

# MODEL ADAPTIF UNTUK DETEKSI PERHATIAN MENGGUNAKAN SINYAL EEG (ELECTROENCEPHALOGRAPHY): PENDEKATAN BERBASIS KECERDASAN BUATAN UNTUK Mendukung KEBERHASILAN BELAJAR

## PROPOSAL TUGAS AKHIR

### BAB I PENDAHULUAN

#### Latar Belakang

Deteksi perhatian merupakan aspek kognitif fundamental yang sangat krusial untuk **pembelajaran yang efektif**, kinerja kerja, dan interaksi sosial. Banyak orang, terutama siswa, mengalami masalah perhatian, termasuk *Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder* (ADHD), yang dapat memengaruhi kinerja akademik dan kualitas hidup mereka. Di Indonesia, Survei Kesehatan Nasional 2018 menemukan bahwa 6,2% individu berusia 15 hingga 24 tahun mengalami depresi, yang mencakup gangguan perhatian.

Electroencephalography (EEG) menawarkan metode non-invasif untuk mengukur aktivitas otak yang berkaitan dengan tingkat perhatian seseorang secara *real-time*. Sinyal EEG dibagi menjadi beberapa pita frekuensi, di mana gelombang **Beta (12–30 Hz)** mengindikasikan perhatian berkelanjutan dan pemecahan masalah aktif, sedangkan **penurunan aktivitas Alpha (8–13 Hz)** mengindikasikan peningkatan fokus.

Namun, penelitian ini dihadapkan pada tantangan besar, yaitu bagaimana membangun model yang adaptif dan mampu menyesuaikan diri dengan **variabilitas individu** (perbedaan antar individu) dalam pola aktivitas otak, serta sifat sinyal EEG yang non-stasioner. Perbedaan individu, kondisi lingkungan, dan faktor emosional dapat memengaruhi akurasi sistem deteksi perhatian.

Oleh karena itu, diperlukan pengembangan **model adaptif berbasis Kecerdasan Buatan (AI)** yang bertujuan untuk meningkatkan akurasi deteksi perhatian menggunakan sinyal EEG. Model ini, yang terbukti dapat menyesuaikan diri dengan pola individu, diharapkan dapat **meningkatkan fokus dalam pembelajaran** dan menjadi dasar bagi kemajuan teknologi *neurofeedback*.

## Masalah Penelitian

Berdasarkan latar belakang di atas, permasalahan penelitian yang akan dirumuskan adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana membangun **model adaptif berbasis AI** untuk deteksi perhatian menggunakan sinyal EEG yang dapat menyesuaikan diri dengan variabilitas individu dan sinyal yang non-stasioner?
2. Sejauh mana algoritma *deep learning* dan *meta-learning* (seperti CNN, LSTM, dan MAML) dapat meningkatkan akurasi deteksi perhatian berbasis EEG dibandingkan dengan metode konvensional?
3. Bagaimana implementasi model adaptif ini dapat diterapkan dalam **lingkungan pembelajaran** untuk memberikan umpan balik *real-time* dalam rangka meningkatkan perhatian siswa?

## Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah:

1. Mengembangkan model adaptif berbasis EEG yang menyesuaikan dengan variabilitas individu untuk deteksi perhatian.
2. Menganalisis peningkatan akurasi deteksi perhatian dengan mengintegrasikan AI, khususnya *deep learning* dan *meta-learning*.
3. Meneliti efektivitas implementasi model adaptif dalam lingkungan pendidikan untuk **meningkatkan fokus dan perhatian siswa**.

## Lingkup Permasalahan

Lingkup permasalahan penelitian ini mencakup tiga aspek utama:

1. **Pengembangan Model Adaptif Berbasis EEG:** Fokus pada pengembangan algoritma adaptif (Model-Agnostic Meta-Learning/MAML) yang mampu menyesuaikan dengan variabilitas individu, mengatasi tantangan sinyal non-stasioner, dan memungkinkan adaptasi cepat (*few-shot learning*).

2. **Analisis Peningkatan Akurasi Menggunakan AI:** Evaluasi berbagai metode AI seperti *Convolutional Neural Network* (CNN) dan *Long Short-Term Memory* (LSTM) untuk deteksi perhatian. Melakukan perbandingan kinerja (akurasi, presisi, *recall*, F1-score) model AI dengan model konvensional.
3. **Implementasi dalam Bidang Pendidikan:** Meneliti penerapan model adaptif dalam lingkungan pendidikan untuk meningkatkan fokus dan perhatian siswa.

## Hipotesis Penelitian

Hipotesis utama yang diajukan dalam penelitian ini adalah:

1. **Hipotesis 1:** Model adaptif berbasis AI dapat **meningkatkan akurasi deteksi perhatian** dengan mempertimbangkan variasi individu dalam sinyal EEG.
  2. **Hipotesis 2:** Model berbasis **Model-Agnostic Meta-Learning** (MAML) akan meningkatkan akurasi deteksi perhatian dibandingkan metode *transfer learning* konvensional, karena MAML dirancang untuk beradaptasi dengan cepat ke subjek baru menggunakan sedikit data (*few-shot learning*).
- 

## BAB II METODOLOGI PENELITIAN

### II.1 Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode eksperimen untuk mengembangkan dan menguji model adaptif deteksi perhatian berbasis EEG. Metodologi yang digunakan adalah **Design Science Research Methodology (DSRM)**, yang berfokus pada perancangan, pengembangan, dan evaluasi artefak (yaitu model AI adaptif) untuk memecahkan masalah praktis.

### II.2 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian ini akan mencakup:

## 1. Pengumpulan Data EEG

- Menggunakan *dataset* EEG yang tersedia secara publik dan relevan untuk deteksi perhatian, seperti **MEMA**, **EEG Mental Attention State (Kaggle)**, **mEBAL**, atau **EEG-Attention RSVP Experiment (OpenNeuro)**, untuk memastikan keragaman data.
- Data dibagi per subjek menjadi tugas-tugas *meta-learning*:
  - **Support set**: 5–10 sampel EEG untuk adaptasi cepat (*few-shot learning*).
  - **Query set**: 15–20 sampel untuk evaluasi.

## 2. Preprocessing Data

Tujuan tahap ini adalah membersihkan sinyal EEG dari *noise* dan *artefak*, yang merupakan masalah umum akibat gerakan mata dan aktivitas otot.

- **Penyaringan (*Filtering*)**: Menggunakan *Bandpass Filter* (misalnya 4–30 Hz) untuk menghilangkan frekuensi yang tidak relevan.
- **Penghilangan Artefak**: Menggunakan teknik seperti **Independent Component Analysis (ICA)** untuk menghilangkan artefak gerakan mata.
- **Normalisasi**: Normalisasi per subjek diterapkan untuk mengurangi variabilitas antar-subjek.

## 3. Ekstraksi Fitur

Sinyal mentah diubah menjadi representasi numerik yang berarti:

- **Fitur *Handcrafted***: Meliputi *Band Power* (daya gelombang theta, alpha, beta), ukuran **Entropy** (seperti Shannon, sampel, dan permutasi, yang mengukur kompleksitas sinyal), dan *Fractal Dimension*.
- **Fitur Otomatis**: Dipelajari menggunakan lapisan *Convolutional* (CNN) untuk menangkap fitur spasial, diikuti oleh lapisan *Recurrent* (LSTM) untuk memodelkan perubahan temporal yang terkait dengan perhatian.

## 4. Pengembangan Model AI

Model utama yang dikembangkan adalah model adaptif, dengan model *baseline* (CNN atau LSTM) digunakan untuk perbandingan kinerja.

- **Model Adaptif MAML (Model-Agnostic Meta-Learning)**:
  - **Meta-Training Phase**: Model dilatih pada multi-subjek untuk mendapatkan inisialisasi parameter optimal ( $\theta$ ) yang memungkinkan adaptasi cepat.

- **Adaptation Phase:** Untuk subjek baru, model hanya memerlukan 5–10 sampel EEG untuk menyempurnakan pengaturannya (*fine-tuning*).
- **Model Deep Learning:** Implementasi arsitektur **LSTM** (efektif menangkap pola temporal dan dependensi jangka panjang) dan **CNN** (efektif menangkap fitur spasial).

## 5. Evaluasi Model

Evaluasi dilakukan untuk menilai kemandirian, adaptabilitas, dan generalisasi sistem.

- **Metrik Kinerja:** Menggunakan **Akurasi**, **Presisi**, *Recall*, dan **F1-score** untuk menilai kemampuan model dalam membedakan antara keadaan fokus dan tidak fokus.
- **Pengujian Adaptabilitas *Few-Shot*:** Akurasi model akan dievaluasi pada subjek baru, membandingkan kinerja sebelum dan sesudah adaptasi cepat (hanya dengan 5–10 sampel).

---

Analogi: Proses adaptif ini mirip dengan seorang guru berpengalaman yang telah mengajar banyak siswa (fase *meta-training*). Ketika guru tersebut bertemu siswa baru (subjek baru), dia tidak perlu mengajar dari awal (pelatihan ulang), melainkan cukup mengamati beberapa respons awal siswa (5-10 sampel EEG) untuk dengan cepat menyesuaikan metode pengajarannya agar sesuai dengan gaya belajar unik siswa tersebut (fase *adaptation*), sehingga mencapai hasil yang optimal dengan usaha minimal.

## Konsep

Proses belajar dibantu oleh sinyal *Electroencephalography* (EEG) terutama melalui mekanisme **deteksi perhatian (attention detection)** dan **Neurofeedback Therapy (NFT)** yang ditingkatkan dengan Kecerdasan Buatan (AI).

Deteksi perhatian adalah aspek kognitif fundamental yang sangat penting untuk **pembelajaran yang efektif**, kinerja kerja, dan interaksi sosial. EEG menyediakan metode non-invasif untuk mengukur aktivitas otak yang berkaitan dengan tingkat perhatian seseorang secara *real-time*.

Berikut adalah proses bagaimana sinyal EEG membantu proses belajar, terutama dalam konteks aplikasi adaptif dan Neurofeedback:

## 1. Peran Sinyal EEG dalam Perhatian

EEG merekam aktivitas listrik otak dalam bentuk gelombang otak, yang masing-masing mencerminkan berbagai tingkat aktivitas kognitif dan emosional.

- **Alpha (8–13 Hz):** Umumnya dikaitkan dengan kondisi santai atau refleksi internal. **Penurunan aktivitas Alpha** sering mengindikasikan peningkatan pemrosesan sensorik dan **fokus perhatian**.
- **Beta (12–30 Hz):** Mengindikasikan **perhatian yang berkelanjutan**, pemecahan masalah, dan keterlibatan aktif. Peningkatan kekuatan Beta selama aktivitas mental yang gigih dan pemecahan masalah aktif menunjukkan **fokus**.
- **Theta (4–8 Hz):** Berkaitan dengan kreativitas, intuisi, dan kantuk. Aktivitas Theta yang tinggi dapat dikaitkan dengan gangguan perhatian atau stres memori kerja.

## 2. Mekanisme Bantuan Belajar Melalui Neurofeedback (NFT)

NFT adalah intervensi non-farmakologis yang memanfaatkan **neuroplastisitas** otak, memungkinkan individu untuk belajar meregulasi respons neural mereka sendiri dengan menyediakan **umpan balik *real-time*** (visual atau auditori) tentang aktivitas otak mereka.

Dalam konteks belajar:

- **Peningkatan Fokus:** NFT telah terbukti efektif dalam meredakan gejala *Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder* (ADHD) dengan mengurangi hiperaktivitas dan **meningkatkan perhatian**.
- **Penerapan:** NFT berbasis AI dapat **meningkatkan fokus dalam pembelajaran** dan membantu individu yang mengalami gangguan konsentrasi.

## 3. Proses Adaptif Berbasis AI untuk Pembelajaran

Tantangan utama dalam menggunakan EEG adalah variabilitas antar individu (*inter-subject variability*) dan sinyal yang non-stasioner. Model adaptif berbasis AI dirancang untuk mengatasi masalah ini, memungkinkan sistem untuk menyesuaikan diri dengan pola unik setiap individu dan memberikan bantuan belajar yang lebih personal.

Proses ini melibatkan langkah-langkah berikut:

1. **Akuisisi Data:** Merekam sinyal EEG dari partisipan (misalnya, siswa) selama kondisi perhatian yang berbeda.
2. **Preprocessing Data:** Membersihkan sinyal dari *noise* dan *artefak* (seperti gerakan mata atau otot) menggunakan teknik seperti *Filtering* dan *Independent Component Analysis* (ICA).

3. **Ekstraksi Fitur:** Mengubah sinyal mentah menjadi representasi numerik yang berarti, seperti *Band Power* (daya gelombang: alfa, beta, theta) atau *Entropy* (mengukur kompleksitas sinyal).
4. **Pengembangan Model AI:** Mengimplementasikan algoritma *deep learning* (DL) atau *machine learning* (ML) untuk mengklasifikasikan tingkat perhatian.
  - **LSTM (Long Short-Term Memory):** Sangat efektif untuk memproses data sekuensial seperti sinyal EEG karena mampu menangkap pola temporal dan dependensi jangka panjang, yang sangat penting untuk klasifikasi perhatian.
  - **CNN (Convolutional Neural Network):** Digunakan untuk ekstraksi fitur spasial dari sinyal EEG.
  - **MAML (Model-Agnostic Meta-Learning):** Memungkinkan model untuk **beradaptasi dengan cepat** pada individu baru hanya dengan sedikit data (*few-shot learning*), sehingga meningkatkan generalisasi model di berbagai subjek, yang sangat berguna dalam skenario pendidikan nyata.
5. **Pemberian Umpan Balik Adaptif (*Adaptive Feedback*):** Berdasarkan klasifikasi *real-time* (fokus atau tidak fokus), sistem AI menghasilkan umpan balik yang disesuaikan.

#### 4. Kontribusi Bantuan Belajar di Bidang Pendidikan

Penerapan model adaptif berbasis EEG dalam konteks pendidikan memiliki beberapa manfaat spesifik:

- **Peningkatan Fokus Pembelajaran:** Model ini mampu **meningkatkan fokus** dalam lingkungan pembelajaran.
- **Pembelajaran Personal:** Sistem AI dapat **membuat program pembelajaran yang personal** dan beradaptasi secara *real-time* dengan respons otak siswa.
- **Regulasi Stres dan Konsentrasi:** Jika sinyal biometrik menunjukkan penurunan fokus atau peningkatan stres, sistem dapat secara otomatis **menyesuaikan kesulitan tugas** atau **memperkenalkan jeda relaksasi**.
- **Pemantauan Objektif:** Menyediakan **metode objektif untuk mengukur tingkat perhatian siswa** secara *real-time*, memberikan umpan balik langsung kepada guru atau orang tua.
- **Pengembangan Keterampilan Kognitif:** Dengan penggunaan yang konsisten, siswa dapat mengembangkan **kemampuan regulasi emosional dan kognitif jangka panjang** yang lebih baik, membuat mereka menjadi peserta aktif dalam pengembangan kognitif mereka.

Secara keseluruhan, sinyal EEG bertindak seperti jendela ke keadaan kognitif siswa, dan teknologi AI bertindak sebagai penerjemah dan pelatih, yang bersama-sama memungkinkan intervensi Neurofeedback yang tepat dan personal untuk mengoptimalkan proses belajar.