

**ANALISIS SINYAL EEG TERHADAP PEMILIHAN KATA
ADIKSI PADA REMAJA MENGGUNAKAN METODE *EVENT
RELATED POTENTIAL***

PROPOSAL TESIS



**TOBIAS MIKHA SULISTIYO
12024002503**

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS BIOSAINS
UNIVERSITAS KATOLIK INDONESIA ATMA JAYA
JAKARTA
2025**

HALAMAN PERSETUJUAN

Judul Tesis : Analisis Sinyal *Electroencephalography (EEG)* Terhadap Pemilihan Kata Adiksi Pada Remaja Menggunakan Metode *Event Related Potential (ERP)*

disusun oleh : Tobias Mikha Sulistiyo

disetujui untuk diuji pada ujian Proposal Tesis Program Magister Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya.

Pembimbing Utama

Co - Pembimbing

Dr. Ir. Karel Octavianus Bachri, S.T., M.T.

Dr. Ir. Catherine Olivia Sereati, S.T.,
M.T

Tanggal: 23 Juli 2025

Tanggal: 23 Juli 2025

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Masa remaja merupakan periode perkembangan yang sangat menentukan arah kehidupan seseorang. Pada tahap ini, individu mengalami berbagai transformasi besar baik secara psikologis, biologis, maupun sosial (1). Perubahan-perubahan tersebut sering kali membuat remaja lebih rentan terlibat dalam perilaku-perilaku berisiko, salah satunya adalah kecenderungan terhadap perilaku adiktif seperti penyalahgunaan narkoba (2). Konsekuensi dari perilaku adiksi pada usia remaja tidak hanya berdampak pada kesehatan fisik, tetapi juga dapat mengganggu fungsi otak, menurunkan prestasi belajar, memicu masalah kejiwaan, serta merusak relasi sosial dengan keluarga dan lingkungan (3). Mengingat dampaknya yang luas dan mendalam, upaya untuk mengidentifikasi tanda-tanda awal kecenderungan adiksi sejak dini menjadi sangat penting, sehingga intervensi dapat dilakukan sebelum perilaku tersebut berkembang lebih jauh.

Seiring kemajuan ilmu pengetahuan, berbagai pendekatan telah dikembangkan untuk membantu mendeteksi potensi risiko adiksi. Salah satu teknik yang cukup menjanjikan adalah pemantauan aktivitas otak melalui *electroencephalography* (EEG) (4). EEG sendiri merupakan metode perekaman aktivitas listrik otak yang memiliki banyak keunggulan, seperti non-invasif, biaya yang relatif terjangkau, serta mampu menangkap dinamika aktivitas otak dengan resolusi waktu yang tinggi (4). Dengan EEG, peneliti dapat memperoleh gambaran mengenai bagaimana otak memproses stimulus tertentu, sehingga memungkinkan untuk mengevaluasi respons kognitif dan emosional secara objektif.

Beberapa studi telah menunjukkan bahwa EEG dapat dimanfaatkan untuk mengungkap perbedaan pola aktivitas otak antara individu dengan kecenderungan adiktif dan individu yang tidak memiliki kecenderungan tersebut (2). Sebagai contoh, penelitian yang dilakukan oleh Wijayanto et al. (2024) menggunakan dataset *TelUnisba Neuropsychology EEG* berhasil mendeteksi perbedaan respons otak remaja terhadap rangsangan visual dengan menganalisis *Visual Evoked Potentials* (VEP) (4,5). Penelitian ini membuka jalan bagi pengembangan metode deteksi dini berbasis aktivitas otak. Akan tetapi, pendekatan yang digunakan dalam studi tersebut belum secara khusus mengimplementasikan metode *Event-Related Potential* (ERP), padahal ERP diketahui memiliki keunggulan dalam mengamati respons otak terhadap stimulus tertentu dengan presisi temporal yang lebih baik, khususnya yang berkaitan dengan respon, persepsi, dan pemrosesan informasi (6).

Lebih jauh lagi, penelitian yang secara spesifik menggunakan ERP untuk mengeksplorasi respons otak terhadap stimulus linguistik yang mengandung terminologi adiksi masih sangat terbatas (7). Padahal, kemampuan seseorang dalam mengenali, mengevaluasi, dan memberikan reaksi terhadap kata-kata yang berhubungan dengan adiksi dapat memberikan petunjuk penting mengenai pola pikir dan potensi risiko perilaku adiktif (8). Penelitian di ranah ini tidak hanya dapat mengisi kekosongan literatur, tetapi juga berpotensi mendukung upaya deteksi dini dan perancangan intervensi yang lebih tepat sasaran bagi remaja.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis sinyal EEG pada remaja saat mereka memilih kata-kata yang berkaitan dengan adiksi, dengan menggunakan metode *Event-Related Potential* (ERP). Diharapkan hasil penelitian ini dapat memperkaya pemahaman mengenai mekanisme neurokognitif yang melatarbelakangi pemilihan kata-kata adiktif, sekaligus berkontribusi pada strategi deteksi dan pencegahan dini risiko adiksi di kalangan remaja.

1.2 Pertanyaan Penelitian

Berdasarkan pembatasan masalah di atas. Pertanyaan penelitian yang diajukan adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pola aktivitas otak remaja berisiko dan normal dalam merespons stimulus pemilihan terminologi terkait adiksi?
2. Bagaimana respons kognitif remaja berisiko dan normal terhadap stimulus pemilihan terminologi terkait adiksi?
3. Bagaimana pola aktivitas otak remaja berisiko dan normal jika dianalisis menggunakan komponen *Event-Related Potential* (ERP)?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan pertanyaan penelitian tersebut, tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengidentifikasi pola aktivitas otak remaja berisiko dan normal saat merespons stimulus pemilihan terminologi terkait adiksi.
2. Menganalisis respons kognitif remaja berisiko dan normal terhadap stimulus pemilihan terminologi terkait adiksi, meliputi akurasi, waktu reaksi, dan pengendalian impuls.
3. Mengeksplorasi pola aktivitas otak remaja berisiko dan normal menggunakan analisis *Event-Related Potential* (ERP) untuk memahami perbedaan komponen ERP yang muncul akibat stimulus terkait adiksi.

1.4 Urgensi Penelitian

Penelitian ini memiliki urgensi yang penting dalam konteks pengembangan pemahaman mengenai pemilihan kata adiksi terutama di kalangan remaja. Penelitian ini bertujuan untuk menggali lebih dalam mengenai mekanisme otak yang terlibat dalam respons terhadap pemilihan kata adiksi melalui pendekatan neuropsikologis.

Salah satu kontribusi utama dari penelitian ini adalah pemanfaatan teknologi EEG untuk mempelajari aktivitas otak pada individu yang rentan terhadap narkoba dan individu normal. Teknologi EEG memungkinkan analisis mendalam terhadap pola aktivitas otak, khususnya pada bagian otak yang berhubungan dengan pengambilan keputusan dan kontrol impuls. Dengan menggabungkan EEG dengan metode *Go/No-Go Association Task* (GNAT), penelitian ini berpotensi memberikan wawasan baru mengenai bagaimana respons otak terhadap stimulus yang berhubungan dengan pemilihan kata terkait adiksi.

1.5 Batasan Masalah Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan mempertimbangkan batasan-batasan tertentu untuk menjaga fokus dan keakuratan hasil. Berikut adalah batasan masalah yang menjadi ruang lingkup penelitian ini:

1. Responden

Penelitian difokuskan pada remaja. Kategori remaja dipilih karena merupakan fase kritis perkembangan kognitif dan emosional yang rentan terhadap pengaruh adiksi.

2. Perangkat perekaman EEG

Perangkat yang digunakan untuk merekam aktivitas otak adalah EEG dengan 16 kanal. Pemilihan perangkat ini didasarkan pada kemampuannya untuk menganalisis aktivitas listrik otak secara menyeluruh. Perangkat ini dapat mencakup area frontal hingga oksipital, sehingga memungkinkan pemetaan aktivitas saraf dan respons terhadap stimulus yang lebih luas.

3. Platform GNAT

Penelitian ini memanfaatkan platform web GNAT yang dapat diakses melalui <https://go-no-go.vercel.app/> untuk menyajikan stimulus kepada responden. Platform ini dirancang untuk menyediakan tes GNAT yang terdiri atas beberapa sesi pelatihan dan pengujian. Stimulus yang disajikan berupa pasangan kata yang berkaitan dengan narkoba serta pasangan kata lainnya. Responden diminta untuk memilih pasangan kata sesuai instruksi pada setiap sesi yang telah disediakan.

4. Dataset

Penelitian ini menggunakan *TelUnisba Neuropsychology EEG Dataset* (TUNDA) sebagai sumber utama data *elektroensefalografi* (EEG). Dataset ini diperoleh

dari repositori resmi Telkom University Dataverse dan tersedia secara publik melalui DOI: <https://doi.org/10.34820/FK2/GW8JIV>. Pemilihan dataset ini didasarkan pada ketersediaannya yang telah terstruktur serta diperoleh dari subjek dengan latar belakang neuropsikologis yang sesuai dengan fokus penelitian.

Sebagai salah satu keterbatasan dalam studi ini, dataset TUNDA tidak melalui proses *event-related potential* (ERP) dalam tahap pengumpulan maupun pra-pemrosesan data. Dengan demikian, penelitian ini membandingkan hasil pengolahan sinyal EEG antara metode konvensional tanpa pendekatan ERP dan metode berbasis ERP yang diusulkan dalam penelitian. Ketiadaan informasi ERP dalam data asli menjadi batasan dalam mengevaluasi respons spesifik terhadap stimulus, yang pada akhirnya dapat memengaruhi akurasi dan interpretasi hasil klasifikasi.

1.6 Sistematika Penulisan

Subbab ini menjelaskan tentang isi dari bagian-bagian Bab yang ditulis. Berikut adalah sistematika penulisan tesis ini:

Bab I: Pendahuluan

Menjelaskan latar belakang, pertanyaan penelitian, tujuan penelitian, urgensi penelitian, dan batasan masalah penelitian.

Bab II: Tinjauan Pustaka

Menguraikan teori-teori yang relevan, penelitian sebelumnya, dan konsep-konsep yang mendasari penelitian ini.

Bab III: Metodologi Penelitian

Menjelaskan desain penelitian, populasi dan sampel, instrumen penelitian, serta prosedur pengumpulan data.

Bab IV: Hasil dan Pembahasan

Menyajikan hasil analisis data, interpretasi hasil, dan diskusi mengenai temuan penelitian.

Bab V: Kesimpulan dan Saran

Menyimpulkan hasil penelitian dan memberikan saran untuk penelitian selanjutnya serta implikasi praktis dari penelitian ini.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Tentang EEG Secara Umum

Electroencepalography (EEG) merupakan perangkat yang digunakan untuk mengukur sinyal elektrik dari otak. Sensor pada EEG mengukur perubahan sinyal elektrik yang dihasilkan dari aktivitas neuron di permukaan otak dalam rentang waktu tertentu (9). Elektroda sinyal EEG diletakkan pada kulit kepala untuk mendeteksi aktivitas neuron di *cerebral cortex*. EEG memberikan gambaran tentang aktivitas listrik di otak yang ditampilkan dalam bentuk gelombang dengan frekuensi, amplitudo, dan bentuk yang bervariasi. EEG dapat digunakan untuk mengukur aktivitas otak saat seseorang melakukan suatu tugas atau saat menerima rangsangan tertentu, maupun untuk mengukur aktivitas otak spontan ketika tidak ada peristiwa khusus yang terjadi (10).

Meskipun EEG memiliki potensi yang luas di berbagai bidang, penggunaan EEG diluar penelitian masih sangat terbatas. Penyebab utamanya karena pemasangan perangkat yang cukup lama dan mobilitas yang terbatas karena banyaknya kabel yang terkoneksi. Seiring berkembangnya teknologi kedokteran, peralatan EEG mulai dikembangkan supaya lebih mudah digunakan dalam setiap waktu.

Dengan berkembangnya teknologi EEG, penelitian menggunakan EEG juga semakin luas. *American Academy of Neurology (AAN)* dan *American Clinical Neurophysiology Society (ACNS)* menyatakan bahwa *Quantitative EEG (QEEG)* dapat melengkapi EEG dalam beberapa situasi seperti: skrining gejala epilepsi, pemantauan kejang pada pasien yang dirawat di *Intensive Care Unit (ICU)*, deteksi komplikasi selama operasi, penilaian tingkat keparahan demensia dan ensefalopati, serta penggunaan EEG selama rawat jalan (11).

2.2 Pengembangan Penelitian EEG

Seiring meningkatnya minat terhadap teknologi EEG, penelitian lanjutan mulai berfokus tidak hanya pada aspek klinis, tetapi pemanfaatan dalam bidang non-medis. Salah satu pengembangan teknologi EEG adalah pengembangan dalam *Brain Computer Interface (BCI)*. Pemanfaatan BCI yang berkembang pesat adalah penggunaan EEG untuk deteksi emosi (*emotion recognition*). Teknologi EEG dipilih karena memiliki keunggulan, diantaranya bersifat non-invasif dan mampu merespons rangsangan eksternal secara langsung. Kecepatan respon ini menjadikan EEG berguna untuk mengamati dinamika aktivitas otak secara *real time* (12).

Dalam penelitian yang berjudul *Emotional Classification of EEG Signal using Image Encoding and Deep Learning* oleh Anjana K., Ganesan M., et al., dijelaskan bahwa teknologi EEG dapat dikombinasikan dengan algoritma *machine learning* dan *deep learning* untuk meningkatkan akurasi dalam klasifikasi emosi. Pada penelitian tersebut, sinyal EEG diubah menjadi representasi citra menggunakan metode seperti *spectrogram* dan *Hilbert-Huang Transform (HHT)* sebagai tahap praproses sebelum diklasifikasikan menggunakan model pembelajaran mendalam (13).

Untuk memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai tren dan pendekatan yang digunakan dalam penelitian berbasis EEG, berikut disajikan Tabel 1 yang merangkum sejumlah *literature survey* dan studi terkini terkait pemanfaatan EEG dalam berbagai konteks penelitian.

Tabel 1. Literature survey

Paper Title	Author	Main Result	Limitation
Adolescent development of inhibitory control and substance use vulnerability: A longitudinal neuroimaging study	Quach et al. (2020)	Menunjukkan bahwa perkembangan kontrol inhibisi pada remaja memprediksi kerentanan terhadap penggunaan zat yang menunjukkan risiko adiksi.	Tidak menggunakan ERP secara spesifik dan lebih fokus pada fMRI.
Cannabis exposure during critical windows of development: epigenetic and molecular pathways implicated in neuropsychiatric disease	Smith et al. (2020)	Penggunaan ganja selama masa remaja berdampak pada mekanisme epigenetik dan risiko neuropsikiatrik jangka panjang.	Lebih banyak kajian hewan dan epigenetik, bukan sinyal EEG manusia.
Unlocking Early Detection and Intervention Potential: Analyzing Visual Evoked Potentials in Adolescents/ Teenagers with Narcotics Abuse Tendencies from the TelUnisba Neuropsychology Electroencephalograph Dataset	Wijayanto et al. (2024)	VEP berhasil mendeteksi respons visual berbeda pada remaja berisiko adiksi.	Belum menggunakan ERP berbasis linguistik.
Event Related Potentials Extraction using Low-rank Tensor Decomposition	Bonab, Shamsollahi (2022)	Mengusulkan metode baru berbasis <i>tensor decomposition</i> untuk mengekstrak ERP secara lebih efektif dari EEG.	Belum diterapkan pada kasus respons terminologi adiksi atau remaja dan hanya fokus pada teknik sinyal.

2.3 Penelitian Tentang Neuropsikologi

Dalam lima tahun terakhir, penelitian neuropsikologi semakin berkembang dengan memanfaatkan teknologi EEG untuk memahami fungsi otak dalam berbagai kondisi psikologis. Salah satu pendekatan yang menonjol dalam beberapa tahun terakhir adalah penggunaan *neurofeedback* berbasis EEG. Penggunaan EEG bertujuan untuk memantau aktivitas fungsi otak dan membantu pengobatan gangguan mental melalui perubahan perilaku.

Dehghani et al. (2022) melakukan penelitian menggunakan *neurofeedback* berbasis konektivitas EEG dengan simultan *functional Magnetic Resource Imaging (fMRI)* untuk regulasi emosi, menunjukkan peningkatan konektivitas otak pada area terkait regulasi emosi seperti amigdala dan insula. Dalam penelitian ini, responden diminta untuk mengenang memori positif sambil menjalani sesi *neurofeedback* berbasis konektivitas EEG secara simultan dengan perekaman fMRI. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *neurofeedback* berbasis konektivitas secara signifikan meningkatkan perubahan sinyal serta konektivitas di wilayah otak yang terkait dengan regulasi emosi, seperti *amigdala (lobus temporal)*, *insula (lobus frontal-temporal)*, *thalamus (lobus frontal-parietal)*. Selain itu, ditemukan peningkatan asimetri frontal EEG, yang merupakan biomarker penting dalam pengaturan emosi dan pengobatan gangguan seperti *Post-Traumatic Stress Disorder (PTSD)*, kecemasan, dan depresi (14).

2.4 Penelitian Tentang Adiksi

Adiksi merujuk pada kondisi ketergantungan yang berulang terhadap suatu substansi atau perilaku, yang dapat mempengaruhi fungsi otak dan perilaku individu. Penelitian dalam lima tahun terakhir menunjukkan bahwa EEG dapat digunakan untuk memahami perubahan neurofisiologis yang terkait dengan adiksi.

Sebagai contoh, studi oleh Tian et al. (2024) (15) mengembangkan model prediktif berbasis konektivitas EEG untuk mendeteksi keinginan (*craving*) pada pengguna *methamphetamine*, menunjukkan bahwa perubahan konektivitas otak dapat mengindikasikan tingkat keinginan terhadap zat tersebut. Studi ini memperkenalkan model prediktif baru yang memanfaatkan konektivitas sumber dari EEG saat istirahat untuk memprediksi *craving methamphetamine* pada individu dengan *methamphetamine use disorder (MUD)* yang sedang dalam masa rehabilitasi. Hasil ini memperkaya pemahaman kognitif yang terlibat dalam *craving*, seperti kontrol kognitif, perhatian, dan reaktivitas reward (15). Analisis ini menunjukkan kemampuan EEG dalam meneliti *craving*, yang

dapat mendorong pengembangan pemahaman dan terapi yang lebih tepat sasaran untuk gangguan penggunaan zat.

2.5 Peluang Penelitian (*Research Gap*)

Meskipun terdapat berbagai penelitian yang membahas penggunaan EEG dalam konteks neuropsikologi dan adiksi, sebagian besar studi masih terfokus pada aspek craving terhadap zat adiktif dan konektivitas otak secara umum, terutama pada populasi dewasa atau pengguna aktif. Belum banyak penelitian yang secara spesifik menyoroti bagaimana otak remaja merespons kata-kata bertema adiksi, terutama dalam konteks persepsi bahasa dan pemrosesan kognitif awal menggunakan pendekatan *Event-Related Potential* (ERP).

Event-Related Potential merupakan metode yang sensitif untuk mendeteksi perubahan kecil dalam aktivitas otak yang terjadi sebagai respons terhadap stimulus tertentu, seperti kata. Namun, penerapannya dalam mengkaji pemilihan terminologi adiksi pada populasi remaja masih sangat terbatas. Padahal, masa remaja merupakan fase kritis dalam perkembangan kognitif dan emosional yang sangat rentan terhadap pengaruh informasi bertema adiksi, baik dari media, lingkungan sosial, maupun pengalaman pribadi.

Dengan demikian, masih terdapat celah penelitian yang signifikan untuk menginvestigasi bagaimana stimulus linguistik bertema adiksi diproses oleh otak remaja, terutama dalam konteks deteksi dini potensi risiko adiksi. Penelitian ini juga dapat berkontribusi dalam pengembangan biomarker kognitif berbasis EEG yang dapat digunakan untuk intervensi dini dalam pencegahan adiksi di kalangan remaja.

BAB 3

LANDASAN TEORI

Pada penelitian yang berjudul "*Analisis Sinyal EEG terhadap Pemilihan Kata Adiksi pada Remaja Menggunakan Metode Event-Related Potential*," bab ini menyajikan landasan teori yang membahas secara mendalam konsep-konsep yang berkaitan langsung dengan topik dan metodologi penelitian. Teori-teori yang diuraikan mencakup *Electroencephalograph (EEG)*, *Go/No-Go Association Task (GNAT)*, *Independent Component Analysis (ICA)*, *Event-Related Potential (ERP)*, serta metode *filtering* dalam pengolahan sinyal.

Setiap subbab dalam bab ini menjelaskan dasar teoritis dari metode dan teknik yang digunakan, serta menghubungkannya dengan konteks penelitian yang difokuskan pada analisis respon otak terhadap pemilihan terminologi adiksi pada remaja. Pemaparan teori ini bertujuan untuk memberikan kerangka konseptual yang kuat, yang mendasari langkah-langkah analisis yang dilakukan dalam penelitian ini.

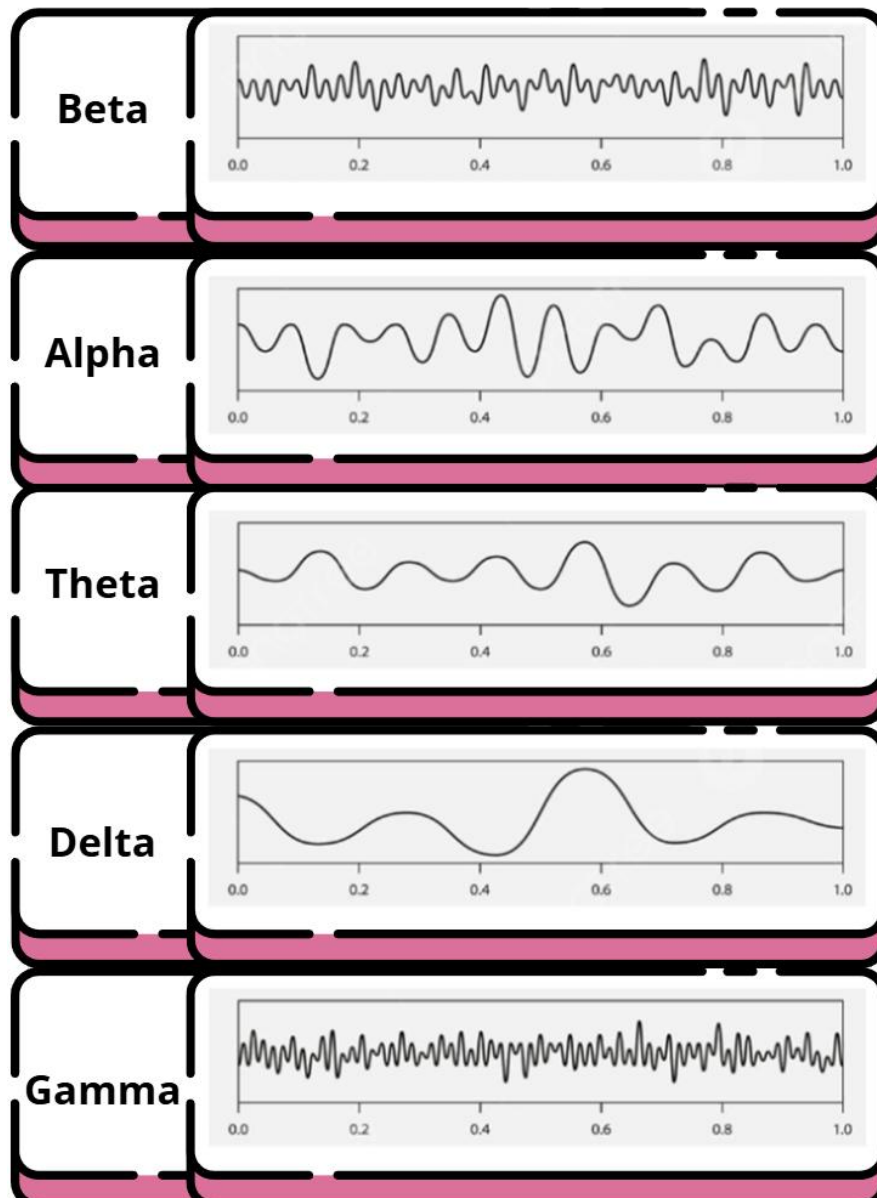
3.1 Teori Dasar Sinyal Otak dan EEG

3.1.1 Pengertian EEG

EEG merupakan teknik elektrofisiologis yang digunakan untuk merekam aktivitas listrik dari otak manusia. Teknik ini pertama kali dikembangkan oleh Hans Berger pada tahun 1929, yang merekam aktivitas listrik otak manusia dan memperkenalkan istilah "elektroensefalogram". St. Louis and Frey. Dengan keunggulan sensitivitas temporal, EEG efektif untuk menilai fungsi otak yang bersifat dinamis (16). Salah satu aplikasi utamanya adalah dalam menilai pasien dengan dugaan kejang, epilepsi, atau gangguan neurologis atipikal. Sebagian besar kasus epilepsi, rekaman EEG selama *epileptic seizure* menunjukkan pola aktivitas listrik yang berbeda.

3.1.2 Karakteristik Sinyal EEG

Gambar 1 menunjukkan Sinyal EEG memiliki beberapa karakteristik berupa frekuensi yang diklasifikasikan dalam beberapa rentang frekuensi yaitu (10):



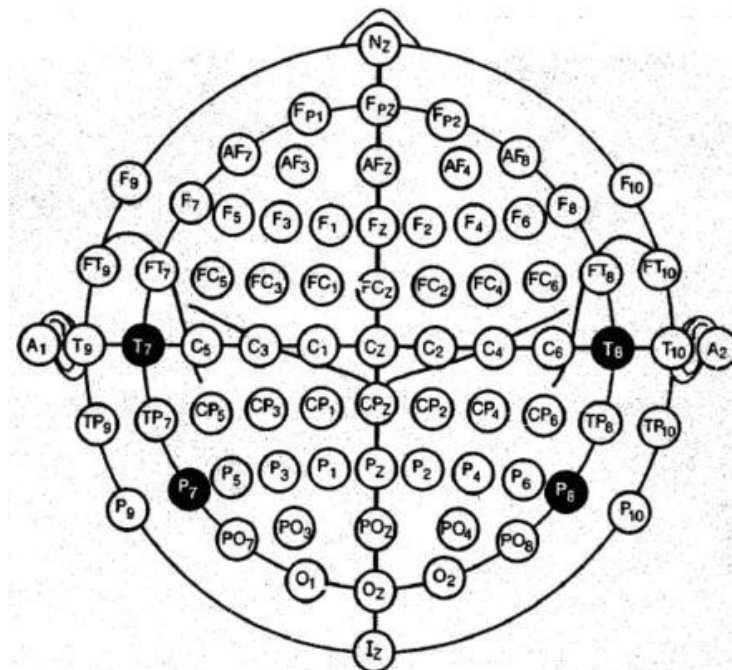
Gambar 1. Sinyal frekuensi pada otak

- Frekuensi 0.5 – 4 Hz (delta): berkaitan dengan tidur yang nyenyak
- Frekuensi 4 – 8 Hz (theta): berkaitan dengan relaksasi dan tidur ringan
- Frekuensi 8 – 12 Hz (alpha): berkaitan dengan relaksasi
- Frekuensi 12 – 30 Hz (beta): berkaitan dengan aktif berfikir dan berkonsentrasi
- Frekuensi 30 Hz > (gamma): berkaitan dengan waspada dan pemrosesan

Sinyal EEG memiliki karakteristik yang berubah dalam domain waktu sehingga memungkinkan deteksi perubahan sinyal otak dalam skala waktu yang singkat hingga mili detik.

3.1.3 Sistem Penempatan Elektroda

Peletakan elektroda sinyal EEG dilakukan dalam berbagai cara. Apabila pasien memerlukan perekaman sinyal EEG secara rutin, biasanya elektroda ditanamkan pada tengkorak kepala. Apabila perekaman sinyal EEG tidak dilakukan dalam waktu yang rutin, elektroda diletakkan pada kulit kepala ditunjukkan pada Gambar 2 (17). Peletakan elektroda pada kulit kepala mengikuti standar peletakan yang sudah ditetapkan. Jarak antara elektroda sering menggunakan perhitungan sistem 10-20. Standar ini sudah menjadi acuan internasional untuk peletakan elektroda EEG. Penamaan sistem 10 - 20 dipilih karena pembagian tengkorak menjadi 10% atau 20% untuk peletakan elektroda. Dengan pembagian dan peletakan yang diposisikan relatif, memungkinkan setiap penelitian EEG menjadi konsisten meskipun bentuk dan ukuran kepala setiap orang berbeda.



Gambar 2. Peletakan elektroda pada area kepala

3.1.4 Aplikasi EEG dalam Penelitian Psikologi

EEG digunakan dalam berbagai aplikasi penelitian psikologi, antara lain:

a. Studi Kognitif

EEG digunakan untuk menganalisis berbagai proses mental, seperti perhatian, memori, dan pengambilan keputusan. Salah satu penelitian yang dilakukan oleh Lavy et al (2019). menunjukkan bahwa *neurofeedback* berbasis EEG memiliki potensi dalam meningkatkan kemampuan memori, khususnya pada individu dengan gangguan kognitif ringan (18). Hasil penelitian tersebut mengindikasikan bahwa pelatihan *neurofeedback* dapat memberikan dampak

positif terhadap performa memori, yang bahkan dapat bertahan setelah periode pelatihan berakhir.

b. Studi Emosi

EEG memungkinkan analisis terhadap respons emosional yang ditimbulkan oleh stimulus visual maupun auditori. Penelitian yang dilakukan oleh Yang Kai et al. (2020) menunjukkan bahwa sinyal EEG dengan frekuensi tinggi memiliki peran signifikan dalam pengolahan emosi manusia. Variasi pola aktivitas di wilayah frontal, temporal, parietal, dan oksipital otak turut memengaruhi kondisi emosional individu (19).

c. Gangguan Psikologis

EEG digunakan dalam diagnosis dan pemantauan berbagai gangguan psikologis seperti depresi, kecemasan, dan skizofrenia. Salah satu studi yang mendukung aplikasi ini adalah penelitian berjudul *The Efficacy of Electroencephalogram Neurofeedback Training in Cognition, Anxiety, and Depression in Alcohol Dependence Syndrome: A Case Study* oleh Ghosh, Jahan, dan Singh. Dalam studi tersebut, *neurofeedback* berbasis EEG terbukti efektif dalam menurunkan gejala kecemasan dan depresi pada individu dengan sindrom ketergantungan alkohol (20).

d. Neurofeedback

Neurofeedback merupakan salah satu bentuk biofeedback yang digunakan untuk melatih individu dalam mengendalikan aktivitas otak melalui umpan balik terhadap respons emosional, kognitif, dan perilaku (21). Dalam konteks penggunaan EEG, *neurofeedback* diaplikasikan untuk membantu individu dalam mengatur dan mengoptimalkan aktivitas otaknya secara sadar.

Dalam konteks penelitian adiksi pada remaja, EEG dapat digunakan untuk menganalisis respons otak terhadap stimulus yang terkait dengan perilaku adiktif, seperti pemilihan kata yang berhubungan dengan adiksi.

3.1.5 Tantangan dalam Analisis EEG

Beberapa tantangan dalam analisis EEG meliputi:

- a. **Artefak:** Sinyal yang tidak diinginkan, seperti gerakan mata atau otot, yang dapat mengganggu kualitas data EEG.
- b. **Variabilitas Individu:** Perbedaan dalam struktur dan fungsi otak antar individu dapat mempengaruhi hasil EEG.

- c. **Keterbatasan Spasial:** Kesulitan dalam menentukan lokasi pasti sumber aktivitas otak karena resolusi spasial EEG yang terbatas.

Untuk mengatasi tantangan ini, berbagai teknik pemrosesan sinyal digunakan, termasuk *filtering*, dan *Independent Component Analysis (ICA)*.

3.2 Event-Related Potential

3.2.1 Pengertian dan Prinsip Dasar ERP

Event-Related Potential (ERP) merupakan impuls EEG yang terhadap waktu (*time-locked*), yang merekam aktivitas neural terkait proses sensorik dan kognitif di otak. Salah satu komponen ERP yang paling banyak digunakan adalah P300, yang muncul dalam rentang waktu sekitar 250 hingga 700 milidetik setelah stimulus diberikan. Komponen ini berkaitan erat dengan proses evaluasi respons otak serta fungsi dalam mengingat memori (6).

Analisis *Event-Related Potential (ERP)* dilakukan secara khusus dengan menganalisis sinyal respons EEG yang dipicu oleh stimulus visual. ERP bekerja dengan melihat respons sistem saraf terhadap rangsangan dalam sinyal EEG. Melalui teknik ini, informasi dapat diekstraksi dari puncak sinyal ERP yang dihasilkan oleh stimulus visual yang berbeda. Berdasarkan pola ERP yang spesifik terhadap kategori stimulus yang berbeda, memungkinkan klasifikasi sinyal EEG menggunakan metode ERP (7).

3.2.2 Kelebihan dan Keterbatasan ERP

Kelebihan:

- a. Resolusi Temporal Tinggi: ERP memiliki resolusi temporal yang sangat tinggi, memungkinkan deteksi perubahan aktivitas otak dalam rentang waktu milidetik.
- b. Non-invasif dan Relatif Murah: Pengukuran ERP menggunakan EEG adalah prosedur non-invasif yang relatif terjangkau dibandingkan dengan teknik neuroimaging lainnya seperti fMRI atau PET.
- c. Informasi Proses Kognitif Spesifik: ERP dapat mengidentifikasi proses kognitif spesifik yang terkait dengan stimulus tertentu, memberikan wawasan mendalam tentang mekanisme otak yang mendasari perilaku .

Keterbatasan:

- a. Resolusi Spasial Terbatas: Meskipun memiliki resolusi temporal yang tinggi, ERP memiliki resolusi spasial yang terbatas, sehingga sulit untuk menentukan lokasi pasti sumber aktivitas otak.

- b. Sensitif terhadap Artefak: Sinyal ERP rentan terhadap artefak dari gerakan mata, otot, atau aktivitas listrik eksternal, yang dapat mengganggu kualitas data.
- c. Analisis Kompleks: Pemrosesan dan analisis data ERP memerlukan teknik statistik dan pemrograman yang kompleks untuk mengisolasi dan menginterpretasikan komponen-komponen ERP dengan akurat.

3.3 Go/No-Go Association Task

3.3.1 Pengertian GNAT

Go/No-Go Association Task (GNAT) merupakan salah satu instrumen pengukuran berbasis komputer yang digunakan untuk mengevaluasi asosiasi implisit, yaitu asosiasi bawah sadar antara konsep-konsep tertentu dalam pikiran individu. GNAT dikembangkan sebagai modifikasi dari *Implicit Association Test (IAT)* oleh Nosek et al. (2001) (22), dengan keunggulan dapat digunakan untuk mengukur asosiasi satu konsep terhadap satu kategori tanpa perlu membandingkan dua konsep secara langsung seperti pada IAT (4).

GNAT secara luas digunakan dalam bidang psikologi sosial, psikologi kognitif, dan neurosains untuk menilai bagaimana individu secara otomatis mengasosiasikan objek dengan atribut tertentu tanpa mereka sadari atau sadari sepenuhnya. Dalam konteks EEG, GNAT juga menjadi alat stimulus yang ideal untuk memicu aktivitas otak spesifik terhadap asosiasi kata, yang kemudian dapat dianalisis melalui pendekatan *Event-Related Potential (ERP)*.

3.3.2 Prinsip dan Prosedur GNAT

Dalam pelaksanaan GNAT, kekuatan asosiasi dievaluasi dengan mempertimbangkan jarak antara item, seperti kata-kata, terhadap kategori target. Selain itu, atribut lain seperti ciri-ciri atau objek yang tidak berhubungan langsung dengan kata target dapat berperan sebagai pengalih perhatian (*distractor*) dan tidak termasuk dalam kategori target. Salah satu kondisi pengujian melibatkan identifikasi simultan terhadap stimulus yang mewakili kategori target dan stimulus pengganggu (*distractor*). Partisipan diminta untuk memberikan respons “Go” dengan menekan tombol spasi ketika kata target muncul, dan memberikan respons “No Go” dengan tidak menekan tombol apapun saat kata pengalih (*distractor*) muncul (22).

3.4 Pengolahan Sinyal EEG

3.4.1 *Preprocessing* Sinyal EEG

Pra-pemrosesan bertujuan menghilangkan artefak dan *noise* yang dapat mengganggu data sinyal EEG. Tahap ini melibatkan penggunaan berbagai teknik filtering untuk menghilangkan frekuensi yang tidak diinginkan rentang frekuensi yang dibutuhkan dalam analisis sinyal EEG pada 0.5 – 30 Hz (10). Untuk mendapatkan rentang tersebut dapat dilakukan metode filtering. Tentunya metode filtering yang dipilih menyesuaikan rentang frekuensi yang ingin diloloskan. Pada penelitian oleh Sulistiyo Tobias, Nur Pratama, et al. (2023) menjelaskan pemilihan filter butterworth order 4 rentang 4 - 40 Hz (*theta – gamma*) (23).

Meskipun sudah dilakukan filtering akan tetapi masih terdapat beberapa komponen yang tidak dapat dihilangkan menggunakan filter. Untuk menghilangkan komponen tersebut menggunakan metode *Independent Component Analysis (ICA)*. ICA merupakan teknik statistik yang memisahkan sinyal campuran menjadi komponen-komponen independen yang mendasari sinyal tersebut. Dengan ICA, setiap komponen yang mengandung noise dapat diidentifikasi berdasarkan pola frekuensi dan bentuk gelombang.

Setelah komponen noise terdeteksi, komponen tersebut dapat dihilangkan dari sinyal EEG asli. Proses ini menghasilkan sinyal EEG yang lebih bersih, dimana aktivitas otak yang sebenarnya menjadi lebih jelas dan dominan dalam rekaman. Hasilnya, energi sinyal pada kanal yang sebelumnya terkontaminasi *noise* meningkat, mengindikasikan bahwa sinyal yang tersisa kini lebih representatif terhadap aktivitas otak (23).

3.4.2 *2D Signal Analysis*

Topoplot adalah teknik visualisasi dalam analisis sinyal EEG yang menampilkan distribusi spasial amplitudo atau aktivitas listrik otak di permukaan kepala. Visualisasi ini biasanya disajikan dalam bentuk peta warna (*heatmap*) yang menggambarkan potensi listrik relatif dari berbagai elektroda pada kulit kepala. Topoplot sangat berguna untuk menampilkan pola aktivitas otak secara spasial, sehingga peneliti dapat melihat area kortikal mana yang paling aktif saat merespons stimulus tertentu, seperti kata-kata yang berkaitan dengan adiksi.

Penggunaan 2D data masih belum terlalu umum untuk dilakukan analisis. Hanya beberapa dataset yang menyediakan 2D data sinyal EEG. Contoh dataset yang memiliki sinyal EEG yang digambarkan dalam 2D pada *TelUnisba Neuropsychology EEG Dataset (TUNDA)* (5).

Fungsi Utama Topoplot:

- a. Menampilkan Pola Aktivitas Otak Secara Spasial: Topoplot memungkinkan peneliti untuk melihat area kortikal mana yang paling aktif saat merespons stimulus tertentu, seperti kata-kata yang berkaitan dengan adiksi.
- b. Membantu Interpretasi Data ERP dan Frekuensi: Visualisasi ini memberikan gambaran spasial yang mudah dipahami dan sering digunakan untuk menunjukkan perubahan aktivitas otak dalam penelitian psikologi dan neurologi.
- c. Menyediakan Gambaran Spasial yang Mudah Dipahami: Topoplot memberikan gambaran spasial yang mudah dipahami dan sering digunakan untuk menunjukkan perubahan aktivitas otak dalam penelitian psikologi dan neurologi.

Topoplot adalah metode visualisasi yang berguna dalam analisis sinyal EEG, memungkinkan untuk memahami distribusi spasial aktivitas otak dan mengidentifikasi area-area yang terlibat dalam pemrosesan stimulus tertentu. Dengan menggunakan teknik ini, dapat diketahui bagian dari otak yang memiliki aktivitas tertinggi. Hal ini menandakan adanya aksi maupun proses berpikir dalam merespon terhadap berbagai stimulus yang diberikan, termasuk kata-kata yang berkaitan dengan adiksi.

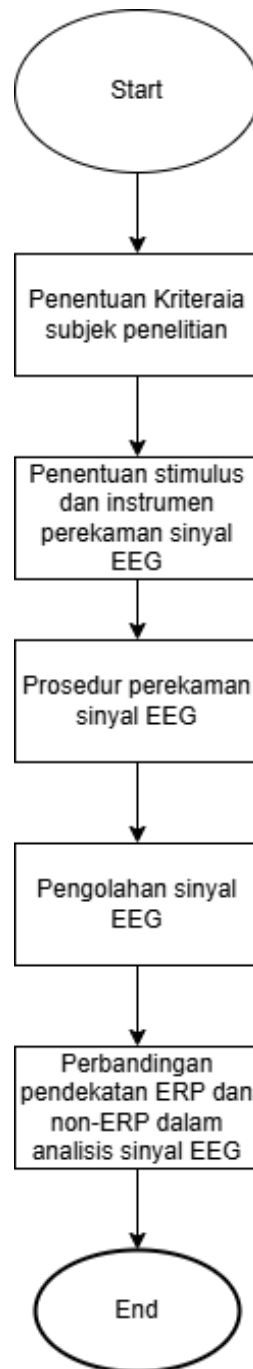
BAB 4

METODE PENELITIAN

4.1 Rancangan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif eksperimental dengan tujuan untuk menganalisis sinyal EEG dari responden yang diberikan tugas kognitif berupa *Go/No-Go Association Task* (GNAT) menggunakan stimulus kata-kata yang berkaitan dengan adiksi, serta kata-kata positif dan negatif. Melalui metode ini, diharapkan dapat diketahui bagaimana otak remaja merespons secara implisit terhadap kata-kata adiktif dan bagaimana aktivitas tersebut tercermin dalam data EEG, khususnya melalui analisis *Event-Related Potential (ERP)*.

Penelitian ini juga membandingkan hasil analisis EEG menggunakan pendekatan ERP dan analisis tanpa ERP, guna mengetahui sejauh mana pendekatan ERP memberikan informasi yang lebih detail mengenai proses kognitif dan evaluatif yang terlibat saat remaja dihadapkan pada stimulus adiktif.



Gambar 3. Diagram alur penelitian

Subjek dalam penelitian merupakan remaja yang dipilih berdasarkan kriteria yang telah disepakati. Kriteria yang disebutkan merupakan kriteria yang sesuai dengan tujuan penelitian yaitu untuk menganalisis pola otak pada remaja yang normal dan berisiko. Untuk remaja yang dikategorikan normal memiliki kriteria sebagai berikut:

- Tidak memiliki riwayat penggunaan atau kontak dengan narkoba.
- Tidak memiliki keluarga atau teman dekat dengan riwayat penggunaan narkoba.
- Tidak mengalami gangguan kecemasan atau kepanikan di ruangan dengan pencahayaan terbatas.

- d. Bersedia berpartisipasi aktif dalam seluruh tahapan penelitian setelah memberikan *informed consent*.

Sedangkan untuk remaja yang dikategorikan berisiko memiliki kriteria sebagai berikut:

- a. Tidak mengalami gangguan kecemasan atau kepanikan di ruangan dengan pencahayaan terbatas.
- b. Bersedia berpartisipasi aktif dalam seluruh tahapan penelitian setelah memberikan *informed consent*.
- c. Memenuhi salah satu atau kedua kriteria berikut: memiliki riwayat penggunaan atau kontak langsung dengan narkoba, atau memiliki anggota keluarga atau teman dekat yang memiliki riwayat penggunaan narkoba.

4.2 Penentuan Stimulus dan Instrumen Perekaman Sinyal EEG

Pada penelitian ini, stimulus yang digunakan merupakan aplikasi GNAT berbasis web. GNAT dipilih sebagai instrumen penelitian karena kemampuannya dalam mengukur asosiasi implisit dan merekam respons subjek secara real-time dengan validitas yang teruji (22).

Desain aplikasi GNAT menampilkan:

- a. Kata adiktif:

Kata adiktif merupakan kata-kata yang merujuk pada substansi atau perilaku adiktif, seperti "*Narkoba*", "*Napza*", "*Penyalahgunaan*", dan "*Pecandu*".

- b. Kata sifat

Kata sifat menjadi distraktor pada aplikasi GNAT. Aplikasi GNAT menampilkan kata sifat positif dan negatif. Untuk kata sifat positif misalnya "*Sukacita*", "*Bahagia*", "*Ceria*", "*Puas*", "*Gembira*", "*Enak*", "*Hebat*", dan "*Indah*". Sedangkan untuk kata sifat negatif misalnya "*Jelek*", "*Jahat*", "*Nista*", "*Ngeri*", "*Bahaya*", "*Menakutkan*", "*Busuk*", "*Rusak*", dan "*Biadab*".

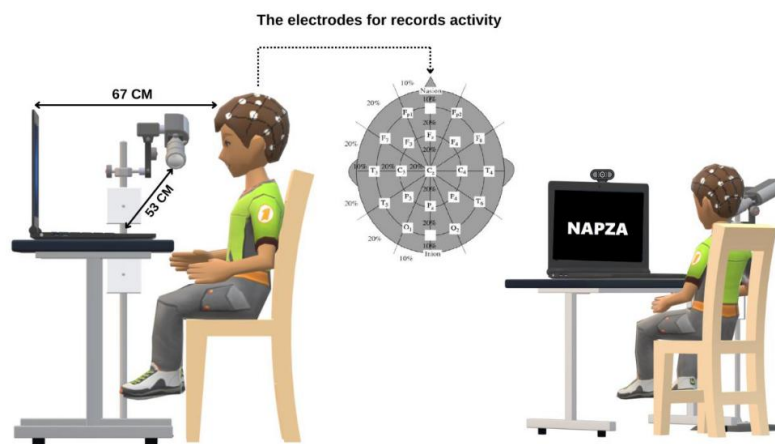
Kata stimulus diseleksi berdasarkan diskusi mendalam dengan tim ahli psikologi pada penelitian (4).

Penelitian ini menggunakan sistem EEG 16-kanal sebagai instrumen utama untuk merekam aktivitas otak responden secara non-invasif. Pemilihan sistem EEG dengan 16 kanal didasarkan pada pertimbangan cakupan area otak yang lebih komprehensif dibandingkan sistem dengan kanal lebih sedikit, sehingga mampu merekam aktivitas

neural mulai dari lobus frontal hingga oksipital secara simultan. Alat ini bekerja dengan frekuensi sampling 128-512 Hz.

4.3 Prosedur Perekaman Sinyal EEG

Perekaman sinyal EEG dilakukan di ruangan yang telah disiapkan secara khusus untuk meminimalkan gangguan eksternal, mengingat sinyal EEG sangat sensitif terhadap artefak yang disebabkan oleh getaran maupun suara. Sebelum pelaksanaan eksperimen, responden diberikan penjelasan terperinci mengenai seluruh prosedur yang akan dijalankan. Apabila menyatakan kesediaannya untuk berpartisipasi, responden diminta menandatangani *informed consent* sebagai bentuk persetujuan tertulis terhadap keterlibatan dalam penelitian ini.



Gambar 4. Simulasi perekaman sinyal EEG

Di dalam ruangan perekaman, responden diminta duduk dalam posisi yang rileks untuk memastikan kenyamanan selama proses pengambilan data. Posisi duduk dan prosedur penelitian ditunjukkan pada Gambar 4 (4). Setelah instrumen EEG terpasang sesuai standar, responden diarahkan untuk menjalani tes GNAT sesuai dengan instruksi yang tercantum pada halaman tes. Setiap sesi GNAT memiliki kata target yang berbeda, sehingga responden diminta untuk mengikuti instruksi spesifik yang diberikan pada masing-masing sesi. Proses pelaksanaan tes berlangsung selama kurang lebih 30 hingga 40 menit. Sinyal EEG direkam secara kontinu selama seluruh proses pelaksanaan tes untuk keperluan analisis.

4.4 Pengolahan Sinyal EEG

Pengolahan sinyal EEG merupakan langkah krusial dalam memastikan kualitas dan keandalan data untuk analisis lebih lanjut. Proses ini melibatkan beberapa tahapan utama,

mulai dari preprocessing hingga representasi sinyal dalam format yang sesuai untuk model analisis.

4.4.1 *Preprocessing* Sinyal EEG

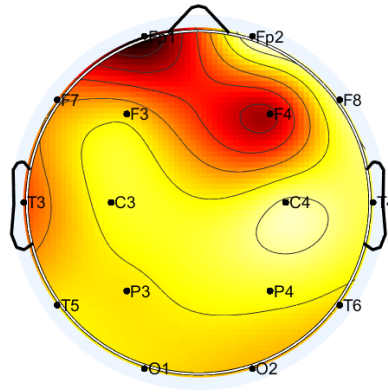
Proses preprocessing sinyal EEG merupakan tahap kritis dalam pengolahan sinyal EEG. Tahap pertama yang umum dilakukan adalah pemfilteran untuk memilih rentang frekuensi yang diinginkan. Pemilihan filter *butterworth* karena karakteristik respons fasanya yang linear serta memberikan keunggulan dibandingkan jenis filter lainnya (24), (25). Rentang frekuensi cutoff yang diterapkan adalah 4 – 40 Hz, dengan pertimbangan bahwa komponen frekuensi di bawah 4 Hz mengandung *noise* yang mengganggu, sementara rentang frekuensi *gamma* yang relevan dipertahankan hingga 40 Hz (23).

Untuk mengoptimalkan proses prapemrosesan sinyal, setelah dilakukan metode *filtering*, diterapkan metode ICA guna menghilangkan komponen noise yang masih tersisa. Metode ICA digunakan untuk mengeliminasi komponen seperti kedipan mata, gerakan otot, dan gangguan lainnya. Dengan penerapan ICA, diharapkan sinyal EEG yang dihasilkan sudah bersih dari komponen-komponen yang dapat mengganggu proses analisis.

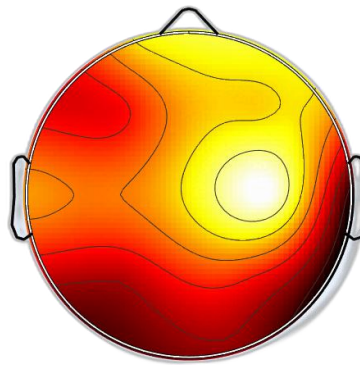
4.4.2 Representasi Sinyal EEG

Setelah melalui tahapan *preprocessing*, sinyal EEG yang telah dibersihkan dari noise dan artefak selanjutnya diubah ke dalam bentuk representasi dua dimensi (2D). Representasi dua dimensi ini mengikuti format yang telah tersedia dalam *database* referensi (5), di mana sinyal EEG ditransformasikan menjadi citra dua dimensi untuk memvisualisasikan pola aktivitas otak secara spasial dan temporal.

Dalam *dataset* tersebut, representasi dua dimensi sinyal EEG mencerminkan respons dari dua kelompok subjek, yaitu responden dengan kondisi normal dan responden yang memiliki risiko adiksi. Kedua kelompok ini diberikan stimulus berupa terminologi yang berkaitan dengan adiksi. Contoh perbedaan respons antara kedua kelompok divisualisasikan dalam bentuk *topoplot* dua dimensi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5 dan Gambar 6. Kedua gambar tersebut memberikan ilustrasi perbedaan pola aktivasi otak antara kelompok kontrol dan kelompok berisiko, yang dapat dianalisis lebih lanjut untuk mendeteksi kecenderungan terhadap adiksi berdasarkan respons neurologis.



Gambar 5. Contoh representasi sinyal EEG dalam bentuk dua dimensi pada responden dengan kategori normal



Gambar 6. Contoh representasi sinyal EEG dalam bentuk dua dimensi pada responden dengan kategori berisiko

4.5 Perbandingan Analisa dengan metode ERP dan tanpa ERP

Untuk mengevaluasi efektivitas dan relevansi sinyal EEG terhadap stimulus yang diberikan, dilakukan perbandingan antara sinyal EEG yang diproses menggunakan pendekatan *Event-Related Potential* (ERP) dan sinyal EEG tanpa menerapkan ERP. Tujuan dari pendekatan ini adalah untuk memahami sejauh mana kontribusi metode ERP dalam menyoroti respons otak yang relevan terhadap peristiwa tertentu, khususnya dalam konteks representasi dua dimensi dari pola aktivasi otak.

Setelah melalui tahapan pemrosesan ERP, sinyal EEG kemudian ditransformasikan ke dalam bentuk representasi dua dimensi. Representasi ini selanjutnya dibandingkan dengan hasil transformasi sinyal tanpa penerapan ERP untuk mengamati perbedaan pola aktivasi yang dihasilkan oleh masing-masing pendekatan. Visualisasi hasil dari kedua pendekatan tersebut bertujuan untuk memperjelas perbedaan karakteristik spasial dan temporal dari aktivitas otak.

Perbandingan dilakukan dengan mengacu pada dataset yang telah tersedia, yang berisi representasi dua dimensi sinyal EEG dari dua kategori responden, yaitu kelompok normal dan kelompok berisiko (4,5). Berdasarkan literatur yang dikutip dalam buku *Computational EEG Analysis* (26), masih terbatas jumlah penelitian yang secara eksplisit mengeksplorasi

penerapan dan evaluasi metode ERP dalam konteks analisis representasi dua dimensi sinyal EEG, terutama dalam studi yang berkaitan dengan adiksi atau respons terhadap stimulus tertentu. Oleh karena itu, perbandingan ini bertujuan untuk menilai apakah penerapan metode ERP dapat meningkatkan kualitas representasi sinyal EEG dalam membedakan karakteristik sinyal EEG dua dimensi.

BAB 5

RENCANA JADWAL KEGIATAN

Dalam penelitian ini, seluruh rangkaian kegiatan telah dirancang secara sistematis dan dituangkan ke dalam tabel jadwal kegiatan yang disajikan pada Tabel 2. Rencana kegiatan tersebut mencakup seluruh tahapan utama penelitian, mulai dari perancangan proposal, penyusunan artikel ilmiah (jurnal), hingga proses penyusunan tesis secara menyeluruh.

Tabel 2. Timetable penelitian

[illegible]

DAFTAR PUSTAKA

1. Tervo-Clemmens B, Quach A, Calabro FJ, Foran W, Luna B. Meta-analysis and review of functional neuroimaging differences underlying adolescent vulnerability to substance use. *Neuroimage*. 2020 Apr 1;209.
2. Smith A, Kaufman F, Sandy MS, Cardenas A. Cannabis Exposure During Critical Windows of Development: Epigenetic and Molecular Pathways Implicated in Neuropsychiatric Disease. Vol. 7, *Current Environmental Health Reports*. Springer; 2020. p. 325–42.
3. Leng Y, Wiguna T, Luiz Monezi Andrade A, sun Han T, Cho H, Sung D, et al. A systematic review of the impact of COVID-19 on the game addiction of children and adolescents. 2022.
4. Wijayanto I, Sulistyo TM, Pratama YJN, Rahmaniar TD, Safitri AS, Sa'idah S, et al. Unlocking Early Detection and Intervention Potential: Analyzing Visual Evoked Potentials in Adolescents/ Teenagers with Narcotics Abuse Tendencies from the TelUnisba Neuropsychology Electroencephalograph Dataset. *Journal of Electronics, Electromedical Engineering, and Medical Informatics*. 2024 Oct 1;6(4):445–58.
5. Wijayanto I. TelUnisba Neuropsychology EEG Dataset (TUNDA) [Internet]. Telkom University Dataverse; 2024. Available from: <https://doi.org/10.34820/FK2/GW8JIV>
6. Bonab ZS, Shamsollahi MB. Event Related Potentials Extraction using Low-rank Tensor Decomposition. In: 2022 30th International Conference on Electrical Engineering, ICEE 2022. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.; 2022. p. 931–5.
7. Quattrone D, Santambrogio F, Scarpellini A, Sgherzi F, Poles I, Clementi L, et al. Analysis and Classification of Event-Related Potentials during Image Observation. In: *Proceedings of the Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, EMBS*. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.; 2023.
8. McWeeny S, Norton ES. Understanding event-related potentials (ERPs) in clinical and basic language and communication disorders research: a tutorial. Vol. 55, *International Journal of Language and Communication Disorders*. Wiley Blackwell; 2020. p. 445–57.
9. Soufineyestani M, Dowling D, Khan A. Electroencephalography (EEG) technology applications and available devices. Vol. 10, *Applied Sciences (Switzerland)*. MDPI AG; 2020. p. 1–23.

10. Dadebayev D, Goh WW, Tan EX. EEG-based emotion recognition: Review of commercial EEG devices and machine learning techniques. Vol. 34, Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences. King Saud bin Abdulaziz University; 2022. p. 4385–401.
11. Popa LL, Dragos H, Pantelemon C, Rosu OV, Strilciuc S. The Role of Quantitative EEG in the Diagnosis of Neuropsychiatric Disorders. J Med Life. 2020;13(1):8–15.
12. Hwang S, Hong K, Son G, Byun H. Learning CNN features from DE features for EEG-based emotion recognition. Pattern Analysis and Applications. 2020 Aug 1;23(3):1323–35.
13. Anjana K, Ganesan M, Lavanya R. Emotional Classification of EEG Signal using Image Encoding and Deep Learning. In: Proceedings of 2021 IEEE 7th International Conference on Bio Signals, Images and Instrumentation, ICBSII 2021. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.; 2021.
14. Dehghani A, Soltanian-Zadeh H, Hossein-Zadeh GA. Neural modulation enhancement using connectivity-based EEG neurofeedback with simultaneous fMRI for emotion regulation. Neuroimage. 2023 Oct 1;279.
15. Zhang H Bin, Yu Q, Zhang X, Zhang Y, Huang T, Ding J, et al. An electroencephalography connectome predictive model of craving for methamphetamine. International Journal of Clinical and Health Psychology. 2025 Jan 1;25(1).
16. St Louis EK., Frey LC., Britton JW. Electroencephalography (EEG) : an introductory text and atlas of normal and abnormal findings in adults, children, and infants. American Epilepsy Society; 2016. 95 p.
17. Li B, Cheng T, Guo Z. A review of EEG acquisition, processing and application. In: Journal of Physics: Conference Series. IOP Publishing Ltd; 2021.
18. Lavy Y, Dwolatzky T, Kaplan Z, Guez J, Todder D. Neurofeedback Improves Memory and Peak Alpha Frequency in Individuals with Mild Cognitive Impairment. Applied Psychophysiology Biofeedback. 2019 Mar 15;44(1):41–9.
19. Yang K, Tong L, Shu J, Zhuang N, Yan B, Zeng Y. High Gamma Band EEG Closely Related to Emotion: Evidence From Functional Network. Front Hum Neurosci. 2020 Mar 24;14.
20. Ghosh T, Jahan M, Singh A. The efficacy of electroencephalogram neurofeedback training in cognition, anxiety, and depression in alcohol dependence syndrome: A case study. Ind Psychiatry J. 2014;23(2):166.

21. Soltanian-Zadeh H, Sokhadze EM, Dobrushina OR, Federico G. Simultaneous real-time EEG-fMRI neurofeedback: A systematic review.
22. Nosek BA, Banaji MR, Nosek B. THE GO/NO-GO ASSOCIATION TASK [Internet]. Vol. 19, Social Cognition. 2001. Available from: www.briannosek.com
23. Sulistiyo TM, Nur Pratama YJ, Wijayanto I, Sa'idah S, Hadiyoso S, Khasanah AN. Electroencephalogram Signal Denoising in Individual Cognitive Ability Measurement Using Independent Component Analysis. In: 2023 IEEE Asia Pacific Conference on Wireless and Mobile (APWiMob). 2023. p. 68–72.
24. Daud SS, Sudirman R. Butterworth Bandpass and Stationary Wavelet Transform Filter Comparison for Electroencephalography Signal. In: 2015 6th International Conference on Intelligent Systems, Modelling and Simulation. 2015. p. 123–6.
25. Kotte S, Kumar Dabbakuti JRK. Methods for removal of artifacts from EEG signal: A review. In: Journal of Physics: Conference Series. IOP Publishing Ltd; 2020.
26. Congedo M. The Analysis of Event-Related Potentials. In: Chang HI, editor. Computational EEG Analysis Methods and Applications. Springer Singapore; 2018. p. 55–82.