*, vol. 4, no. 2, pp. 91–104, 2023.
- [8] P. Madona, M. Hidayat, and E. Susianti, "Akuisisi Dan Klasifikasi Sinyal EEG Untuk Lima Arah Pergerakan Berbasis Labview," *Jurnal Elektro dan Mesin Terapan*, vol. 4, no. 2, pp. 37–44, 2018, doi: 10.35143/elementer.v4i2.2406.
- [9] E. Gani, M. Nugraha, and A. Rio, "Analisis Pengaruh Miopi Terhadap Aktivitas Gelombang Alfa di Area Oksipital (O1 dan O2)," *Jurnal MIPA*, vol. 13, no. 2, pp. 78–81, 2024.
- [10] M. N. A. H. Bin Sha, "Mental Workload Classification on Two Frontal EEG Channels Using Artificial Neural Network With Peak Frequency Based Intrinsic Mode Function Selection," 2022, *Universiti Tun Hussein Onn (Malaysia)*.

- [11] M. K. Islam and A. Rastegarnia, "Recent advances in EEG (non-invasive) based BCI applications," *Front Comput Neurosci*, vol. 17, p. 1151852, 2023.
- [12] B. G. Pratama, A. D. Wibawa, D. P. Wulandari, and S. Pratasik, "Neuromarketing Study of Purchase Decisions Using Advertising Videos Based on EEG Signal Analysis," in *2024 IEEE International Conference on Industry 4.0, Artificial Intelligence, and Communications Technology (IAICT)*, IEEE, 2024, pp. 315–320.
- [13] Y. Rais, A. D. Wibawa, and D. P. Wulandari, "An EEG Pattern Depicting the Attention of Customers While Viewing Video Advertisements," in *2024 7th International Conference on Informatics and Computational Sciences (ICICoS)*, IEEE, 2024, pp. 353–358.
- [14] D. Gaspar-Figueiredo, S. Abrahão, E. Insfrán, and J. Vanderdonckt, "Measuring user experience of adaptive user interfaces using EEG: a replication study," in *Proceedings of the 27th International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering*, 2023, pp. 52–61.
- [15] S. Roy *et al.*, "Brain response to color stimuli: an EEG study with nonlinear approach," *Cogn Neurodyn*, vol. 15, pp. 1023–1053, 2021.
- [16] R. Muhammad *et al.*, "Design and Development of Low-cost Wearable Electroencephalograms (EEG) Headset.," *Intelligent Automation & Soft Computing*, vol. 35, no. 3, 2023.
- [17] K. Kingphai and Y. Moshfeghi, "On EEG preprocessing role in deep learning effectiveness for mental workload classification," in *Human Mental Workload: Models and Applications: 5th International Symposium, H-WORKLOAD 2021, Virtual Event, November 24–26, 2021, Proceedings 5*, Springer, 2021, pp. 81–98.
- [18] S. Abenna, M. Nahid, H. Bouyghf, and B. Ouacha, "EEG-based BCI: A novel improvement for EEG signals classification based on real-time preprocessing," *Comput Biol Med*, vol. 148, p. 105931, 2022.
- [19] J. M. Suhendro, A. D. Wibawa, and A. Mas, "Analysis of Attraction Response on Product Packaging Based on EEG Signal:(A preliminary study of Neuromarketing on Packaging)," in *2023 International Electronics Symposium (IES)*, IEEE, 2023, pp. 479–485.
- [20] E. Antoniou *et al.*, "EEG-based eye movement recognition using brain–computer interface and random forests," *Sensors*, vol. 21, no. 7, p. 2339, 2021.
- [21] M. J. Antony *et al.*, "Classification of EEG using adaptive SVM classifier with CSP and online recursive independent component analysis," *Sensors*, vol. 22, no. 19, p. 7596, 2022.
- [22] R. Shashidhar, P. Kadakol, D. Sreeniketh, P. Patil, K. H. Krishnappa, and R. Madhura, "Eeg data analysis for stress detection using k-nearest neighbor," in *2023 International Conference on Integrated Intelligence and Communication Systems (ICIICS)*, IEEE, 2023, pp. 1–7.
- [23] T. R. Ferdous *et al.*, "Comprehensive Analysis on Feature Selection, Machine Learning and Deep Learning Algorithms to Detect Driver Drowsiness-An EEG Study," in *Proceedings of the 2023 10th International Conference on Biomedical and Bioinformatics Engineering*, 2023, pp. 147–153.
- [24] N. Fatih, A. D. Wibawa, M. H. Purnomo, and A. Mas, "Comparative Analysis of EEG-based Emotion Recognition between Male and Female Participants Using Hjorth Parameter," in *2023 International Electronics Symposium (IES)*, IEEE, 2023, pp. 179–185.