



Analisis *Band Power*, *Relative Power*, dan *Entropi* Sinyal EEG pada Kondisi Relaksasi dengan Mata Tertutup berdasarkan *Brain Region*

Iqbal Robiyana^{1,2,*}, Nurizati^{2,3}, Tedi Sumardi^{2,3}, Aditia Ramadhan^{2,3}, Muhamad Agung suhendra^{2,3}

¹⁾ Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Sunan Gunung Djati
Jl. A.H. Nasution No. 105, Cipadung, Cibiru, Kota Bandung, Jawa Barat 40614

²⁾ Lab. Cognitive Science, Instrumentation and Control (CIC)
Jl. Marsinu No.5, Dangdeur, Tegalkalapa, Kabupaten Subang, Jawa Barat, 41211

³⁾ Program Studi Fisika, Fakultas Sains, Universitas Mandiri
Jl. Marsinu No.5, Dangdeur, Tegalkalapa, Kabupaten Subang, Jawa Barat, 41211

*E-mail korespondensi: irobiyana@uinsgd.ac.id

Info Artikel:

Dikirim:
22 Agustus 2025
Revisi:
20 November
2025
Diterima:
23 Desember
2025

Kata Kunci:

EEG; Band Power;
Relative Power;
Entropy; Brain-
Computer
Interface (BCI)

Abstract

Electroencephalography EEG is a non-invasive neurophysiological technique widely used to investigate brain activity. This study analyzes EEG signal characteristics during an eyes-closed relaxation condition based on brain regions using band power, relative power, and entropy features. EEG data were collected from five healthy subjects using an Emotiv EPOC+ device with 14 channels following the international 10–20 system. The signals were preprocessed using bandpass filtering 1–50 Hz, baseline correction, and artifact rejection, then segmented into 2-second epochs for feature extraction. Band power was computed for delta 0.5–4 Hz, theta 4–8 Hz, alpha 8–13 Hz, and beta 13–30 Hz bands using Fast Fourier Transform FFT, while relative power and Shannon entropy were calculated to assess spectral distribution and signal complexity. The results show that the occipital region exhibits the highest average band power of 132.68 μV^2 , reflecting dominant alpha activity during eye closure, while the temporal region shows the highest average entropy value of 4.69, indicating higher signal complexity. Relative power values are relatively uniform across regions, with mean values ranging from 0.15 to 0.18, demonstrating consistent spectral proportions among subjects. This study provides quantitative baseline characteristics of EEG spectral power and entropy across brain regions during relaxation, which are valuable for regional EEG analysis and can support the development of adaptive Brain–Computer Interface BCI systems and neurophysiological condition assessment.

PENDAHULUAN

Elektroensefalografi (EEG) merupakan salah satu teknik neurofisiologis non-invasif yang digunakan untuk merekam aktivitas listrik otak melalui elektroda yang dipasang di kulit kepala [1]. Teknik ini telah menjadi alat utama dalam studi neurokognitif, diagnostik neurologis, dan

pengembangan antarmuka otak-komputer (BCI). Aktivitas otak yang terekam dalam sinyal EEG dapat dianalisis dalam domain frekuensi melalui pembagian spektral ke dalam band gelombang otak utama, yaitu delta (0.5–4 Hz), theta (4–8 Hz), alpha (8–13 Hz), beta (13–30 Hz), dan gamma (>30 Hz) [2-3].

Kondisi relaksasi, terutama saat mata tertutup, menghasilkan perubahan karakteristik gelombang otak, terutama peningkatan aktivitas alpha yang dominan di area oksipital dan parietal [4-5]. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa relaksasi disertai penutupan mata menyebabkan supresi aktivitas beta dan peningkatan gelombang alpha, yang berkaitan dengan kondisi mental yang tenang dan minim stimulasi visual [6-7]. Oleh karena itu, kondisi ini menjadi paradigma yang sering digunakan dalam studi EEG untuk mengevaluasi keadaan otak dalam kondisi default atau baseline [8].

Analisis kuantitatif terhadap sinyal EEG dapat dilakukan menggunakan berbagai parameter, di antaranya adalah band power (daya absolut dari masing-masing frekuensi), relative power (rasio daya tiap band terhadap total daya), serta entropi yang mengukur kompleksitas dan derajat ketidakteraturan sinyal EEG [9-10]. Kombinasi ketiga parameter ini memungkinkan evaluasi yang lebih menyeluruh terhadap dinamika aktivitas otak dalam berbagai kondisi.

Lebih lanjut, studi terhadap regionalisasi aktivitas otak, seperti area frontal, parietal, temporal, dan oksipital, memberikan informasi yang lebih mendalam mengenai peran masing-masing wilayah otak terhadap kondisi kognitif dan fisiologis tertentu [11]. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis band power, relative power, dan entropi sinyal EEG dalam kondisi relaksasi dengan mata tertutup berdasarkan pengelompokan area otak. Harapannya, hasil studi ini dapat berkontribusi pada pengembangan baseline fisiologis EEG serta penerapannya pada sistem BCI, deteksi stres, hingga pemetaan kondisi neuropsikologis. Meskipun analisis EEG pada kondisi relaksasi dengan mata tertutup telah banyak dilaporkan, sebagian besar penelitian sebelumnya cenderung menitikberatkan pada satu parameter analisis tertentu, seperti band power atau relative power, tanpa mengkaji keterkaitan antara fitur spektral dan kompleksitas sinyal secara bersamaan. Di sisi lain, analisis entropi sebagai representasi ketidakteraturan sinyal EEG umumnya dibahas secara terpisah dan belum banyak digunakan untuk membandingkan karakteristik sinyal antar region otak dalam satu kerangka analisis yang konsisten. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini melakukan analisis band power, relative power, dan entropi sinyal EEG secara bersamaan dengan mempertimbangkan pengelompokan region otak pada kondisi relaksasi dengan mata tertutup. Pendekatan ini dimaksudkan untuk memberikan deskripsi kuantitatif karakteristik EEG regional yang lebih lengkap, serta sebagai acuan awal dalam kajian EEG berbasis region otak, khususnya untuk aplikasi lanjutan seperti Brain–Computer Interface dan studi neurofisiologi dasar.

METODE PENELITIAN

Dataset dan Skema Eksperimen

Penelitian ini menggunakan data elektroensefalografi EEG yang diperoleh dari lima subjek sehat dalam kondisi relaksasi dengan mata tertutup. Perekaman sinyal EEG dilakukan menggunakan perangkat Emotiv EPOC+ dengan 14 kanal, yaitu AF3, F7, F3, FC5, T7, P7, O1, O2, P8, T8, FC6, F4, F8, dan AF4, yang dipasang sesuai dengan sistem internasional 10–20. Selama perekaman, subjek diminta untuk duduk dalam posisi nyaman di ruangan yang tenang dan minim gangguan selama lima menit. Sinyal EEG direkam dengan frekuensi sampling 128 Hz dan disimpan untuk proses analisis selanjutnya [12]. Sebelum pengambilan data, seluruh partisipan diberi penjelasan mengenai prosedur eksperimen dan diminta menandatangani persetujuan

partisipasi secara sadar. Secara umum untuk kanal yang digunakan dan skema eksperimen dapat dilihat pada Gambar 1 di bawah ini,



Gambar 1. Pengaturan eksperimen.

Pengolahan Data EEG

Pengolahan sinyal EEG dilakukan menggunakan perangkat lunak MATLAB. Tahap awal meliputi pemfilteran pita 1–50 Hz untuk menghilangkan komponen frekuensi rendah dan noise frekuensi tinggi, diikuti dengan koreksi baseline. Selanjutnya, dilakukan deteksi artefak melalui pengamatan visual terhadap sinyal mentah pada setiap kanal. Segmen sinyal yang menunjukkan fluktuasi amplitudo ekstrem atau pola tidak stabil yang mengindikasikan adanya artefak dikeluarkan dari proses analisis [13]. Untuk menjaga kualitas sinyal EEG yang dianalisis, dilakukan proses deteksi dan eliminasi artefak sebelum tahap ekstraksi fitur. Identifikasi artefak dilakukan melalui pengamatan visual terhadap sinyal EEG mentah pada setiap kanal, dengan memperhatikan adanya fluktuasi amplitudo yang tidak wajar atau pola sinyal yang tidak stabil, yang umumnya berkaitan dengan kedipan mata, aktivitas otot, atau gangguan teknis selama perekaman yang selanjutnya akan dikeluarkan dari proses analisis. Prosedur ini diterapkan secara konsisten pada seluruh subjek dan kanal guna memastikan homogenitas kualitas data EEG yang digunakan dalam penelitian ini. Selanjutnya, sinyal EEG disegmentasi ke dalam jendela berdurasi 2 detik tanpa overlap. Untuk setiap segmen dan kanal, dilakukan ekstraksi tiga jenis fitur utama, yaitu band power, relative power, dan entropy.

Sinyal EEG yang telah melalui tahap pra-pemrosesan kemudian disegmentasi ke dalam jendela berdurasi 2 detik tanpa tumpang tindih. Untuk setiap segmen dan kanal, dilakukan ekstraksi fitur band power, relative power, dan entropi. Band power dihitung pada pita frekuensi delta 0.5–4 Hz, theta 4–8 Hz, alpha 8–13 Hz, dan beta 13–30 Hz menggunakan transformasi Fourier cepat. Perhitungan dilakukan berdasarkan pers. (1) spektrum daya:

$$P_k = \sum_{f=f_1}^{f_2} |X(f)|^2 \quad (1)$$

dengan P_k merupakan band power untuk band ke $-k$, dan $X(f)$ adalah transformasi Fourier dari sinyal EEG [14]. Relative power diperoleh sebagai rasio daya masing-masing pita terhadap total daya sinyal dengan menggunakan pers. 2 berikut:

$$RP_k = \frac{P_x}{\sum_i P_i} \quad (2)$$

di mana RP_k adalah relative power untuk band ke $-k$, dan $\sum_i P_i$ merupakan total power seluruh band dalam segmen [15]. Entropy dihitung menggunakan pendekatan Shannon untuk menggambarkan tingkat kompleksitas sinyal EEG dengan menggunakan pers. (3)

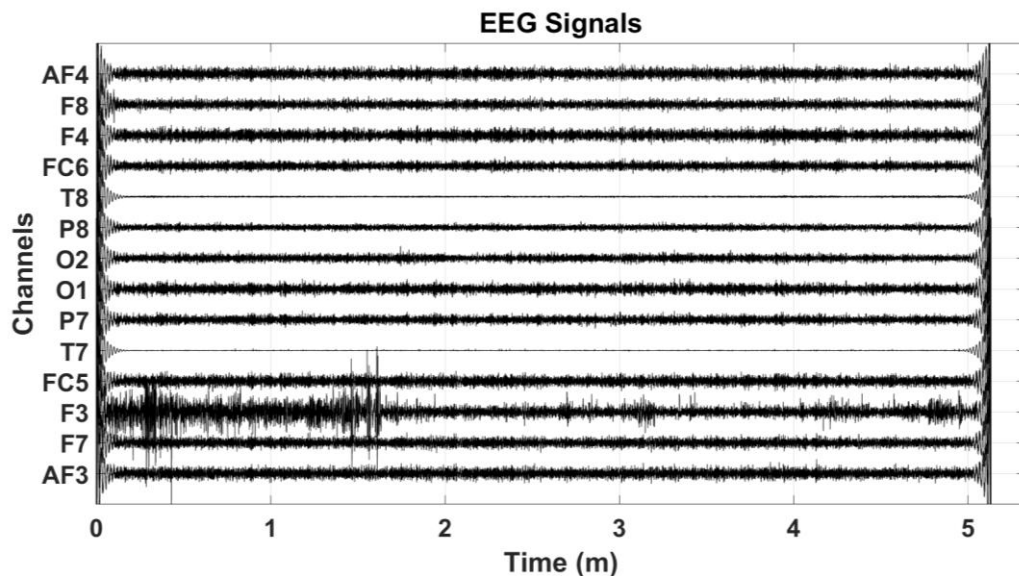
$$H = - \sum_{i=1}^n P_i \log_2 P_i \quad (3)$$

dengan p_i adalah probabilitas amplitudo EEG berada dalam bin ke $-i$, diperoleh dari histogram sinyal [16]. Untuk keperluan analisis spasial, kanal-kanal EEG dikelompokkan ke dalam empat region otak, yaitu frontal (*AF3, F7, F3, FC5, FC6, F4, F8, AF4*), temporal (*T7, T8*), parietal (*P7, P8*), dan oksipital (*O1, O2*). Nilai fitur pada setiap region diperoleh dengan merata-ratakan nilai dari kanal-kanal yang termasuk dalam region tersebut. Hasil analisis selanjutnya disajikan dalam bentuk tabel dan grafik untuk memudahkan interpretasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Rekaman sinyal EEG yang dikumpulkan dari lima subjek menunjukkan karakteristik temporal dan spasial yang khas sesuai dengan kondisi eksperimen, yaitu relaksasi dengan mata tertutup. Berdasarkan visualisasi pada Gambar 2, sebagian besar kanal menunjukkan pola yang stabil selama periode 5 menit perekaman. Namun, pada beberapa kanal frontal seperti F3, F7, dan FC5, terdeteksi fluktuasi amplitudo yang cukup besar terutama pada menit awal dan akhir, yang kemungkinan disebabkan oleh artefak gerakan seperti kedipan mata atau aktivitas otot wajah. Kanal oksipital (O1 dan O2), sesuai ekspektasi, memperlihatkan sinyal yang lebih bersih dan konsisten, mencerminkan peningkatan aktivitas alpha yang umum terjadi dalam kondisi mata tertutup.



Gambar 2. Raw data EEG.

Analisis kuantitatif dilakukan terhadap tiga jenis fitur utama: band power, relatif power, dan entropi. Tabel 1 menunjukkan bahwa rata-rata band power tertinggi terdapat di area oksipital $132.68 \mu V^2$, diikuti oleh area frontal $119.94 \mu V^2$, parietal $69.03 \mu V^2$, dan terendah di temporal $24.60 \mu V^2$. Pola ini konsisten dengan fenomena peningkatan gelombang alpha pada region oksipital saat individu berada dalam keadaan istirahat dan tidak menerima rangsangan visual. Nilai band power tertinggi dicapai oleh subjek S5 di area oksipital, mencapai $286.20 \mu V^2$, menunjukkan dominasi aktivitas ritmis di wilayah tersebut. Sebaliknya, area frontal menunjukkan variasi antar subjek yang relatif besar ($SD = 36.69 \mu V^2$), yang dapat dikaitkan dengan sensitivitas region ini terhadap noise atau artefak gerakan wajah. Relatif power yang ditampilkan dalam Tabel 2 menunjukkan distribusi yang seragam di seluruh region otak, dengan

nilai rata-rata berkisar antara 0.15 hingga 0.19. Standar deviasi yang sangat kecil (maksimum 0.01) mengindikasikan konsistensi antar subjek dalam proporsi energi tiap band frekuensi terhadap total sinyal. Ini memperkuat validitas pengambilan data dan keandalan fitur yang digunakan untuk analisis selanjutnya. Sementara itu, entropi sebagai indikator kompleksitas sinyal memberikan informasi tambahan yang menarik. Berdasarkan Tabel 3 dan Gambar 3 entropi, diketahui bahwa rata-rata entropi tertinggi tercatat pada area temporal (4.69), diikuti oleh frontal (4.40), parietal (4.35), dan oksipital (4.17). Subjek S1 dan S2 memperlihatkan nilai entropi yang relatif tinggi dan stabil di seluruh region, sedangkan subjek S4 memiliki entropi yang paling rendah, terutama di area oksipital (3.14), yang mengindikasikan tingkat regularitas atau ketenangan sinyal lebih tinggi. Hal ini dapat mencerminkan kondisi relaksasi yang lebih dalam atau tingkat noise yang lebih rendah pada subjek tersebut.

Tabel 1. Hasil Band Power

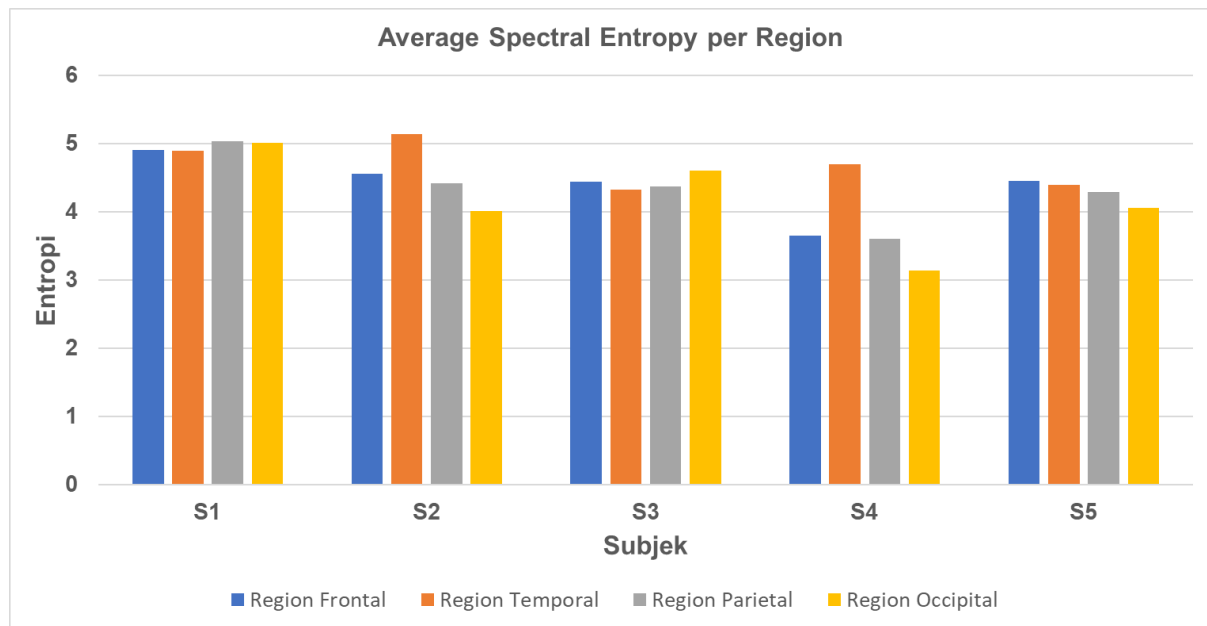
Subjek	Region			
	Frontal (μV^2)	Temporal (μV^2)	Parietal (μV^2)	Occipital (μV^2)
S1	60.71	21.65	33.99	54.98
S2	105.02	18.13	92.49	82.27
S3	121.79	37.03	65.02	82.83
S4	142.24	31.99	99.67	157.10
S5	169.93	14.18	53.98	286.20
mean	119.94	24.60	69.03	132.68
SD	36.69	8.58	24.33	102.00

Tabel 2. Hasil Relatif Power

Subjek	Region			
	Frontal (%)	Temporal (%)	Parietal (%)	Occipital (%)
S1	0.18	0.15	0.17	0.18
S2	0.19	0.16	0.19	0.19
S3	0.18	0.15	0.17	0.17
S4	0.18	0.15	0.17	0.18
S5	0.19	0.15	0.18	0.19
mean	0.18	0.15	0.18	0.18
SD	0.01	0.00	0.01	0.01

Tabel 3. Hasil Entropi

Subjek	Region			
	Frontal	Temporal	Parietal	Occipital
S1	4.91	4.90	5.04	5.01
S2	4.56	5.14	4.42	4.02
S3	4.44	4.33	4.37	4.61
S4	3.66	4.70	3.61	3.14
S5	4.46	4.39	4.29	4.06
mean	4.40	4.69	4.35	4.17
SD	0.41	0.31	0.45	0.63



Gambar 3. Hasil entropi pada tiap region.

Pembahasan

Hasil analisis sinyal EEG pada kondisi relaksasi dengan mata tertutup disajikan dalam bentuk nilai band power, relative power, dan entropi untuk setiap region otak. Penyajian hasil dilakukan secara kuantitatif melalui tabel yang memuat nilai rata-rata dan simpangan baku guna menggambarkan variasi antar subjek. Berdasarkan hasil perhitungan band power, region oksipital menunjukkan nilai rata-rata tertinggi dibandingkan region lainnya, diikuti oleh region frontal dan parietal, sedangkan nilai terendah ditemukan pada region temporal. Pola ini terlihat konsisten pada sebagian besar subjek dan mencerminkan dominasi aktivitas gelombang alpha pada area oksipital saat kondisi mata tertutup. Variasi nilai band power antar subjek relatif lebih besar pada region frontal, yang menunjukkan adanya perbedaan karakteristik sinyal pada wilayah tersebut. Hasil relative power menunjukkan distribusi yang relatif seragam pada seluruh region otak. Nilai rata-rata relative power berada pada rentang yang sempit, dengan variasi antar subjek yang kecil, yang mengindikasikan bahwa proporsi energi spektral sinyal EEG relatif stabil pada kondisi eksperimen yang sama. Sementara itu, hasil perhitungan entropi memperlihatkan perbedaan karakteristik kompleksitas sinyal antar region otak. Region temporal dan frontal cenderung memiliki nilai entropi yang lebih tinggi dibandingkan region parietal dan oksipital. Perbedaan ini menunjukkan variasi tingkat ketidakteraturan sinyal EEG antar wilayah otak meskipun seluruh subjek berada dalam kondisi relaksasi yang sama.

KESIMPULAN

Hasil analisis menunjukkan bahwa region oksipital memiliki nilai band power tertinggi dibandingkan region otak lainnya pada kondisi relaksasi dengan mata tertutup. Temuan ini sejalan dengan karakteristik fisiologis aktivitas otak, di mana gelombang alpha cenderung meningkat pada area oksipital ketika stimulasi visual diminimalkan. Dominasi aktivitas ini mencerminkan kondisi istirahat korteks visual yang umum dilaporkan dalam studi EEG resting state. Nilai band power pada region frontal dan parietal menunjukkan variasi antar subjek yang relatif lebih besar. Hal ini dapat berkaitan dengan sensitivitas region frontal terhadap aktivitas non-neural seperti kedipan mata atau ketegangan otot wajah, serta perbedaan kondisi internal subjek selama proses relaksasi. Meskipun seluruh subjek berada pada kondisi eksperimen yang sama, variasi tersebut menunjukkan adanya perbedaan respons individual yang wajar dalam sinyal EEG. Hasil relative power yang relatif seragam antar region dan subjek menunjukkan

bahwa proporsi energi spektral sinyal EEG tetap stabil meskipun terjadi perbedaan nilai band power absolut. Kondisi ini mengindikasikan bahwa perubahan dominasi frekuensi pada satu region tidak secara signifikan mengubah distribusi spektral total sinyal EEG. Dengan demikian, relative power dapat berfungsi sebagai parameter pendukung untuk mengevaluasi konsistensi sinyal antar subjek pada kondisi relaksasi. Analisis entropi memberikan informasi tambahan mengenai kompleksitas sinyal EEG yang tidak sepenuhnya tercermin pada parameter spektral. Nilai entropi yang lebih tinggi pada region temporal dan frontal menunjukkan tingkat ketidakteraturan sinyal yang lebih besar dibandingkan region oksipital. Hal ini dapat berkaitan dengan peran region tersebut dalam pemrosesan internal dan aktivitas neural yang tidak sepenuhnya tereduksi meskipun subjek berada dalam kondisi istirahat. Sebaliknya, nilai entropi yang lebih rendah pada region oksipital mencerminkan pola sinyal yang lebih teratur akibat dominasi aktivitas ritmis alpha. Secara keseluruhan, kombinasi analisis band power, relative power, dan entropi memungkinkan pemahaman yang lebih menyeluruh mengenai karakteristik sinyal EEG regional pada kondisi relaksasi. Pendekatan ini menunjukkan bahwa parameter spektral dan parameter kompleksitas memberikan informasi yang saling melengkapi. Temuan ini dapat menjadi dasar awal dalam kajian EEG berbasis region otak, khususnya untuk pengembangan dan evaluasi sistem Brain-Computer Interface yang memerlukan pemahaman karakteristik sinyal EEG dalam kondisi dasar.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami ucapkan terima kasih kepada Laboratorium Ilmu Kognitif, Instrumentasi, dan Kontrol (CIC), Departemen Fisika, Universitas Mandiri, atas penyediaan fasilitas penelitian dan dukungan teknis selama pelaksanaan penelitian ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada seluruh partisipan yang telah berpartisipasi secara sukarela dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. J. He, B. Liu, Y. Xu, and H. Zhang, "A Review on EEG Signal Acquisition and Processing for Brain-Computer Interface," *IEEE Reviews in Biomedical Engineering*, vol. 16, pp. 1–15, 2023.
- [2] S. Sanei and J. A. Chambers, *EEG Signal Processing*, Wiley-Interscience, 2007.
- [3] M. Teplan, "Fundamentals of EEG measurement," *Measurement Science Review*, vol. 2, no. 2, pp. 1–11, 2002.
- [4] H. Klimesch, "EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: a review and analysis," *Brain Research Reviews*, vol. 29, no. 2–3, pp. 169–195, 1999.
- [5] A. Delorme and S. Makeig, "EEGLAB: an open source toolbox for analysis of single-trial EEG dynamics," *Journal of Neuroscience Methods*, vol. 134, no. 1, pp. 9–21, 2004.
- [6] B. N. Cahn and J. Polich, "Meditation states and traits: EEG, ERP, and neuroimaging studies," *Psychological Bulletin*, vol. 132, no. 2, pp. 180–211, 2006.
- [7] P. L. Nunez and R. Srinivasan, *Electric Fields of the Brain: The Neurophysics of EEG*, 2nd ed., Oxford University Press, 2006.
- [8] R. Barry et al., "EEG differences between eyes-closed and eyes-open resting conditions," *Clinical Neurophysiology*, vol. 118, no. 12, pp. 2765–2773, 2007.
- [9] M. Xie et al., "Entropy measures in EEG signals: A review," *Entropy*, vol. 22, no. 4, pp. 1–35, 2020.
- [10] G. D. Smith et al., "Multiscale entropy in EEG for detecting mental fatigue," *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, vol. 67, no. 4, pp. 1071–1078, 2020.
- [11] A. V. Medvedev, "Does the resting state EEG reflect a true resting state of the brain?," *NeuroImage*, vol. 59, no. 1, pp. 905–921, 2012.

- [12] J. R. Wolpaw et al., "Brain–computer interfaces for communication and control," *Clin. Neurophysiol.*, vol. 113, no. 6, pp. 767–791, 2002.
- [13] A. Subasi, "EEG signal classification using wavelet feature extraction and a mixture of expert model," *Expert Syst. Appl.*, vol. 32, no. 4, pp. 1084–1093, 2007.
- [14] G. Pfurtscheller and F. H. Lopes da Silva, "Event-related EEG/MEG synchronization and desynchronization: basic principles," *Clin. Neurophysiol.*, vol. 110, no. 11, pp. 1842–1857, 1999.
- [15] F. Lotte et al., "A review of classification algorithms for EEG-based brain–computer interfaces," *J. Neural Eng.*, vol. 4, no. 2, pp. R1–R13, 2007.
- [16] D. K. Shannon, "A mathematical theory of communication," *Bell Syst. Tech. J.*, vol. 27, pp. 379–423, 1948.