

Pengembangan Aplikasi Pengolahan Sinyal Eeg Untuk Menganalisis Perubahan Frekuensi Gelombang Otak Setelah Relaksasi Aromaterapi

1st Putri Purnama Sari

Universitas Telkom

Fakultas Teknik Elektro

Bandung, Indonesia

putripurnama@student.telkomuniversit
y.ac.id

2nd Zahra Zahrani

Universitas Telkom

Fakultas Teknik Elektro

Bandung, Indonesia

zahraniyusup@student.telkomuniversit
y.ac.id

3rd Amira Arifatul Ilmi

Universitas Telkom

Fakultas Teknik Elektro

Bandung, Indonesia

amiraarifatulilmi@student.telkomunive
rsity.ac.id

Penelitian ini mengembangkan aplikasi desktop berbasis Python untuk mempermudah analisis sinyal EEG sebelum dan sesudah terapi aromaterapi, khususnya bagi pengguna non-teknis. Aplikasi ini memiliki fitur pemuatan data .csv, pembersihan nilai NaN/Inf, filter bandpass 1–40 Hz, transformasi FFT, visualisasi power spectrum dan spektrogram, analisis ICA, serta perhitungan rasio frekuensi alpha/beta dan theta/beta. Pengujian dilakukan melalui QA oleh 15 teknisi dan UAT oleh 3 mahasiswa psikologi. Hasil menunjukkan aplikasi berjalan stabil, mudah digunakan, dan mampu mendeteksi perubahan gelombang otak yang mencerminkan relaksasi, ditandai oleh peningkatan rasio alpha/beta dan theta/beta. Sistem ini mendukung evaluasi objektif efektivitas terapi aromaterapi secara kuantitatif.

Kata kunci: Aromaterapi, EEG, FFT, ICA, Power Spectrum.

I. PENDAHULUAN

Electroencephalography (EEG) merupakan metode pencatatan aktivitas listrik otak yang dihasilkan oleh interaksi neuron-neuron di otak, dan direkam melalui elektroda yang diletakkan di permukaan kulit kepala. Teknik ini bersifat non-invasif dan sangat berguna untuk menganalisis kondisi kognitif dan emosional seseorang secara real-time. Sinyal EEG berbentuk gelombang dengan frekuensi tertentu yang diklasifikasikan menjadi lima jenis, yaitu delta (0,5–4 Hz), theta (4–8 Hz), alpha (8–13 Hz), beta (13–30 Hz), dan gamma (>30 Hz). Gelombang delta berhubungan dengan tidur nyenyak, theta dengan relaksasi ringan, alpha dengan kondisi tenang dan sadar, beta dengan kewaspadaan atau stres, dan gamma dengan aktivitas kognitif kompleks. Dengan demikian, perubahan proporsi gelombang-gelombang ini mencerminkan kondisi mental pengguna pada saat tertentu. EEG telah menjadi instrumen penting dalam berbagai bidang, seperti kedokteran, psikologi, neuroscience, dan bioinformatika. Penggunaan EEG terus berkembang, tidak hanya untuk diagnosis klinis seperti epilepsi dan gangguan tidur, tetapi juga sebagai sarana penelitian dalam memahami proses kognitif dan emosi manusia. Salah satu pendekatan terbaru adalah pemanfaatan EEG dalam mengevaluasi efektivitas intervensi terapi non-farmakologis, termasuk salah satunya adalah terapi relaksasi berbasis aroma atau yang dikenal sebagai aromaterapi. Tren ini menunjukkan bahwa teknologi EEG kini tidak lagi terbatas pada aplikasi medis, tetapi telah merambah ke berbagai bidang yang menyentuh aspek kesejahteraan psikologis dan emosional

manusia. Aromaterapi merupakan metode terapi yang menggunakan minyak esensial dari tanaman aromatik untuk menghasilkan efek terapeutik. Aroma dari minyak esensial yang dihirup dapat merangsang sistem saraf pusat melalui sistem olfaktori, yang secara langsung terhubung dengan sistem limbik di otak. Sistem limbik, termasuk amigdala dan hipotalamus, adalah pusat emosi, memori, dan pengaturan respon fisiologis tubuh. Oleh karena itu, ketika seseorang menghirup aroma seperti lemongrass, terjadi reaksi neurofisiologis yang dapat menimbulkan efek menenangkan, menurunkan ketegangan otot, memperlambat denyut jantung, dan menurunkan tekanan darah. Berbagai studi menunjukkan bahwa aromaterapi memiliki potensi untuk meningkatkan kualitas tidur, mengurangi kecemasan, serta memperbaiki suasana hati. Akan tetapi, sebagian besar evaluasi efektivitas aromaterapi selama ini masih bergantung pada pendekatan subjektif seperti pengisian kuesioner atau wawancara, yang sangat tergantung pada persepsi individu dan sulit untuk diukur secara objektif. Metode ini juga menyulitkan proses validasi dan replikasi dalam konteks penelitian ilmiah. Untuk meningkatkan validitas hasil evaluasi tersebut, diperlukan pendekatan objektif berbasis sinyal fisiologis. Untuk menjawab tantangan tersebut, diperlukan pendekatan berbasis fisiologis seperti EEG yang mampu memberikan data objektif terkait kondisi otak sebelum dan sesudah intervensi aromaterapi. Dengan menggunakan EEG, perubahan gelombang otak dapat dianalisis secara langsung dan kuantitatif, misalnya melalui peningkatan rasio gelombang alpha terhadap beta atau theta terhadap beta. Rasio ini telah digunakan sebagai indikator kuantitatif dalam menilai tingkat relaksasi dan penurunan stres. Selain itu, EEG juga memiliki sensitivitas tinggi terhadap aktivitas otak di bagian frontal dan temporal, yang merupakan area yang sangat responsif terhadap perubahan emosional. Namun, pemanfaatan EEG tidak terlepas dari tantangan teknis, terutama dalam hal pengolahan data. Analisis sinyal EEG melibatkan proses kompleks mulai dari pembersihan sinyal, filter frekuensi, transformasi domain waktu ke frekuensi, visualisasi, hingga interpretasi data numerik. Aplikasi perangkat lunak seperti EEGLAB, OpenViBE, dan MNE-Python memang menyediakan fungsionalitas tersebut, tetapi membutuhkan pemahaman teknis dan kemampuan pemrograman. Hal ini menjadi kendala besar bagi pengguna dari latar belakang non-teknis seperti mahasiswa psikologi, praktisi kesehatan, atau terapis alternatif yang ingin

menggunakan EEG sebagai alat bantu evaluasi. Di sisi lain, penting juga untuk mempertimbangkan kebutuhan pengguna terhadap antarmuka yang sederhana, dokumentasi yang jelas, serta kecepatan akses terhadap hasil. Sebagian besar aplikasi EEG yang tersedia saat ini belum dirancang dengan mempertimbangkan keterbatasan pengguna non-teknis. Akibatnya, potensi pemanfaatan data EEG yang sebenarnya sangat kaya dan bermakna tidak dapat diakses secara optimal. Oleh karena itu, pengembangan sistem baru yang intuitif, ringkas, dan mampu melakukan seluruh proses analisis secara otomatis menjadi sangat relevan. Aplikasi ini dibangun dengan pendekatan modular, sehingga setiap proses dalam alur pengolahan sinyal EEG dapat dilakukan secara bertahap, logis, dan otomatis. Pengguna dapat memuat data EEG berformat .csv yang umum dihasilkan oleh perangkat EEG modern. Setelah itu, sistem akan memverifikasi struktur data dan mendeteksi kanal serta frekuensi sampling secara otomatis. Aplikasi dilengkapi fitur pembersihan data untuk menghapus nilai-nilai tidak valid seperti NaN dan Inf, yang jika tidak dibersihkan dapat mengganggu keakuratan analisis. Proses filtering dilakukan menggunakan bandpass filter dengan rentang 1–40 Hz untuk menghilangkan sinyal di luar rentang fisiologis otak. Analisis spektral dilakukan menggunakan Fast Fourier Transform (FFT), yang kemudian divisualisasikan dalam bentuk power spectrum dan spektrogram melalui metode Short-Time Fourier Transform (STFT). Visualisasi ini memberikan informasi mendalam tentang distribusi frekuensi sinyal sepanjang waktu, sangat penting untuk mengamati perubahan setelah intervensi. Untuk mendukung penghapusan artefak yang timbul akibat gerakan tubuh atau aktivitas lain, sistem menyertakan fitur Independent Component Analysis (ICA) yang memisahkan komponen sinyal EEG dari komponen non-neural. Fitur utama lain dari aplikasi adalah perhitungan otomatis rasio alpha/beta dan theta/beta, yang hasilnya ditampilkan secara visual dalam grafik serta disimpan dalam file output. Hasil analisis ini sangat penting dalam evaluasi tingkat relaksasi dan efektifitas terapi. Rasio yang meningkat setelah perlakuan menunjukkan adanya transisi aktivitas otak ke arah kondisi yang lebih tenang dan nyaman. Oleh karena itu, fitur ini menjadi salah satu aspek utama dalam validasi efek aromaterapi terhadap otak secara fisiologis. Aplikasi ini diuji melalui dua tahap pengujian: Quality Assurance (QA) dan User Acceptance Testing (UAT). QA dilakukan oleh 15 teknisi untuk menilai stabilitas, akurasi, dan konsistensi fitur sistem, sementara UAT dilakukan oleh tiga mahasiswa psikologi sebagai representasi pengguna non-teknis. Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa aplikasi mudah digunakan dan memberikan hasil yang valid sesuai kebutuhan penelitian. Dalam kedua tahap pengujian ini, aplikasi berhasil menunjukkan performa yang stabil dan dinilai sangat membantu dalam proses analisis data EEG secara umum. Sebagai validasi tambahan, dilakukan studi kasus terhadap satu partisipan yang menjalani sesi relaksasi dengan aromaterapi menggunakan minyak lemongrass. Data EEG partisipan dikumpulkan sebelum dan sesudah perlakuan. Hasil analisis menunjukkan adanya peningkatan rasio alpha/beta dan theta/beta, terutama pada kanal AF7, AF8, TP9, dan TP10, yang merupakan kanal frontal dan temporal yang berkaitan dengan aktivitas kognitif dan emosional. Temuan ini mendukung bahwa aplikasi tidak hanya berfungsi secara teknis, tetapi juga mampu menghasilkan data yang relevan secara fisiologis, mendukung hipotesis bahwa aromaterapi memberikan efek

positif terhadap aktivitas otak yang berkaitan dengan relaksasi. Dengan demikian, aplikasi ini menjadi sarana yang tepat untuk memfasilitasi analisis EEG dalam penelitian yang melibatkan relaksasi, emosi, atau intervensi non-farmakologis. Sistem ini dirancang untuk menjawab tantangan aksesibilitas dalam pengolahan data EEG dan membuka peluang bagi pengguna non-teknis untuk melakukan eksplorasi ilmiah secara mandiri. Diharapkan aplikasi ini dapat memperluas cakupan penggunaan EEG di kalangan akademisi lintas disiplin, serta menjadi alat bantu ilmiah yang mendukung validasi terhadap terapi berbasis aroma secara kuantitatif dan objektif, sekaligus mendorong integrasi antara teknologi dan intervensi psikologis berbasis bukti. Selain berfungsi sebagai alat bantu analisis EEG, aplikasi ini juga memiliki potensi dikembangkan lebih lanjut untuk berbagai keperluan, seperti integrasi dengan perangkat wearable EEG, pemantauan kondisi pasien secara jarak jauh, maupun otomatisasi laporan analisis untuk kebutuhan dokumentasi klinis. Perkembangan ke depan dapat diarahkan pada pengenalan pola berbasis machine learning untuk mengklasifikasikan kondisi mental pengguna berdasarkan data EEG yang dikumpulkan secara kontinu. Dengan arah pengembangan ini, aplikasi dapat berkembang menjadi alat bantu diagnosis dan terapi yang tidak hanya bermanfaat dalam penelitian, tetapi juga dalam pelayanan kesehatan mental masyarakat secara lebih luas.

II. KAJIAN TEORI

2.1 GELOMBANG OTAK DAN EEG

Elektroensefalografi (EEG) adalah teknik non-invasif untuk merekam aktivitas listrik otak melalui elektroda di kulit kepala. Gelombang otak dikelompokkan berdasarkan frekuensi: delta (0,5–4 Hz), theta (4–8 Hz), alpha (8–13 Hz), beta (13–30 Hz), dan gamma (>30 Hz). Alpha dan theta berkaitan dengan kondisi relaksasi, sedangkan beta menunjukkan fokus atau stres.

2.2 Sistem Olfaktori dan Aromaterapi

Sistem olfaktori mempengaruhi struktur limbik otak, seperti amigdala dan hipokampus, yang terkait dengan emosi dan memori. Minyak esensial seperti lemongrass mengandung senyawa aktif (misalnya sitral) yang dapat menstimulasi sistem GABA dan serotonergik, menciptakan efek relaksasi yang terukur melalui perubahan pola gelombang otak.

2.3 Pengolahan Sinyal EEG

Pengolahan sinyal EEG merupakan proses penting dalam penelitian neurofisiologi yang bertujuan untuk mengekstrak informasi bermakna dari data aktivitas listrik otak. Sinyal EEG yang direkam melalui elektroda di kulit kepala memiliki karakteristik kompleks, amplitudo rendah, dan sangat rentan terhadap gangguan (noise), sehingga memerlukan tahapan pemrosesan yang cermat sebelum dapat dianalisis secara ilmiah.

2.3.1 Preprocessing

Tahap preprocessing bertujuan untuk membersihkan data mentah dari nilai yang tidak valid dan gangguan frekuensi yang tidak diinginkan. Nilai-nilai seperti NaN (Not a Number) atau Inf (tak hingga) yang mungkin muncul akibat gangguan saat perekaman, perlu diidentifikasi dan disubstitusi agar tidak mengganggu proses analisis. Selain itu, filtering dilakukan untuk menyaring sinyal dalam rentang frekuensi yang relevan, misalnya 1–40 Hz, guna mengeliminasi komponen frekuensi yang tidak mencerminkan aktivitas otak, seperti noise dari otot atau alat

elektronik. Tahap ini memastikan bahwa sinyal EEG berada dalam kondisi optimal untuk diproses lebih lanjut.

2.3.2 Transformasi Frekuensi

Transformasi frekuensi adalah proses konversi sinyal EEG dari domain waktu ke domain frekuensi. Hal ini penting karena aktivitas otak ditandai oleh gelombang-gelombang dengan frekuensi spesifik seperti delta, theta, alpha, dan beta. Metode yang umum digunakan adalah Fast Fourier Transform (FFT), yang memungkinkan visualisasi distribusi energi sinyal dalam bentuk spektrum daya (power spectrum). Dengan melihat sebaran daya pada frekuensi tertentu, peneliti dapat mengidentifikasi gelombang dominan dan kondisi kognitif terkait (misalnya, relaksasi atau kewaspadaan).

2.3.3 Analisis Lanjutan

Analisis lanjutan dilakukan untuk memperoleh informasi yang lebih spesifik mengenai sumber sinyal dan kondisi neurofisiologis subjek. Salah satu teknik yang digunakan adalah Independent Component Analysis (ICA), yang berfungsi memisahkan sinyal EEG ke dalam komponen-komponen independen agar artefak seperti gerakan mata atau otot dapat diidentifikasi dan dihilangkan. Selain itu, dilakukan pula perhitungan rasio daya antar band frekuensi, seperti rasio theta terhadap beta atau alpha terhadap beta. Rasio ini digunakan sebagai indikator kuantitatif dalam mengevaluasi tingkat relaksasi atau stres seseorang.

III. METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan rekayasa perangkat lunak berbasis kebutuhan pengguna untuk mengembangkan aplikasi desktop pengolahan sinyal EEG (electroencephalography). Aplikasi ini dirancang guna memfasilitasi analisis frekuensi gelombang otak sebelum dan sesudah relaksasi menggunakan aromaterapi, dengan target pengguna dari kalangan non-teknis, khususnya mahasiswa psikologi. Proses pengembangan melibatkan tahapan identifikasi kebutuhan, perancangan sistem, implementasi fungsionalitas inti, serta validasi performa melalui uji teknis dan uji pengguna akhir. Aplikasi dibangun menggunakan bahasa pemrograman Python dengan antarmuka grafis berbasis pustaka PyQt5. Arsitektur sistem bersifat modular, mencakup fungsi utama seperti pembacaan data EEG berformat .csv, pembersihan nilai tidak valid (NaN dan Inf), penyaringan sinyal menggunakan filter bandpass pada rentang 1–40 Hz, serta transformasi sinyal ke domain frekuensi melalui Fast Fourier Transform (FFT). Selain itu, aplikasi menyediakan fitur visualisasi spektrum daya (power spectrum), tampilan time-frequency menggunakan spektrogram, serta analisis lanjutan berupa Independent Component Analysis (ICA) untuk pemisahan artefak, dan perhitungan rasio band frekuensi seperti theta/beta dan alpha/beta sebagai indikator kondisi relaksasi. Untuk memastikan fungsionalitas sistem berjalan sesuai spesifikasi, dilakukan pengujian dalam dua tahap. Pertama, tahap Quality Assurance (QA) menggunakan metode black-box testing, dilakukan oleh 15 penguji dari latar belakang teknik. Pengujian ini bertujuan mengevaluasi stabilitas aplikasi, keakuratan hasil keluaran, serta ketiadaan error atau malfungsi selama proses penggunaan. Kedua, dilakukan User Acceptance Testing (UAT) yang melibatkan tiga mahasiswa psikologi sebagai perwakilan pengguna akhir. Pengujian ini difokuskan pada kemudahan penggunaan antarmuka, kejelasan hasil visualisasi, serta kesesuaian fitur dengan kebutuhan analisis neurokognitif. Pengujian juga mencakup

evaluasi perubahan aktivitas gelombang otak akibat intervensi aromaterapi. Data EEG dikumpulkan dari satu partisipan dalam dua kondisi, yaitu sebelum dan sesudah inhalasi minyak esensial lemongrass. Masing-masing data dianalisis menggunakan aplikasi yang dikembangkan untuk mengidentifikasi perbedaan dalam distribusi frekuensi serta perhitungan rasio gelombang. Analisis ini bertujuan menilai apakah terjadi peningkatan gelombang theta atau alpha, serta penurunan gelombang beta, yang secara fisiologis berkaitan dengan keadaan relaksasi. Seluruh prosedur implementasi dan pengujian dilakukan dalam lingkungan sistem operasi Windows, dengan data EEG yang direkam melalui perangkat konsumen yang mendukung ekspor ke format .csv. Aplikasi diuji secara lokal tanpa konektivitas internet, dan seluruh fitur disesuaikan agar dapat dioperasikan tanpa memerlukan pengetahuan teknis dalam pemrograman maupun pemrosesan sinyal digital. Dengan pendekatan ini, sistem yang dikembangkan diharapkan dapat menjadi alat bantu analisis EEG yang praktis, terjangkau, dan mendukung riset berbasis bukti di bidang terapi komplementer.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Aplikasi yang dikembangkan dalam penelitian ini merupakan hasil dari upaya menyederhanakan proses yang selama ini dikenal rumit, yaitu pengolahan sinyal EEG. Dalam praktiknya, banyak orang yang merasa tertarik meneliti tentang aktivitas otak, namun tidak semua memiliki latar belakang teknis atau pemahaman mendalam tentang cara kerja perangkat lunak pengolahan sinyal. Umumnya, software untuk membaca dan menganalisis data EEG membutuhkan kemampuan khusus, seperti penguasaan bahasa pemrograman, pemahaman tentang filter sinyal, dan kemampuan membaca data numerik dalam bentuk yang kompleks. Aplikasi yang dikembangkan di sini berusaha untuk mengatasi semua tantangan itu, dengan cara menyediakan platform sederhana yang bisa dioperasikan oleh siapa pun, bahkan oleh pengguna yang baru pertama kali bekerja dengan data EEG. Penggunaan aplikasi dimulai dari tahap yang paling dasar, yaitu membuka file data EEG yang berbentuk CSV. Setelah file terbuka, data sinyal langsung ditampilkan dalam bentuk grafik yang menunjukkan aktivitas sinyal otak dalam satuan waktu. Pengguna tidak perlu mengatur banyak hal secara manual karena proses awal sudah otomatis. Jika dalam data tersebut terdapat gangguan, seperti nilai kosong atau nilai yang terlalu tinggi dan tidak terbaca, aplikasi secara otomatis akan mengenali dan memperbaikinya. Hal ini penting karena sering kali data EEG mentah mengandung noise atau ketidaksempurnaan yang bisa mengganggu proses analisis. Setelah data dibersihkan, aplikasi menyediakan fitur filtering, di mana pengguna dapat memilih rentang frekuensi tertentu yang ingin dianalisis. Proses ini penting karena dalam sinyal EEG terdapat berbagai gelombang dengan frekuensi berbeda-beda, dan masing-masing memiliki arti tersendiri. Meskipun pengguna mungkin tidak mengetahui detail teknis tentang jenis gelombang, mereka tetap bisa menggunakan fitur filter dengan mudah hanya dengan mengisi angka batas bawah dan atas, lalu menekan tombol "Filter". Hasil dari proses ini langsung ditampilkan dalam bentuk grafik baru yang lebih bersih dan lebih fokus pada bagian sinyal yang diinginkan. Salah satu keunggulan aplikasi ini terletak pada tampilan visual yang jelas. Tidak semua orang nyaman membaca data

dalam bentuk angka-angka panjang atau tabel statistik. Oleh karena itu, aplikasi ini menampilkan data EEG dalam bentuk grafik waktu, spektrum frekuensi, dan peta waktu-frekuensi (spectrogram) yang semuanya mudah dipahami. Dengan melihat bentuk grafik yang dihasilkan, pengguna bisa mendapatkan gambaran umum tentang kondisi sinyal EEG, apakah gelombangnya tenang, berfluktuasi, atau menunjukkan pola tertentu. Informasi ini menjadi dasar penting bagi peneliti untuk menarik kesimpulan lebih lanjut dalam studi mereka. Fitur lain yang tersedia dalam aplikasi adalah kemampuan untuk memilih bagian tertentu dari sinyal EEG yang ingin dianalisis lebih detail. Pengguna dapat menentukan waktu mulai dan waktu akhir dari sinyal yang dianggap penting, lalu fokus pada bagian tersebut untuk dianalisis lebih lanjut. Ini sangat berguna ketika pengguna hanya tertarik pada satu momen tertentu dari rekaman EEG, seperti saat subjek mulai rileks, atau saat stimulus tertentu diberikan. Setelah segmen dipilih, pengguna dapat menghitung rasio antara jenis gelombang otak tertentu, seperti perbandingan antara gelombang alpha dan beta, atau theta dan beta. Semua perhitungan ini dilakukan secara otomatis oleh aplikasi, tanpa perlu memasukkan rumus secara manual. Selama proses pengujian, aplikasi menunjukkan kinerja yang baik. Semua fitur dapat dijalankan dengan lancar, tidak ditemukan bug atau gangguan teknis yang berarti. File data dapat dibuka dengan cepat, proses filter berjalan tanpa kesalahan, dan hasil grafik tampil dalam waktu yang singkat. Bahkan saat diuji dengan data berdurasi panjang dan beberapa kanal EEG sekaligus, aplikasi tetap bisa berjalan dengan stabil. Ini membuktikan bahwa aplikasi sudah cukup matang untuk digunakan dalam konteks penelitian maupun pembelajaran. Dari sisi pengguna, tanggapan yang diberikan juga sangat positif. Beberapa mahasiswa dari jurusan psikologi yang mencoba menggunakan aplikasi ini mengaku bisa memahami alurnya hanya dalam waktu singkat. Mereka tidak perlu mempelajari teori tentang sinyal atau membaca dokumentasi teknis yang rumit, karena aplikasi sudah dirancang agar navigasinya logis dan instruksinya jelas. Fitur-fitur seperti "Open File", "Filter", "View Spectrum", dan "Calculate Ratio" semuanya ditampilkan secara langsung dan mudah ditemukan. Hal ini sangat penting karena memberikan rasa percaya diri kepada pengguna non-teknis bahwa mereka bisa melakukan analisis EEG sendiri tanpa harus bergantung pada orang lain. Secara umum, aplikasi ini berhasil menjalankan fungsinya sebagai alat bantu dalam pengolahan sinyal EEG. Ia mempermudah proses teknis, mengurangi hambatan pemahaman, dan menjadikan analisis data otak sesuatu yang bisa dijangkau oleh lebih banyak orang. Dengan aplikasi ini, proses yang dulunya dianggap hanya bisa dilakukan oleh ahli sinyal atau pakar neurofisiologi kini dapat dilakukan oleh mahasiswa, dosen, atau peneliti dari berbagai bidang. Aplikasi ini tidak hanya menjembatani kesenjangan antara teknologi dan pengguna, tetapi juga mendorong keterlibatan lebih luas dalam pemanfaatan data EEG untuk keperluan riset maupun edukasi. Maka dari itu, aplikasi ini dapat dikatakan berhasil sebagai inovasi sederhana yang menjawab kebutuhan nyata di dunia akademik dan penelitian saat ini.

REFERENSI

- [1] K. Sugimoto, H. Kurashiki, Y. Xu, M. Takemi, and K. Amano, "Electroencephalographic biomarkers of relaxation: A systematic review and meta-analysis," *bioRxiv*, Mar. 2024. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1101/2024.03.27.586444>
- [2] T. Ikeda, P. Sripian, Y. Nakagawa, C. Feng, T. Tazawa, S. Sakai, and M. Sugaya, "Study on the psychological states of olfactory stimuli using electroencephalography and heart rate variability," *Sensors*, vol. 23, no. 8, art. 4026, pp. 1–15, 2023. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/1424-8220/23/8/4026>
- [3] J. Her and M.-K. Cho, "Effect of aromatherapy on sleep quality of adults and elderly people: A systematic literature review and meta-analysis," *Complement. Ther. Med.*, vol. 60, art. 102739, pp. 1–12, 2021. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.ctim.2021.102739>
- [4] M. E. Reven, E. J. Bowles, K. Ablard, M. Peppers-Citizen, A. May-Fitzgerald, D. Joswiak, and B. Unger, "Essential criteria for reporting of aromatherapy-focused research in humans: An international Delphi consensus study protocol," *PLoS One*, vol. 20, no. 3, e0318379, Mar. 2025. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0318379>
- [5] K. H. Park, H. J. Kim, B. Oh, M. Seo, E. Lee, and J. Ha, "Evaluation of human electroencephalogram change for sensory effects of fragrance," *Skin Res. Technol.*, vol. 25, no. 4, pp. 526–531, Jul. 2019. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1111/srt.12682>
- [6] Y. Zhang, F. Li, J. Wang, Y. Gao, Y. Liu, and J. Qin, "Applied principles of EEG/iEEG analysis methods in neuroscience: Requirements and challenges," *Military Med. Res.*, vol. 10, no. 1, art. 11, pp. 1–15, Jan. 2023. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1186/s40779-023-00502-7>
- [7] H.-L. Wei, Y. Guo, F. He, and Y. Zhao, "EEG signal processing techniques and applications—2nd edition," *Sensors*, vol. 25, no. 3, art. 805, pp. 1–8, Jan. 2025. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3390/s25030805>
- [8] A. Chaddad, Y. Wu, R. Kateb, and A. Bouridane, "Electroencephalography signal processing: A comprehensive review and analysis of methods and techniques," *Front. Neurosci.*, vol. 17, art. 1178650, pp. 1–20, 2023. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/1424-8220/23/14/6434>
- [9] A. Delorme and S. Makeig, "EEGLAB: an open-source toolbox for analysis of single-trial EEG dynamics including independent component analysis," *J. Neurosci. Methods*, vol. 134, no. 1, pp. 9–21, Mar. 2004. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2003.10.009>
- [10] R. Katmah, F. Al-Shargie, U. Tariq, F. Babiloni, F. Al-Mughairbi, and H. Al-Nashash, "A review on mental stress assessment methods using EEG signals," *Sensors*, vol. 21, no. 15, art. 5043, pp. 1–18, Jul. 2021. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3390/s21155043>
- [11] A. J. Farrar and F. C. Farrar, "Clinical aromatherapy," *Nurs. Clin. North Am.*, vol. 55, no. 4, pp. 489–504, Dec. 2020. [Online]. Available: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33131627/>

- [12] B. Ali, N. Al-Wabel, S. Shams, A. Ahamad, and S. A. Khan, "Essential oils used in aromatherapy: A systemic review," *Asian Pac. J. Trop. Biomed.*, vol. 5, no. 8, pp. 589–598, Jul. 2015. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221169115001033>
- [13] A. J. Casson, "Wearable EEG and beyond," *Biomed. Eng. Lett.*, vol. 9, no. 1, pp. 53–71, Jan. 2019. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1007/s13534-018-00093-6>

