

# Deteksi Gangguan Neurologis dengan Transformasi Fourier dan Aljabar Kompleks pada Sinyal EEG

Andrew Isra Saputra DB - 13523110<sup>1,2</sup>

Program Studi Teknik Informatika

Sekolah Teknik Elektro dan Informatika

Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha 10 Bandung 40132, Indonesia

<sup>1</sup>[13523110@std.stei.itb.ac.id](mailto:13523110@std.stei.itb.ac.id), <sup>2</sup>[andrew.israsaputra@gmail.com](mailto:andrew.israsaputra@gmail.com)

**Abstrak**—Transformasi Fourier dan aljabar kompleks diterapkan untuk menganalisis sinyal EEG dalam mendeteksi berbagai gangguan neurologis. Transformasi Fourier mengubah sinyal EEG dari domain waktu ke domain frekuensi, memungkinkan identifikasi komponen frekuensi dominan seperti gelombang alpha, beta, delta, dan theta, yang relevan dengan berbagai aktivitas otak. Spektrogram digunakan untuk mengevaluasi distribusi energi frekuensi terhadap waktu, sementara aljabar kompleks digunakan untuk analisis amplitudo dan fase, yang memberikan wawasan tentang intensitas dan hubungan temporal antar-channel EEG. Analisis menunjukkan amplitudo dominan pada frekuensi rendah (<10 Hz), sesuai dengan gelombang delta dan theta, serta amplitudo tinggi pada frekuensi 10 Hz yang mencerminkan gelombang alpha. Tidak ditemukan pola spike atau ketidakteraturan fase signifikan yang dapat menunjukkan gangguan spesifik seperti epilepsi. Pendekatan berbasis Transformasi Fourier dan aljabar kompleks menyediakan alat yang efektif untuk analisis sinyal EEG dengan potensi deteksi dini berbagai gangguan neurologis, seperti epilepsi, gangguan tidur, dan disfungsi konektivitas otak.

**Kata Kunci**—EEG, Transformasi Fourier, Aljabar Kompleks, Spektrogram, Gangguan Neurologis, Deteksi Dini, Gelombang Otak.

## I. PENDAHULUAN

Gangguan neurologis seperti epilepsi, Alzheimer, dan Parkinson merupakan masalah kesehatan global yang berdampak signifikan pada kualitas hidup jutaan orang. Penyakit-penyakit ini cenderung bersifat progresif dan dapat memicu berbagai komplikasi serius jika tidak didiagnosis dan ditangani secara tepat. Oleh karena itu, deteksi dini menjadi langkah krusial untuk meningkatkan prognosis pasien sekaligus mengurangi beban kesehatan masyarakat. Namun, upaya deteksi dini sering kali menghadapi tantangan karena kompleksitas aktivitas otak manusia.

Salah satu alat utama dalam mendiagnosis gangguan neurologis adalah Electroencephalography (EEG). EEG adalah teknik non-invasif yang merekam aktivitas listrik otak melalui elektroda yang ditempatkan di kulit kepala. Sinyal EEG berupa gelombang dengan frekuensi beragam seperti delta, theta, alpha, beta, dan gamma, yang mencerminkan kondisi otak secara keseluruhan. Meskipun

demikian, analisis sinyal EEG tidaklah mudah, karena sering terpengaruh oleh noise, artefak, serta pola yang kompleks dan sulit untuk diinterpretasikan secara langsung.

Transformasi Fourier muncul sebagai alat analisis yang sangat bermanfaat dalam mengatasi tantangan ini. Teknik ini memungkinkan sinyal EEG diubah dari domain waktu ke domain frekuensi, sehingga memudahkan identifikasi komponen frekuensi yang relevan. Misalnya, pada pasien epilepsi, lonjakan frekuensi abnormal sering terlihat jelas dalam domain frekuensi, membuat deteksi lebih terarah dan sistematis. Dengan Transformasi Fourier, analisis sinyal EEG dapat dilakukan dengan pendekatan yang lebih terstruktur.

Makalah ini bertujuan untuk mengeksplorasi pemanfaatan Transformasi Fourier dan aljabar kompleks dalam analisis sinyal EEG untuk deteksi gangguan neurologis seperti epilepsi. Pendekatan ini diharapkan mampu memberikan kontribusi besar terhadap pengembangan teknologi deteksi dini yang lebih akurat dan efisien

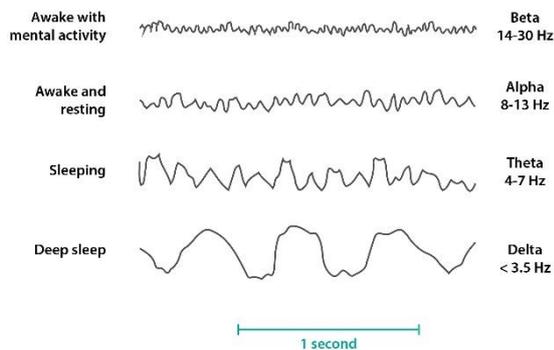
## II. LANDASAN TEORI

### 2.1 *Electroencephalography* (EEG)

EEG adalah metode yang digunakan untuk merekam aktivitas listrik otak yang dihasilkan oleh neuron. Aktivitas ini diukur dalam bentuk gelombang dengan frekuensi tertentu:

- 1) Gelombang Delta (0.5–3 Hz): Terkait dengan tidur nyenyak.
- 2) Theta (4–7 Hz): Terkait dengan meditasi dan relaksasi.
- 3) Alpha (8–13 Hz): Menunjukkan kondisi santai tetapi waspada.
- 4) Beta (14–30 Hz): Berkaitan dengan aktivitas kognitif dan konsentrasi.

Korteks serebri berfungsi sebagai medan listrik, dengan aktivitasnya yang ditopang oleh ujung-ujung dendrit yang menghasilkan potensial aksi sekitar 50  $\mu$ V. Potensial listrik ini diperkuat hingga sejuta kali lipat untuk dapat menggerakkan pena pencatat pada perangkat EEG. Akibatnya, fluktuasi potensial neuron dapat diamati dengan jelas pada kertas rekaman EEG [1].



Gambar 1. Jenis Gelombang Berdasarkan Frekuensi  
(sumber: <https://www.firstclassmed.com/articles/2017/ee-g-waves>)

Sinyal EEG sering kali memiliki noise dan artefak yang perlu dihilangkan untuk analisis yang akurat. Data EEG ini digunakan secara luas dalam diagnosis berbagai gangguan neurologis seperti epilepsi dan gangguan tidur.

## 2.2 Transformasi Fourier

Spektrogram merupakan salah satu metode yang paling umum digunakan untuk menganalisis sinyal dalam domain waktu dan frekuensi. Teknik ini dilakukan dengan menerapkan Short Time Fourier Transform (STFT) pada sinyal, lalu memetakan hasilnya menjadi fungsi dua dimensi berdasarkan frekuensi dan waktu [2].

Jika suatu fungsi  $f(x)$  didefinisikan pada  $(-\infty, \infty)$ , bersifat kontinu secara bagian (*piecewise continuous*) pada setiap interval hingga, dan dapat diintegrasikan secara absolut pada  $(-\infty, \infty)$ , maka Transformasi Fourier dari  $f(x)$  dapat dinyatakan sebagai:

$$F(s) = \frac{1}{2} \int_{-\infty}^{\infty} f(x) e^{-isx} dx$$

Fungsi  $F(s)$  yang dihitung di atas merepresentasikan komponen frekuensi dari fungsi domain waktu  $f(x)$ . Dengan demikian, jika transformasi dilakukan pada sebuah gelombang sinus, akan terlihat satu puncak pada frekuensi (positif dan negatif) gelombang sinus tersebut. Hal ini menunjukkan bahwa seluruh energi gelombang sinus terkonsentrasi pada frekuensi tertentu tersebut.

Namun, dalam kehidupan nyata, frekuensi negatif tidak memiliki makna fisik. Jika fungsi domain waktu  $f(x)$  adalah fungsi real, maka Transformasi Fourier  $F(s)$  yang sesuai akan menjadi fungsi genap. Oleh karena itu, frekuensi positif akan selalu mencerminkan frekuensi negatif. Dengan kata lain, fungsi domain waktu  $f(x)$  dan fungsi domain frekuensinya adalah dual satu sama lain.

## 2.3 Aljabar Kompleks

Aljabar kompleks adalah cabang matematika yang mempelajari bilangan kompleks dan operasi-operasi yang berkaitan dengannya. Bilangan kompleks adalah perpanjangan dari bilangan real, yang mencakup komponen real dan imajiner. Bilangan kompleks biasanya dinyatakan dalam bentuk:

$$z = a + bi$$

di mana  $a$  adalah bagian real,  $b$  adalah bagian imajiner, dan  $i$  adalah unit imajiner yang memenuhi persamaan  $i^2 = -1$ .

Bilangan kompleks mendukung operasi aritmetika seperti penjumlahan, pengurangan, perkalian, dan pembagian. Operasi-operasi ini diatur oleh sifat aljabar sebagai berikut:

- Penjumlahan:  $(a + bi) + (c + di) = (a + c) + (b + d)i$
- Pengurangan:  $(a + bi) - (c + di) = (a - c) + (b - d)i$
- Perkalian:  $(a + bi)(c + di) = (ac - bd) + (ad + bc)i$
- Pembagian:  $\frac{a+bi}{c+di} = \frac{(a+bi)(c-di)}{c^2+d^2}$

Bilangan kompleks dapat direpresentasikan secara geometris dalam bidang kompleks (*argand plane*), di mana sumbu  $x$  mewakili komponen real dan sumbu  $y$  mewakili komponen imajiner. Panjang atau magnitudo bilangan kompleks disebut modulus, yang dirumuskan sebagai:

$$|z| = \sqrt{a^2 + b^2}$$

Sudut antara bilangan kompleks dengan sumbu real positif disebut argumen dan dihitung dengan:

$$\arg(z) = \tan^{-1}\left(\frac{b}{a}\right)$$

Bilangan kompleks juga dapat dinyatakan dalam bentuk polar:

$$z = r(\cos\theta + i \sin\theta)$$

Dengan  $r = |z|$  sebagai modulus dan  $\theta = \arg(z)$  sebagai argument. Bentuk eksponensial ini diperoleh dari identitas euler yakni

$$z = re^{i\theta}$$

$$e^{\pm i\theta} = \cos \theta \pm i \sin \theta$$

## III. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

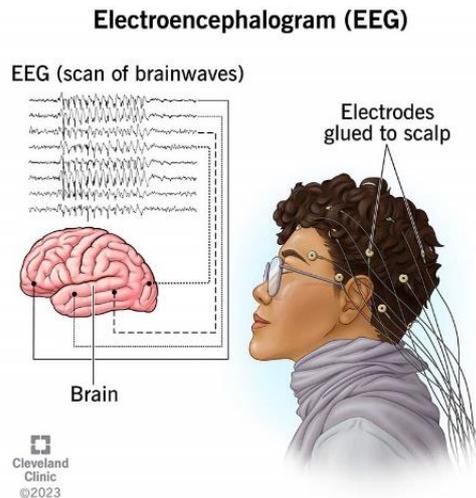
### A. Akuisisi Data EEG

Teknik akuisisi data EEG melibatkan langkah-langkah sistematis untuk memastikan bahwa sinyal listrik otak direkam dengan akurat. Berikut adalah penjelasan rinci mengenai proses akuisisi data EEG:

#### 1. Penempatan Elektroda

Elektroda ditempatkan pada kulit kepala menggunakan sistem standar, seperti Sistem Internasional 10-20. Sistem ini menentukan lokasi elektroda berdasarkan persentase jarak di antara titik anatomi tertentu, seperti nasion (bagian

depan kepala) dan inion (bagian belakang kepala).

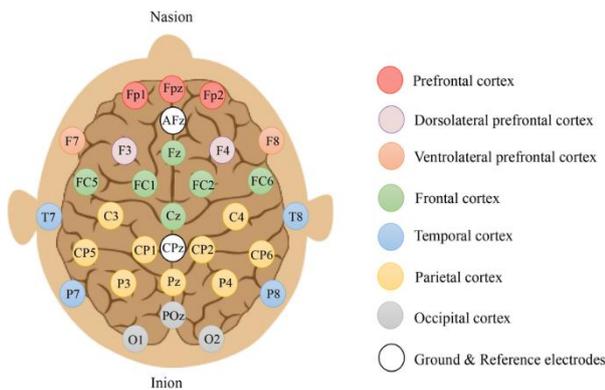


Gambar 2. Pemasangan Elektroda

(Sumber: <https://my.clevelandclinic.org/health/diagnostics/9656-electroencephalogram-eeeg>)

Elektroda dibagi menjadi beberapa lokasi, masing-masing mewakili area tertentu dari otak:

1. F (Frontal): Aktivitas di area depan otak.
2. T (Temporal): Aktivitas di area temporal (samping).
3. C (Central): Aktivitas di area tengah otak.
4. P (Parietal): Aktivitas di area parietal (belakang atas).
5. O (Occipital): Aktivitas di area oksipital (belakang).



Gambar 3. Struktur Otak

(Sumber: [https://www.researchgate.net/figure/Electrode-placement-using-the-Extended-International-10-20-system-10-system-covering\\_fig3\\_336364798](https://www.researchgate.net/figure/Electrode-placement-using-the-Extended-International-10-20-system-10-system-covering_fig3_336364798))

### 2. Penggunaan Gel Konduktif

Gel konduktif diterapkan pada elektroda untuk mengurangi impedansi antara elektroda dan kulit kepala. Impedansi yang rendah (biasanya  $< 5 \text{ k}\Omega$ ) diperlukan untuk memastikan sinyal yang direkam memiliki kualitas tinggi dan minim noise.

### 3. Perangkat Akuisisi

Sinyal EEG direkam menggunakan perangkat akuisisi yang terdiri dari:

- a. Amplifier: Memperkuat sinyal otak yang sangat lemah (dalam mikrovolt).

- b. A/D Converter: Mengubah sinyal analog menjadi digital untuk analisis komputer.
- c. Sampling Rate: EEG direkam dengan sampling rate antara 250 Hz hingga 1000 Hz, memastikan frekuensi tinggi dapat tertangkap tanpa aliasing (sesuai dengan Teorema Nyquist).

### 4. Pengurangan Artefak

Artefak biologis dan non-biologis dapat memengaruhi sinyal EEG. Upaya pengurangan artefak dilakukan selama dan setelah perekaman:

- a. Artefak Biologis: Seperti kedipan mata, gerakan otot, atau detak jantung.
- b. Artefak Non-Biologis: Seperti interferensi listrik dari perangkat lain.

### 5. Kalibrasi dan Pengaturan Awal

Sebelum perekaman dimulai, perangkat EEG dikalibrasi untuk memastikan bahwa hasil rekaman akurat. Operator juga memeriksa impedansi elektroda dan kualitas sinyal secara real-time.

### 6. Rekaman Data EEG

Data EEG direkam dalam durasi tertentu, tergantung pada tujuan penelitian atau diagnosis. Misalnya:

- a. Rekaman Singkat: Beberapa menit untuk studi sederhana.
- b. Rekaman Panjang: Beberapa jam hingga 24 jam untuk studi seperti pemantauan epilepsi.

Hasil perekaman berupa data mentah yang terdiri dari aktivitas otak dalam domain waktu. Data ini kemudian siap untuk diproses lebih lanjut melalui Transformasi Fourier.

## B. Pra-pemrosesan Sinyal EEG

Data percobaan ini, data EEG diambil dari Massachusetts Institute of Technology (MIT) dan mencakup rekaman EEG pasien epilepsi. Dataset yang dipilih berasal dari channel 1 dan channel 24 pada sumber tersebut.

Pra-pemrosesan adalah langkah penting untuk memastikan kualitas sinyal sebelum Transformasi Fourier dilakukan. Langkah-langkah utama meliputi:

- a. Filtrasi Frekuensi:
  1. Menggunakan band-pass filter (0.5–100 Hz) untuk mempertahankan komponen frekuensi yang relevan.
  2. Menggunakan notch filter pada 50 Hz untuk menghilangkan noise akibat interferensi daya listrik.
- b. Segmentasi:
  1. Sinyal EEG dipotong menjadi segmen waktu 2 detik untuk memastikan analisis spektral yang detail.
- c. Normalisasi:
  1. Amplitudo sinyal dinormalisasi untuk menghindari bias dalam analisis spektrum.

### C. Transformasi Fourier dan Spektrogram

Untuk menganalisis sinyal EEG menggunakan Fast Fourier Transform (FFT), langkah pertama adalah memastikan semua perangkat lunak dan pustaka yang diperlukan telah terinstal. Pustaka Python seperti pyedflib, numpy, matplotlib, dan pandas harus diinstal melalui manajer paket seperti pip. File EEG yang akan dianalisis harus tersedia dalam format EDF (European Data Format), yang merupakan format standar untuk data EEG.

```
pip install pyedflib numpy matplotlib pandas
```

Gambar 4. Syntax Install Library Python

```
1 from pyedflib import EdfReader
2 import numpy as np
3 import matplotlib.pyplot as plt
4 import pandas as pd
5 import os
6
7 # Cek direktori kerja
8 print("Current working directory:", os.getcwd())
9
10 # Load the EDF file
11 file_path = "chb24_01.edf" # Path ke file Anda
12 edf_data = EdfReader(file_path)
13
14 # Ekstraksi sinyal dari channel pertama
15 sampling_rate = edf_data.getSampleFrequency(0) # Sampling rate (Hz)
16 signal_data = edf_data.readSignal(0)
17 edf_data.close()
18
19 # Transformasi Fourier
20 fft_result = np.fft.fft(signal_data)
21 frequencies = np.fft.fftfreq(len(signal_data), d=1/sampling_rate)
22
23 # Hanya mengambil frekuensi positif
24 positive_freqs = frequencies[len(frequencies)//2:]
25 positive_fft = np.abs(fft_result[len(frequencies)//2:])
26
27 # Plot Sinyal dalam Domain Waktu
28 plt.figure(figsize=(14, 6))
29 plt.subplot(2, 1, 1)
30 time_axis = np.linspace(0, len(signal_data) / sampling_rate, len(signal_data))
31 plt.plot(time_axis, signal_data)
32 plt.title("Sinyal EEG - Domain Waktu")
33 plt.xlabel("Waktu (s)")
34 plt.ylabel("Amplitudo")
35
36 # Plot Spektrum Frekuensi
37 plt.subplot(2, 1, 2)
38 plt.plot(positive_freqs, positive_fft)
39 plt.title("Sinyal EEG - Spektrum Frekuensi")
40 plt.xlabel("Frekuensi (Hz)")
41 plt.ylabel("Amplitudo")
42 plt.tight_layout()
43 plt.show()
44
45 # Data yang akan disimpan
46 fft_data = pd.DataFrame({
47     "Frequency (Hz)": positive_freqs,
48     "Amplitude": positive_fft
49 })
50
51 # Simpan sebagai file CSV
52 try:
53     output_path = "fft_analysis_24.csv"
54     fft_data.to_csv(output_path, index=False)
55     print(f"File berhasil disimpan di: {output_path}")
56 except Exception as e:
57     print("Error saat menyimpan file:", e)
```

Gambar 5. Program FFT

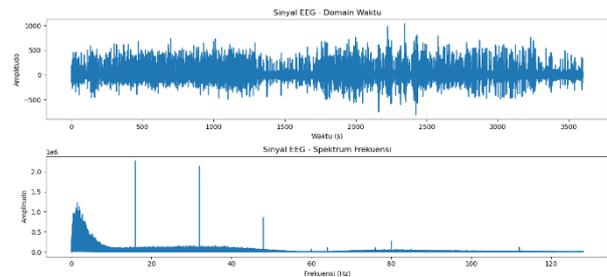
Langkah berikutnya adalah memuat data EEG dari file EDF menggunakan pustaka pyedflib. Objek EdfReader digunakan untuk membaca file tersebut, yang memungkinkan akses ke sinyal dari channel yang diinginkan. Dalam hal ini, sinyal dari channel 1 dan channel 24 diambil menggunakan fungsi readSignal(0). Selain itu, frekuensi sampling (sampling rate) dari data juga diekstraksi. Frekuensi sampling ini penting untuk

memahami seberapa sering data dikumpulkan, yang merupakan dasar untuk analisis lebih lanjut.

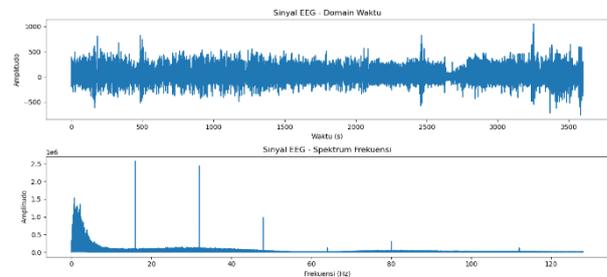
Setelah data sinyal diperoleh, Transformasi Fourier diterapkan pada sinyal EEG untuk mengubahnya dari domain waktu ke domain frekuensi. Proses ini dilakukan menggunakan algoritma Fast Fourier Transform (FFT). Analisis domain waktu menunjukkan fluktuasi amplitudo sinyal EEG yang khas, sementara domain frekuensi mengidentifikasi komponen dominan seperti gelombang alpha dan beta. Namun, untuk menganalisis perubahan frekuensi terhadap waktu, spektrogram digunakan.

Spektrogram dari sinyal EEG menunjukkan distribusi energi frekuensi terhadap waktu. Gambar yang dihasilkan mengungkapkan bahwa intensitas tinggi dominan pada frekuensi rendah (<10 Hz), yang sesuai dengan gelombang delta dan theta, serta pada frekuensi 10 Hz, yang mencerminkan gelombang alpha. Tidak ditemukan lonjakan frekuensi abnormal yang dapat menjadi indikasi langsung aktivitas epileptiform, seperti spike atau pola burst di frekuensi rendah. Namun, noise pada frekuensi sekitar 50 Hz terdeteksi sebagai hasil dari interferensi daya listrik.

Selain itu, analisis menunjukkan adanya beberapa frekuensi dominan antara 0.25 hingga 9.75 Hz dengan intensitas tinggi. Frekuensi ini sesuai dengan aktivitas normal gelombang otak, tetapi untuk memastikan tidak ada gangguan neurologis, diperlukan konfirmasi lebih lanjut dengan membandingkan hasil ini dengan baseline klinis pasien.



Gambar 6. Spektrogram Sinyal EEG Ch 1



Gambar 7. Spektrogram Sinyal EEG Ch 24

Data dari channel 1 dan channel 24 dibandingkan untuk menentukan perbedaan aktivitas otak di area yang berbeda. Analisis menunjukkan bahwa channel 24 memiliki amplitudo maksimum sebesar 2,579,528, sedikit lebih tinggi dibandingkan channel 1 yang memiliki amplitudo maksimum 2,273,091. Rata-rata amplitudo pada channel 1

adalah 30,313, sedangkan channel 24 memiliki rata-rata amplitudo sebesar 28,632. Standar deviasi amplitudo pada channel 24 (67,379) lebih besar dibandingkan channel 1 (61,870), yang menunjukkan variasi amplitudo yang lebih dinamis pada channel 24.

Perbedaan ini mengindikasikan adanya aktivitas otak yang lebih intens pada channel 24. Namun, tidak ditemukan pola lonjakan amplitudo mendadak atau abnormalitas frekuensi yang jelas di salah satu channel. Hal ini menunjukkan bahwa tidak ada indikasi langsung dari aktivitas epileptiform berdasarkan data ini.

#### D. Optimasi dengan Aljabar Kompleks

Dalam analisis sinyal EEG, aljabar kompleks memberikan pendekatan yang optimal untuk memisahkan dan memahami informasi mendalam tentang sinyal. Representasi kompleks memungkinkan sinyal untuk dianalisis berdasarkan amplitudo (intensitas kekuatan sinyal) dan fase (hubungan temporal antar-frekuensi). Pendekatan ini menawarkan alat yang penting untuk mengevaluasi sifat sinyal EEG yang tidak dapat diperoleh hanya dengan analisis domain waktu.

Aljabar kompleks merepresentasikan sinyal EEG dalam bentuk berikut:

$$X(f) = A(f)e^{j\phi(f)}$$

Di mana  $A(f)$  adalah amplitudo sinyal,  $\phi(f)$  adalah fase sinyal, dan  $j$  adalah unit imajiner. Pendekatan ini menyatukan bagian real dan imajiner dari sinyal untuk memberikan representasi yang lengkap dan optimal. Hasil ini memungkinkan analisis sinyal EEG tidak hanya dari kekuatan komponen frekuensi tetapi juga dari dinamika temporal antar-frekuensi.

##### a. Amplitudo ( $A(f)$ )

Amplitudo memberikan informasi tentang kekuatan atau intensitas sinyal pada berbagai frekuensi. Amplitudo ini dapat dihitung sebagai modulus sinyal kompleks.

$$A(f) = \sqrt{\text{Re}(X(f))^2 + \text{Im}(X(f))^2}$$

Dalam sinyal EEG, amplitudo dominan pada frekuensi rendah sering mencerminkan aktivitas gelombang delta atau theta, sedangkan amplitudo tinggi pada frekuensi menengah mencerminkan aktivitas pada gelombang alpha dan beta.

##### b. Fase ( $\phi(f)$ )

Fase menggambarkan hubungan temporal antara komponen frekuensi dalam sinyal EEG. Fase ini dihitung sebagai argument dari sinyal kompleks.

$$\phi(f) = \arctan\left(\frac{\text{Im}(X(f))}{\text{Re}(X(f))}\right)$$

Fase penting dalam memahami sinkronisasi antar-channel, yang menunjukkan konektivitas otak antara area tertentu. Ketidakteraturan fase bisa menjadi indikasi gangguan neurologis seperti epilepsi.

Manfaat aljabar kompleks dalam optimasi analisis EEG mencakup analisis frekuensi yang mendalam, di mana amplitudo pada setiap frekuensi dapat dianalisis secara kuantitatif untuk mengidentifikasi komponen dominan seperti gelombang delta, theta, alpha, beta, atau gamma, yang memberikan wawasan tentang kondisi otak, seperti relaksasi (alpha), fokus (beta), atau gangguan (frekuensi abnormal). Aljabar kompleks juga memungkinkan pengukuran sinkronisasi fase antar-channel EEG, di mana koherensi yang tinggi menunjukkan aktivitas otak yang terkoordinasi, sedangkan sinkronisasi yang terganggu dapat menjadi indikasi masalah neurologis. Perubahan mendadak dalam amplitudo atau fase dapat mengindikasikan aktivitas epileptiform, seperti *spike* atau *sharp wave*, yang relevan dalam deteksi epilepsi atau gangguan neurologis lainnya. Selain itu, representasi kompleks mengoptimalkan efisiensi komputasi dengan memungkinkan analisis amplitudo dan fase secara simultan. Sebagai contoh, amplitudo yang tinggi pada frekuensi 10 Hz mengindikasikan gelombang alpha yang berhubungan dengan relaksasi otak, sedangkan sinkronisasi fase stabil menunjukkan aktivitas otak normal, tetapi ketidakteraturan fase, seperti pola burst atau spike, dapat menjadi indikasi awal epilepsi.

#### IV. KESIMPULAN

Transformasi Fourier memungkinkan analisis mendalam terhadap komponen frekuensi dominan pada sinyal EEG, seperti gelombang alpha, beta, delta, dan theta, yang memberikan wawasan tentang berbagai kondisi neurologis. Aljabar kompleks menambah dimensi analisis dengan mengevaluasi amplitudo dan fase, yang relevan untuk mempelajari intensitas sinyal serta hubungan temporal antar-channel EEG. Analisis amplitudo menunjukkan dominasi gelombang alpha dan beta, mengindikasikan aktivitas otak normal, sementara tidak ditemukan pola spike atau ketidakteraturan fase signifikan yang dapat menunjukkan gangguan seperti epilepsi. Pendekatan ini berpotensi digunakan untuk deteksi dini berbagai gangguan neurologis, seperti epilepsi, gangguan tidur, stroke, trauma kapitis, dan nyeri kepala, meskipun penelitian lebih lanjut diperlukan untuk memastikan aplikasinya dalam konteks klinis.

#### V. UCAPAN TERIMA KASIH

Segala puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas limpahan rahmat, karunia, dan hidayah-Nya, sehingga makalah ini dapat terselesaikan dengan baik.

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Bapak Dr. Ir. Rinaldi Munir, M.T., selaku

dosen pengampu mata kuliah Aljabar Linear dan Geometri (IF2123), atas ilmu, bimbingan, dan inspirasi yang telah diberikan selama perkuliahan. Materi yang diajarkan menjadi dasar yang sangat berharga dalam memahami konsep aljabar yang diterapkan pada analisis sinyal EEG dalam makalah ini.

Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada Khalish Alwahhabu Nur Ilham, pemberi referensi terkait topik EEG, atas dukungan dan sumber bacaan yang relevan. Kontribusinya sangat membantu dalam memperkaya pengetahuan dan analisis yang dilakukan dalam makalah ini.

Semoga segala kebaikan, ilmu, dan kontribusi yang diberikan menjadi berkah serta manfaat bagi banyak pihak.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] "PEMERIKSAAN KHUSUS NEUROLOGI Lumbar Puncture (LP)." [Diakses: 1-Jan-2025].
- [2] IEEE Staff, *2012 International Conference on System Engineering and Technology (ICSET)*. IEEE, 2012. [Diakses: 1-Jan-2025].
- [3] R. Munir, "Singular Value Decomposition Bagian 1," Program Studi Teknik Informatika, Institut Teknologi Bandung, 2023. [Online]. Tersedia: <https://informatika.stei.itb.ac.id/~rinaldi.munir/AljabarGeometri/2023-2024/Algeo-24-Aljabar-Kompleks-2023.pdf>. [Diakses: 30-Des-2024].

#### PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa makalah yang saya tulis ini adalah tulisan saya sendiri, bukan saduran, atau terjemahan dari makalah orang lain, dan bukan plagiasi.

Bandung, 2 Januari 2025



Andrew Isra Saputra DB (13523110)