

# Spektrum Frekuensi Sinyal EEG Terhadap Pergerakan Motorik dan Imajinasi Pergerakan Motorik

Endro Yulianto<sup>1)</sup>, Adhi Susanto<sup>2)</sup>, Thomas Sri Widodo<sup>3)</sup>, Samekto Wibowo<sup>4)</sup>

<sup>1)</sup>Mahasiswa Pasca Sarjana Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik,  
Universitas Gadjah Mada Yogyakarta

<sup>2,3)</sup>Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi  
Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada Yogyakarta

<sup>4)</sup>Fakultas Kedokteran, Universitas Gadjah Mada Yogyakarta

## Abstract

*This research is aimed to get frequency spectrum of EEG signals for the motor movement and imagination of motor movement. EEG data is measured from scalp electrode of C3, C4, P3 and P4 (Central and Parietal). The motor movement in this research is "turn right" and "turn left" in which the steering wheels are used to facilitate the volunteer in having concentration. Imagination of motor movement meanwhile represents desire of volunteer to turn steering wheel either to right or to left. Fourier transform is used to transform signals in time domain becoming signals in frequency domain. The result in this research shows the difference of frequency spectrum among motor movement of "turn right" and "turn left" as well as in imagination of motor movement.*

*Keywords: BCI, ERS/ERD, transformasi fourier, motor movement*

## 1. Pendahuluan

Aktivitas kelistrikan pada tubuh atau disebut biolistrik merupakan suatu proses perpindahan ion Sodium ( $\text{Na}^+$ ) dari luar sel masuk ke dalam sel ataupun sebaliknya (Gabriel, 1996). Beberapa peralatan kedokteran yang digunakan untuk mengukur sinyal biolistrik dari jaringan tubuh pasien diantaranya adalah Elektrokardiograf (EKG) yang berfungsi untuk mengukur sinyal biolistrik pada jantung, Elektroensefalograf (EEG) yang berfungsi untuk mengukur sinyal biolistrik pada jaringan otak dan Elektromiograf (EMG) untuk mengukur sinyal biolistrik pada jaringan otot. Hasil pengukuran sinyal biolistrik ini pada bidang kedokteran diperlukan untuk menegakkan diagnosis terhadap kondisi pasien (Gabriel, 1996). Dari sinyal biolistrik tersebut dapat diketahui apakah seseorang mengalami suatu kelainan ataupun tidak.

Pada perkembangannya, selain digunakan pada bidang kedokteran, biolistrik juga dapat dimanfaatkan untuk keperluan lain. Salah satu pemanfaatan dari sinyal biolistrik adalah untuk

melakukan komunikasi ataupun kontrol terhadap suatu perangkat luar. Sinyal biolistrik yang sering digunakan untuk keperluan tersebut adalah biolistrik yang berasal dari otak yaitu Elektroensefalogram (EEG). Hal ini disebabkan EEG merupakan sinyal otak yang diperoleh dengan metode *non-invasive*, sehingga lebih aman bagi pengguna karena tidak memerlukan adanya pembedahan pada otak. Teknologi yang memanfaatkan sinyal EEG untuk melakukan kontrol atau komunikasi dengan suatu perangkat luar dikenal dengan nama *Brain Computer Interface* (BCI).

Salah satu jenis sinyal EEG yang digunakan pada sistem BCI adalah sinyal *Event-Related Synchronization/Desynchronization* (ERS/ERD) yaitu jenis sinyal EEG yang muncul sebagai akibat dari adanya pergerakan motorik yang dilakukan oleh organ tubuh. Suatu gerakan yang sesuai akan mengakibatkan terjadinya kenaikan dan penurunan amplitudo sinyal EEG dalam rentang frekuensi yang spesifik. Sinyal ini secara maksimum akan terukur pada daerah *motor cortex*. Adanya suatu rangsangan dari luar tubuh, perilaku motorik dan

mental pada seseorang dapat menyebabkan kenaikan dan penurunan amplitudo sinyal ERS/ ERD (Xu dan Song, 2010). Untuk mendapatkan ERS/ERD diperlukan suatu proses pengolahan sinyal yang tepat. Hal ini disebabkan sinyal ini tenggelam di dalam sinyal latar ataupun sinyal biolistrik lain yang berasal dari jantung, pergerakan bola mata serta kontraksi otot. Oleh karena itu diperlukan pula adanya tahap segmentasi data pada rentang waktu yang tepat agar sinyal yang diolah merupakan sinyal ERS/ERD yang berasal dari hasil pergerakan motorik. Segmentasi data akan dijelaskan secara rinci pada bagian 3 yang membahas tentang Metodologi.

Penelitian-penelitian mengenai pengolahan dan klasifikasi sinyal EEG yang dibangkitkan dari rangsangan pergerakan motorik telah banyak dilakukan. Xu dan Song (2008) melakukan penelitian tentang sinyal EEG dengan perintah pergerakan tangan kanan dan tangan kiri yang diukur pada titik C3, Cz dan C4 dengan metode penyadapan bipolar. Sinyal EEG yang didapat dilakukan pengolahan awal berupa filter bandpass 0.5 - 30 Hz. Selanjutnya sinyal tersebut didekomposisi dengan menggunakan transformasi wavelet.

Mu, dkk (2009), meneliti sinyal EEG dengan perintah pergerakan tangan kanan dan tangan kiri yang diukur dari titik elektrode C3, Cz dan C4. *Short Time Fourier Transform (STFT)* digunakan untuk mengubah sinyal EEG yang berada dalam domain waktu menjadi sinyal dalam domain waktu-frekuensi, namun sebelumnya dilakukan filter bandpass antara 1 - 45 Hz. Dari metode ini didapatkan hasil bahwa selama melakukan pergerakan tangan kiri, konsentrasi energi berada pada rentang frekuensi 10 -15 Hz di titik elektrode C3, sebaliknya saat melakukan pergerakan tangan kanan konsentrasi energi pada rentang frekuensi 10-15 Hz berada di titik elektrode C4.

Faradji, dkk (2010) pada penelitiannya, EEG diukur dari titik C3, C4, P3, P4, O1 dan O2 berdasarkan sistem internasional 10-20. Sistem ini mendasarkan pengukuran yang dibuat dari *nasion inion* sisi kiri dan kanan kepala. Terdapat 4 perintah yang berbeda pada penelitian ini yaitu: menghitung suatu perkalian, membuat surat kepada teman, memutar obyek 3 dimensi dan menulis urutan angka yang tertera pada suatu papan.

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan dan membandingkan spektrum frekuensi sinyal EEG yang diperoleh dengan rangsangan berupa pergerakan motorik serta imajinasi pergerakan motorik "belok kanan" dan "belok kiri". Pergerakan motorik "belok kanan" dan "belok kiri" dilakukan relawan dengan cara menggerakkan simulasi setir mobil ke arah kanan dan kiri, sementara imajinasi pergerakan motorik hanya sebatas keinginan relawan untuk menggerakkan setir ke arah kanan dan kiri tanpa melakukan gerakan secara nyata.

Pengambilan data dilakukan dengan menempatkan titik-titik elektrode pada C3, C4, P3 dan P4 (Central dan Parietal) terhadap 22 orang relawan dalam kondisi sehat dan tidak mengalami kelumpuhan otot seperti ditunjukkan pada gambar 4 dan 5. Hal disebabkan titik-titik elektrode tersebut berada pada daerah *motor cortex* yaitu daerah pada otak yang mempunyai relevansi langsung dengan perintah motorik. Untuk memudahkan relawan dalam berimajinasi dan memusatkan pikiran, pada pengambilan data EEG digunakan suatu alat bantu berupa setir mobil dan perangkat lunak yang berfungsi untuk memunculkan rangsangan berupa tanda petunjuk arah belok kanan dan belok kiri pada layar monitor serta mencatat waktu tiap kemunculan rangsangan seperti ditunjukkan pada gambar 3.

## 2. Fundamental

Sinyal EEG berdasarkan rentang frekuensi terbagi dalam beberapa jenis. Adapun klasifikasi gelombang EEG adalah sebagai berikut:

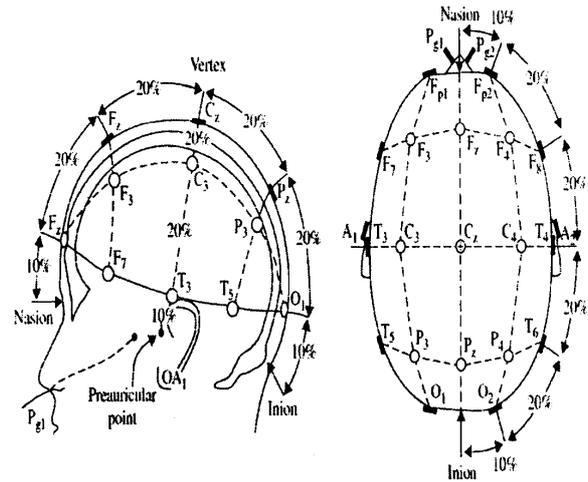
1. **Beta** merupakan gelombang otak dengan rentang frekuensi antara 13 - 30 Hz. Beta adalah gelombang otak yang biasanya terjadi pada saat seseorang sedang aktif berpikir, aktif konsentrasi atau sedang fokus dalam memecahkan suatu permasalahan. Beta terbagi lagi ke dalam 2 kelompok berdasarkan rentang frekuensi yaitu Beta Low (13-20 Hz) dan Beta High (20 - 30 Hz)
2. **Alpha** merupakan gelombang otak dengan rentang frekuensi antara 8 - 13 Hz. Alpha mengindikasikan seseorang dalam keadaan kondisi pikiran relaks. Gelombang ini paling besar muncul pada bagian otak daerah

*occipital cortex* dan juga pada bagian *frontal cortex*.

3. **Theta** merupakan gelombang otak dengan rentang frekuensi antara 4 - 8 Hz. Theta muncul pada seseorang yang mengalami stress secara emosional terutama hstasi atau kekecewaan.
4. **Delta** merupakan gelombang otak dengan rentang frekuensi antara 0.5 - 4 Hz. Delta muncul pada saat seseorang dalam keadaan tidur nyenyak. Sinyal delta dapat pula mengindikasikan adanya cacat fisik di otak.
5. **Gamma** merupakan gelombang otak dengan rentang frekuensi antara 35 - 45 Hz (Perlis, dkk, 2001). Gelombang otak ini terjadi pada saat seseorang mengalami aktivitas mental yang sangat tinggi, keadaan sangat panik ataupun ketakutan dalam kondisi kesadaran penuh.
6. **Mu Rhytm** merupakan gelombang otak yang berada dalam rentang frekuensi gelombang alpha. Gelombang ini terjadi pada bagian *sensorimotor cortex*. Modulasi irama Mu diyakini mencerminkan output listrik dari sinkronisasi sebagian besar *neuron pyramidal* dari *motor cortex* yang mengendalikan gerakan tangan dan lengan.

Penelitian ini menggunakan hasil pengukuran sinyal EEG terhadap 22 relawan yang dilakukan dengan teknik unipolar "Sistem 10 - 20" seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Pengolahan awal dilakukan dengan menggunakan filter bandpass 4-20 Hz. Pemilihan rentang filter bandpass ini didasarkan bahwa ERD/ERS pada sinyal EEG yang terjadi akibat dari adanya pergerakan motorik maupun imajinasi pergerakan motorik berada pada rentang alpha (8 - 13 Hz) dan Beta Low (di bawah 20 Hz) seperti yang diungkapkan dalam penelitian Xu dan Song (2010) bahwa sinyal EEG pada rentang frekuensi mu-rhythm (7 - 12 Hz) dan rentang frekuensi beta (di atas 13 Hz) yang dihasilkan dari bagian tengah otak berhubungan erat dengan perintah pergerakan motorik. Penelitian Neuper, dkk, 2006 menyatakan bahwa sinyal ERS/ERD didapatkan dengan filter bandpass dalam rentang alpha yaitu 10-13 Hz dan dalam rentang filter beta yaitu 15-20 Hz. Mu, dkk (2009) melakukan penelitian tentang sinyal EEG dengan

perintah pergerakan tangan kanan dan tangan kiri. Pada penelitian ini didapatkan hasil bahwa pada pergerakan tangan kiri, konsentrasi energi berada dalam frekuensi 10 - 15 Hz di titik elektrode C3, sebaliknya pada pergerakan tangan kanan konsentrasi energi pada rentang frekuensi 10 - 15 Hz berada di titik elektrode C4.



**Gambar 1.** Teknik pemasangan elektrode EEG Sistem 10-20 (Sanei, 2007 )

Transformasi *fourier* merupakan suatu teknik matematika yang berfungsi mentransformasikan sinyal dalam domain waktu menjadi sinyal yang berdomain frekuensi. Adapun persamaan *fourier* adalah sebagai berikut :

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t).e^{-2\pi ft} dt \tag{1}$$

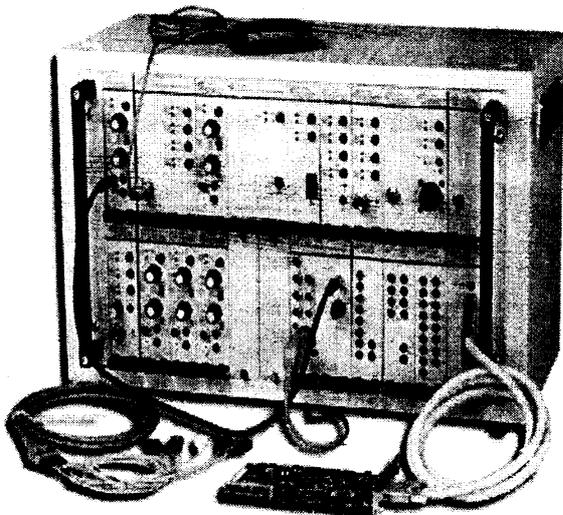
Pada persamaan tersebut *t* adalah waktu, *f* adalah frekuensi dan *x* melambangkan sinyal yang akan ditransformasikan. *x* merupakan sinyal dalam domain waktu dan *X* merupakan sinyal dalam domain frekuensi. Transformasi *fourier* digunakan untuk mencmukan spektrum frekuensi dari data sinyal EEG yang berhubungan dengan pergerakan motorik maupun imajinasi untuk melakukan pergerakan motorik "belok kanan" dan "belok kiri".

### 3. Metodologi

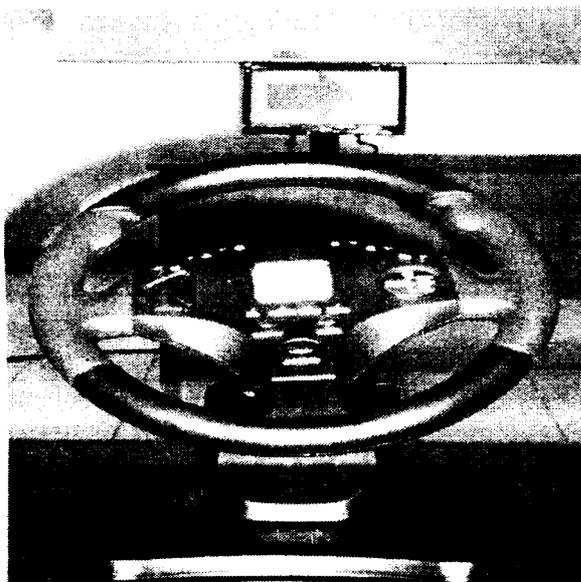
Pengambilan data dilakukan di Politeknik Kesehatan Kemenkes RI Jurusan Teknik Elektromedik Surabaya. Peralatan yang digunakan adalah

*Biosignal Measurement Instrument K&H Type KL-710* seperti ditunjukkan pada Gambar 2.

Pengambilan data EEG menggunakan dengan *sampling rate* 200 Hz. Hal ini dilakukan karena untuk mendapatkan resolusi data EEG yang baik pengukuran dianjurkan menggunakan *sampling rate* minimal 3 kali frekuensi tertinggi dari EEG (Wong,dkk, 1999). Dengan frekuensi gelombang gamrna yang berada pada rentang 35 - 45 Hz, maka *sampling rate* 200 Hz sudah mencukupi untuk mendapatkan resolusi data yang baik.



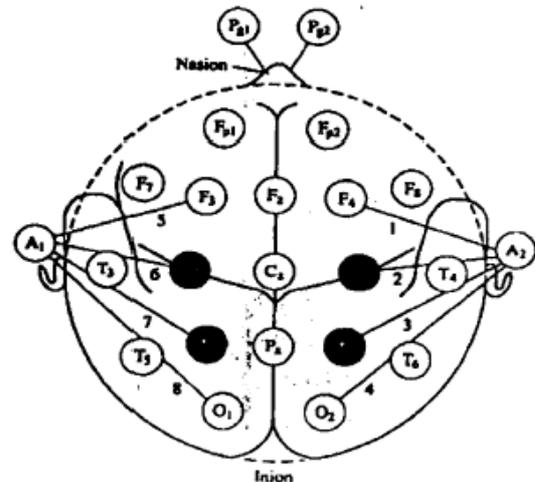
**Gambar 2.** Biosignal Measurement Instrument K&H Type KL-710



**Gambar 3.** Alat bantu setir mobil dan tanda belok



**Gambar 4.** Titik-titik elektrode EEG pada relawan



**Gambar 5.** Skema Titik-titik elektrode EEG pada relawan dengan sistem 10-20 (Gabriel, 1996)

Adapun tahapan pengambilan data EEG dari relawan adalah sebagai berikut:

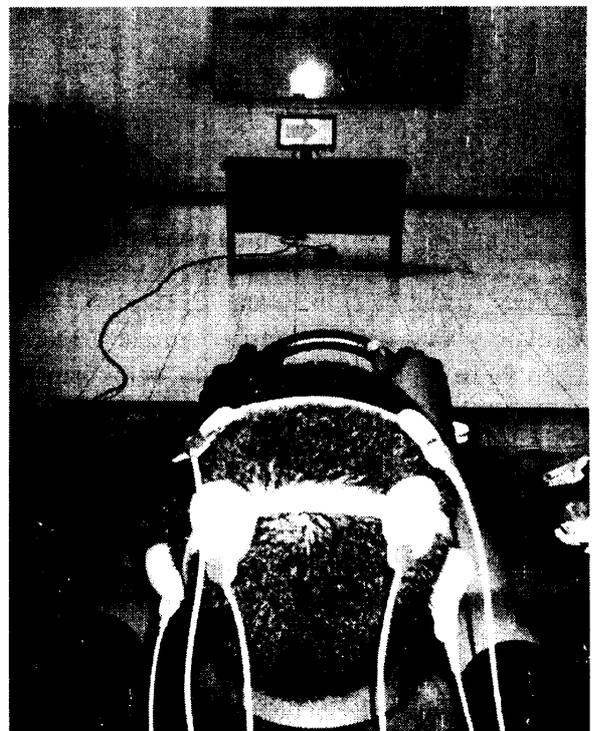
1. Elektrode dipasang pada titik C3, C4, P3 dan P4 menggunakan sistem unipolar dengan daun telinga kanan dan kiri sebagai titik referensi.
2. Kabel EEG dari alat *Biosignal Measurement Instrument K&H Type KL-710* dipasang pada elektrode yang telah ditempelkan pada kulit kepala.
3. Pemasangan elektrode EEG dilakukan oleh perawat dari laboratorium medis yang memiliki kompetensi dalam pemasangan elektrode dan pengoperasian peralatan EEG.
4. Alat bantu berupa setir mobil diletakkan di depan relawan dengan posisi disesuaikan

terhadap ketinggian tangan agar relawan tetap merasa nyaman. Layar monitor yang berfungsi untuk memunculkan rangsangan berupa petunjuk arah pergerakan diletakkan dengan jarak yang agak jauh untuk menghindari terjadinya potensial listrik otak yang muncul sebagai akibat dari rangsangan berupa cahaya.

5. Sebelum pengukuran dimulai, relawan diminta untuk relaks tidak banyak melakukan gerakan, kedua tangan memegang setir dan pandangan mata hanya tertuju pada layar monitor petunjuk arah pergerakan. Hal ini dilakukan untuk mengurangi derau berupa EMG (*elektromiograf*) yang berasal dari otot dan EOG (*elektrookulograf*) yang berasal dari pergerakan bola mata relawan.
6. Pada saat dimulai pengukuran relawan diminta untuk memperhatikan petunjuk pergerakan pada layar monitor. Jika pada layar monitor muncul petunjuk arah belok kanan, maka relawan diminta untuk membelokkan setir ke kanan begitu pula jika muncul petunjuk arah belok kiri, maka relawan diminta untuk membelokkan setir ke kiri. Pergerakan pada saat membelokkan setir dilakukan secara wajar tanpa ada pergerakan yang berlebihan.
7. Satu kali tahapan pengukuran terdapat rangsangan petunjuk arah sebanyak 5 kali belok kanan dan 5 kali belok kiri yang terjadi secara acak. Waktu kemunculan rangsangan petunjuk arah pada layar monitor berlangsung selama 3 detik dan jarak antara kemunculan tiap rangsangan berselang 3 detik. Tiap relawan dilakukan pengambilan data sebanyak 10 tahapan yaitu 5 tahapan dengan menggerakkan setir dan 5 tahapan selanjutnya tanpa menggerakkan setir. Setiap tahapan diberikan jeda waktu kurang lebih 5-10 menit agar relawan dapat beristirahat.
8. Pada pengukuran ini digunakan perangkat lunak yang digunakan untuk mengetahui kapan rangsangan muncul pada monitor. Ketepatan untuk mengetahui waktu dimana rangsangan petunjuk arah muncul diperlukan untuk melakukan segmentasi.
9. Berdasarkan waktu yang telah diperoleh dari perangkat lunak tersebut selanjutnya dilakukan segmentasi sinyal EEG. Segmentasi dilakukan

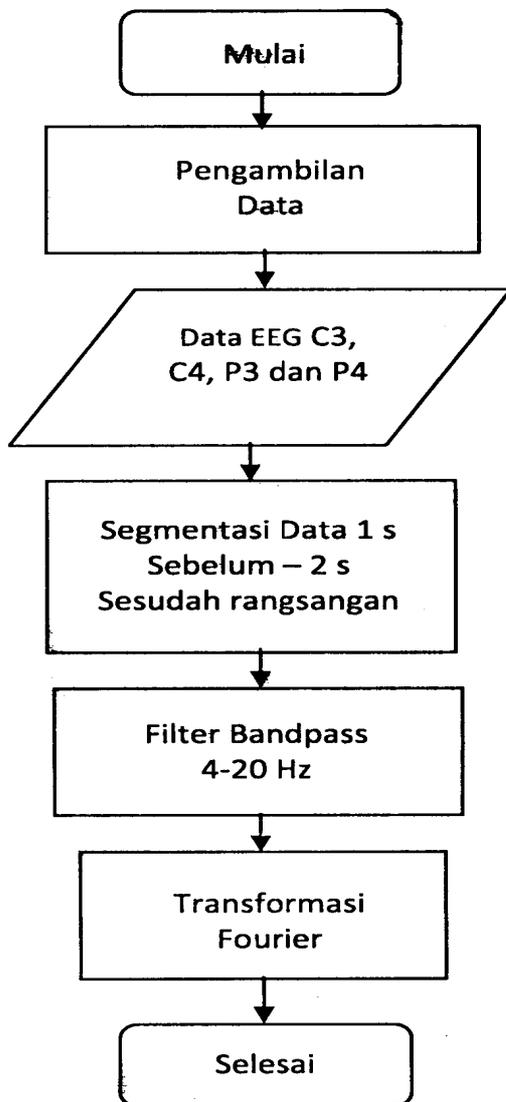
dengan cara mencuplik data 1 detik sebelum sampai dengan 2 detik setelah rangsangan berupa petunjuk arah belok kanan dan belok kiri diberikan. Segmentasi bertujuan agar pengolahan sinyal lebih mudah dan terfokus pada sinyal ERS/ERD yang terjadi secara singkat sesaat sebelum dan kurang lebih 1 detik setelah munculnya rangsangan (Putz,dkk, 2010). Untuk itu segmentasi data 1 detik sebelum sampai dengan 2 detik setelah rangsangan diberikan sangatlah tepat untuk menemukan spektrum frekuensi ERS/ERD.

10. Sinyal EEG hasil pengukuran dikelompokkan berdasarkan arah pergerakan "belok kanan" dan "belok kiri" dan posisi elektrode yaitu C3, C4, P3 dan P4 serta pergerakan motorik dengan menggerakkan setir dan imajinasi pergerakan motorik tanpa menggerakkan setir.
11. Pengukuran dilakukan terhadap 22 orang relawan dalam kondisi sehat dan tidak mengalami kelumpuhan otot. Seluruh relawan aktif menggerakkan bagian kanan tubuhnya atau dengan kata lain seluruh relawan tidak ada yang kidal.



**Gambar 6.** Kondisi relawan saat pengambilan data

Adapun diagram blok penelitian ini ditunjukkan pada **Gambar 7**.



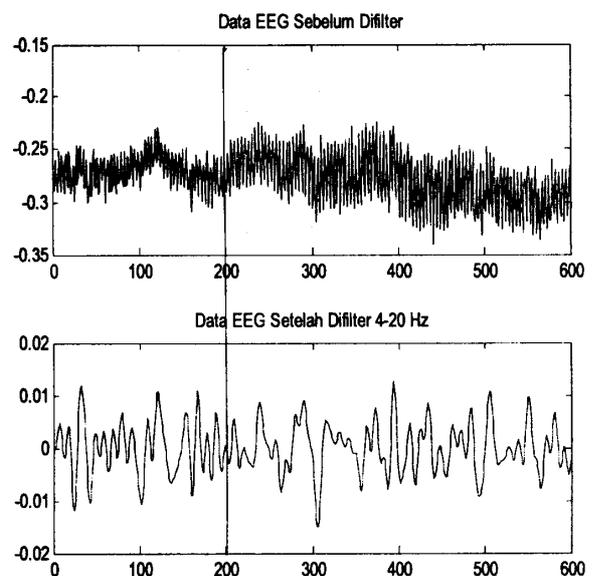
**Gambar 7.** Diagram blok penelitian

Pada penelitian ini data EEG dari hasil pengukuran yang berasal dari elektrodc C3, C4, P3 dan P4 baik pergerakan motorik "belok kanan" dan "belok kiri" dengan menggerakkan setir maupun imajinasi pergerakan motorik tanpa menggerakkan setir dilakukan segmentasi. Segmentasi dilakukan dengan cara mencuplik data 1 detik sebelum sampai dengan 2 detik setelah rangsangan muncul pada layar monitor dengan tujuan agar transformasi fourier lebih terfokus pada sinyal ERS/ERD. Pada penelitian Putz, dkk, 2010 menjelaskan bahwa sinyal ERS/ERD terjadi secara singkat sesaat sebelum dan kurang lebih 1 detik setelah munculnya rangsangan diberikan. Sementara,

Neuper, dkk, 2006 pada penelitiannya menyatakan bahwa sinyal ERS/ERD muncul pada periode kurang lebih 500 ms setelah rangsangan diberikan. Segmentasi ini sebagai upaya agar hanya sinyal hasil pergerakan motorik saja yang selanjutnya diolah. Hasil dari penelitian ini adalah spektnun frekuensi sinyal EEG hasil pergerakan motorik belok kanan dan belok kiri baik dengan menggerakkan setir serta imajinasi tanpa menggerakkan setir.

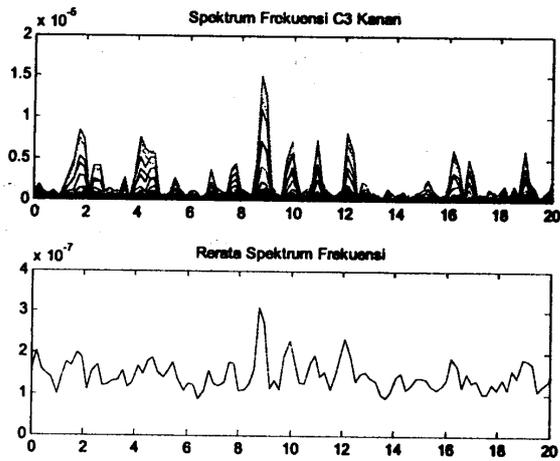
#### 4. Hasil dan Pembahasan

Hasil dari penelitian ini adalah spektrum frekuensi sinyal EEG dengan pergerakan motorik maupun imajinasi pergerakan motorik "belok kanan" dan "belok kiri" pada elektrode C3, C4, P3 dan P4 dari 22 relawan. **Gambar 8** berikut ini adalah sinyal EEG sebelum dilakukan filter dan setelah dilakukan filter 4 - 20 Hz.

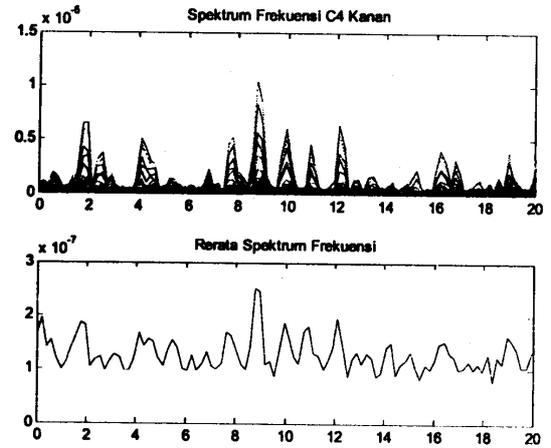


**Gambar 8.** Signal EEG Sebelum dan Setelah Difilter 4-20 Hz  
(Garis = Titik Kemunculan Rangsangan)

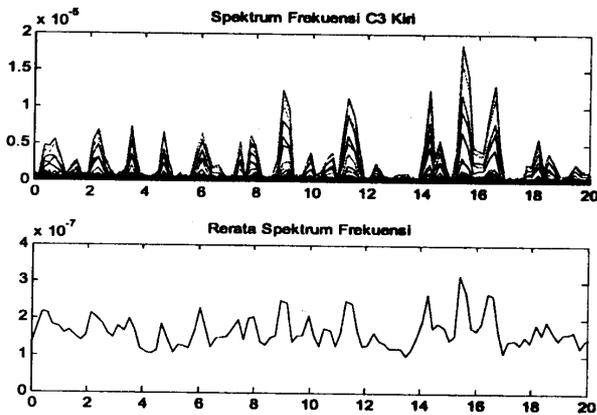
Pada **Gambar 8** tampak adanya garis lurus yang merupakan waktu kemunculan rangsangan yang diberikan kepada relawan. Berikut ini merupakan spektrum frekuensi sinyal EEG pada elektrode C3, C4, P3 dan P4 untuk pergerakan motorik "belok kanan" dan "belok kiri" dengan cara menggerakkan setir:



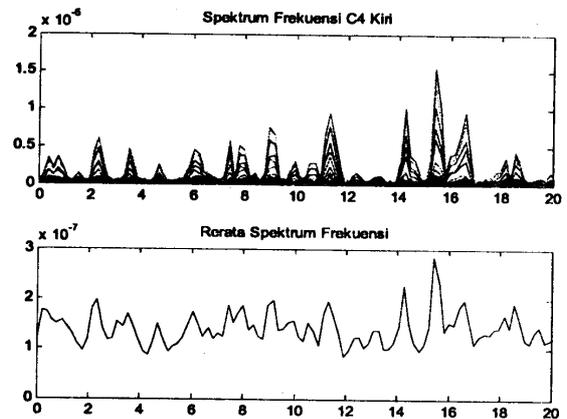
**Gambar 9.** Spektrum Frekuensi Elektrode C3 Pergerakan Belok Kanan



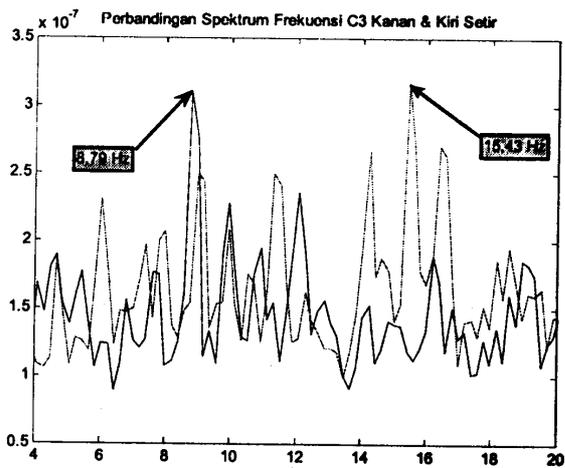
**Gambar 12.** Spektrum Frekuensi Elektrode C4 Pergerakan Belok Kanan



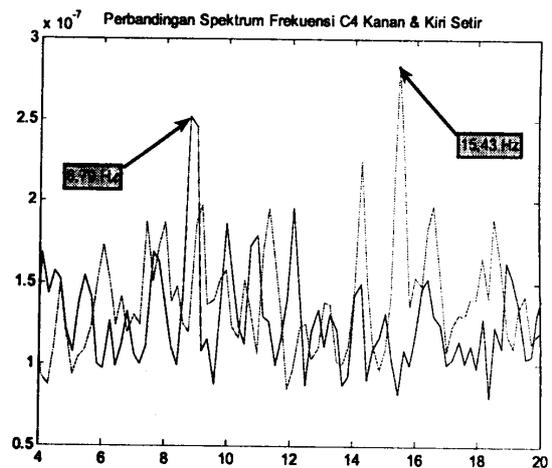
**Gambar 10.** Spektrum Frekuensi Elektrode C3 Pergerakan Belok Kiri



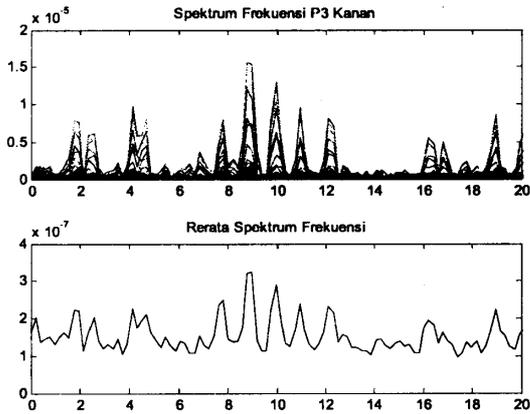
**Gambar 13.** Spektrum Frekuensi Elektrode C4 Pergerakan Belok Kiri



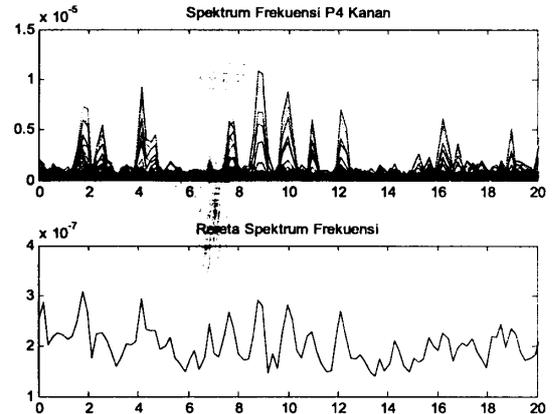
**Gambar 11.** Perbandingan Spektrum Frekuensi Elektrode C3 Pergerakan Belok Kanan & Kiri (Biru=Kanan,Hijau=Kiri)



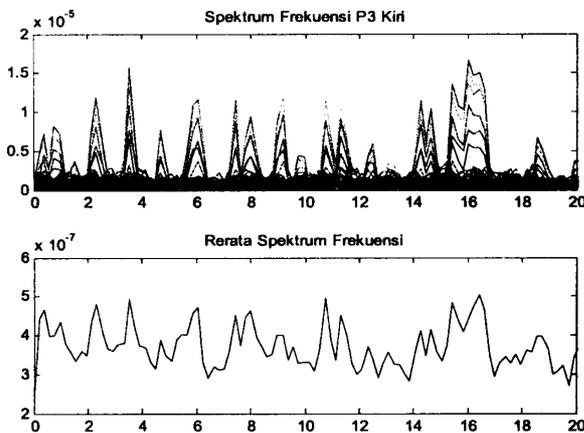
**Gambar 14.** Perbandingan Spektrum Frekuensi Elektrode C4 Pergerakan Belok Kanan & Kiri (Biru=Kanan,Hijau=Kiri)



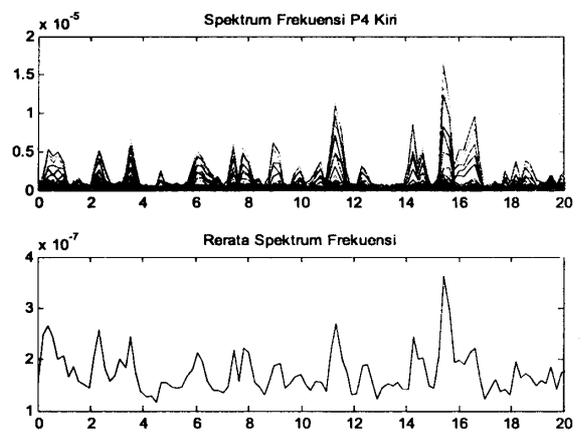
**Gambar 15.** Spektrum Frekuensi Elektrode P3 Pergerakan Belok Kanan



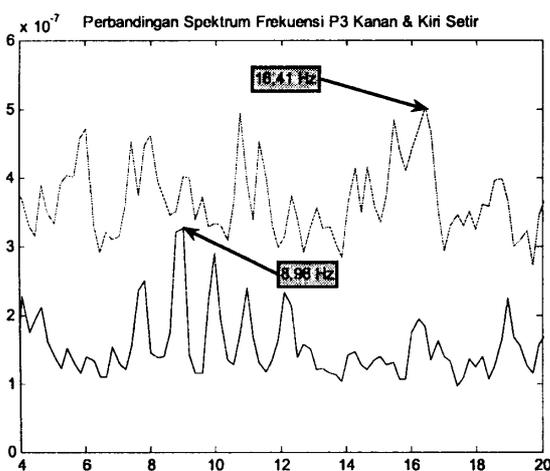
**Gambar 18.** Spektrum Frekuensi Elektrode P4 Pergerakan Belok Kanan



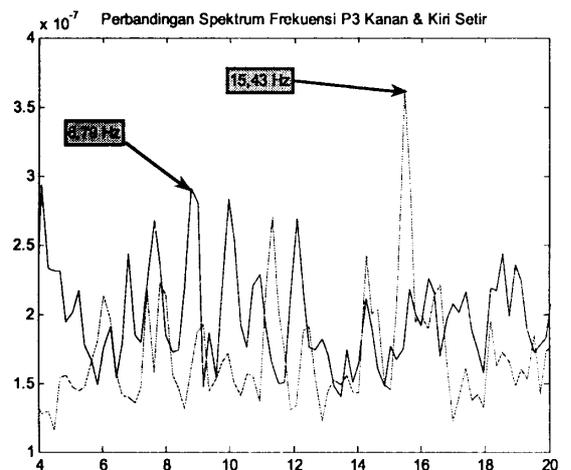
**Gambar 16.** Spektrum Frekuensi Elektrode P3 Pergerakan Belok Kiri



**Gambar 19.** Spektrum Frekuensi Elektrode P4 Pergerakan Belok Kiri

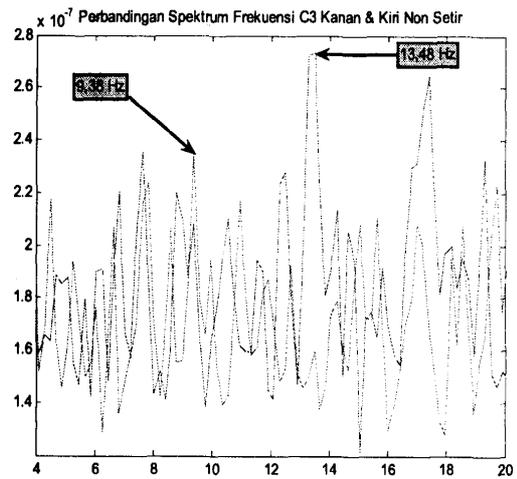


**Gambar 17.** Perbandingan Spektrum Frekuensi Elektrode P3 Pergerakan Belok Kanan & Kiri (Biru=Kanan, Hijau=Kiri)

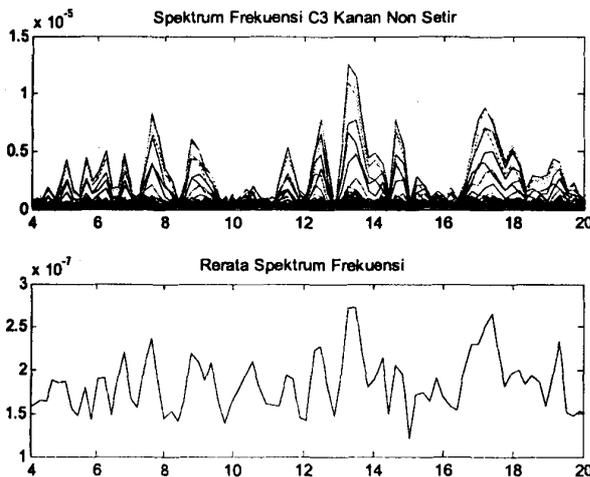


**Gambar 20.** Perbandingan Spektrum Frekuensi Elektrode P4 Pergerakan Belok Kanan & Kiri (Biru=Kanan, Hijau=Kiri)

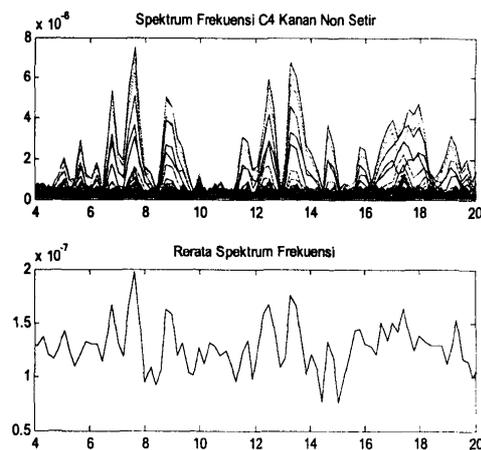
Dapat dilihat bahwa puncak spektrum frekuensi untuk pergerakan motorik belok kanan berada pada rentang 8-9 Hz sementara untuk belok kiri berada dalam rentang 15-17 Hz. Selanjutnya berikut ini merupakan spektrum frekuensi sinyal EEG dari elektrode-elektrode C3, C4, P3 dan P4 untuk "belok kanan" dan "belok kiri" berupa imajinasi pergerakan motorik. Data pada pengukuran ini meng-kondisikan relawan hanya untuk membayangkan atau berkehendak untuk membelokkan setir ke kanan dan ke kiri tanpa secara nyata menggerakkan setir. Oleh karena itu agar relawan lebih mudah untuk membayangkan atau hanya sekedar berkehendak untuk membelokkan setir pengambilan data pada tahap ini dilakukan setelah tahapan pengambilan data dengan menggerakkan setir



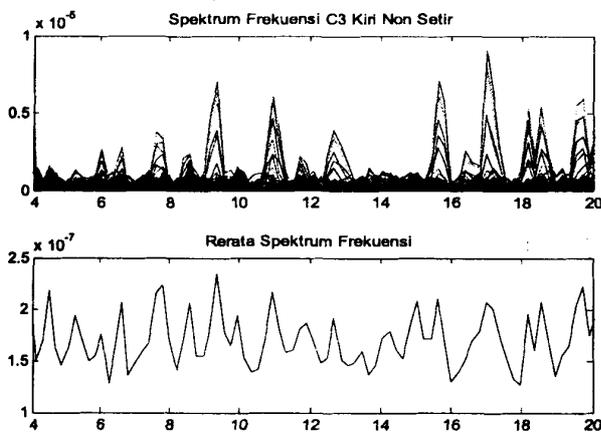
**Gambar 23.** Perbandingan Spektrum Frekuensi Elektrode C3 Imajinasi Pergerakan Belok Kanan & Kiri (Biru=Kanan,Hijau=Kiri)



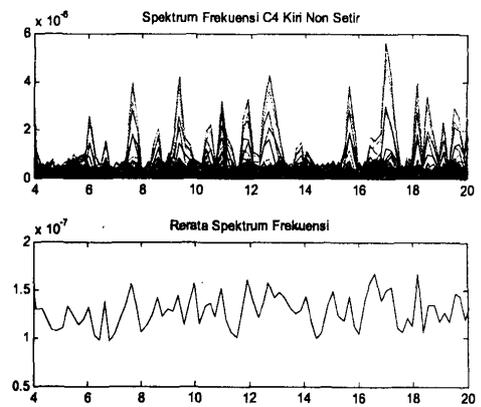
**Gambar 21.** Spektrum Frekuensi Elektrode C3 Imajinasi Pergerakan Belok Kanan



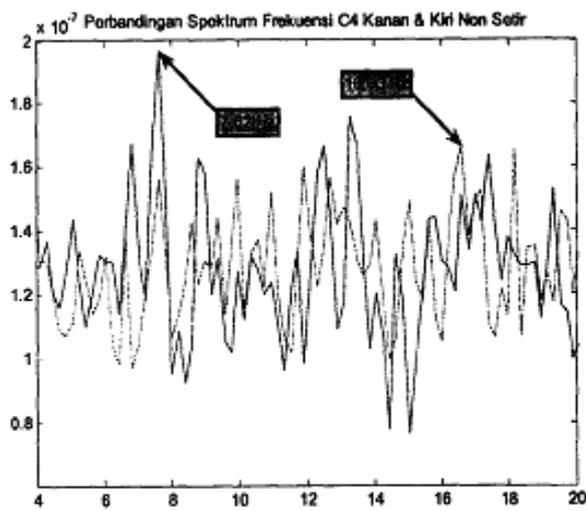
**Gambar 24.** Spektrum Frekuensi Elektrode C4 Imajinasi Pergerakan Belok Kanan



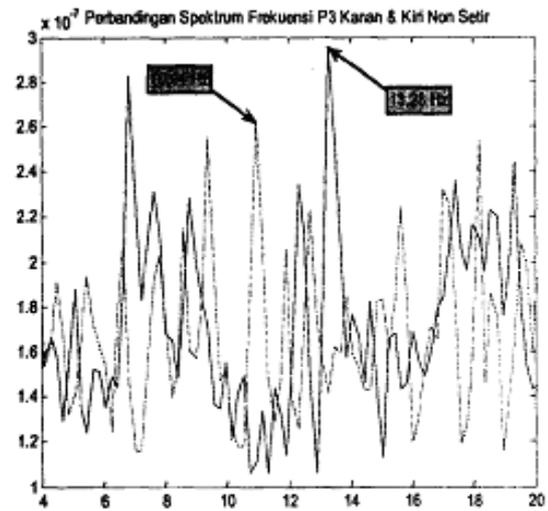
**Gambar 22.** Spektrum Frekuensi Elektrode C3 Imajinasi Pergerakan Belok Kiri



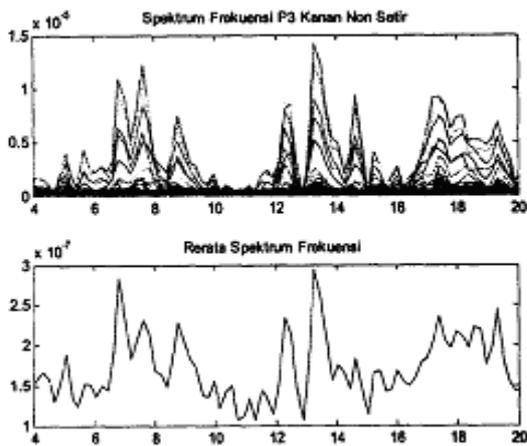
**Gambar 25.** Spektrum Frekuensi Elektrode C4 Imajinasi Pergerakan Belok Kiri



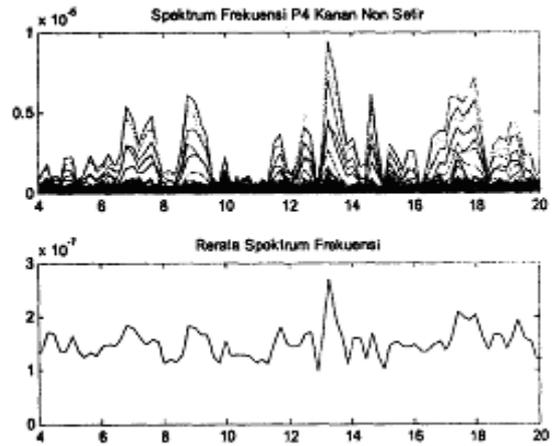
**Gambar 26.** Perbandingan Spektrum Frekuensi Elektrode C4 Imajinasi Pergerakan Belok Kanan & Kiri (Biru=Kanan,Hijau=Kiri)



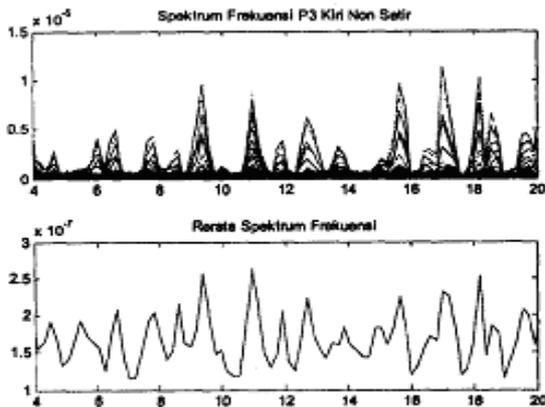
**Gambar 29.** Perbandingan Spektrum Frekuensi Elektrode P3 Imajinasi Pergerakan Belok Kanan & Kiri (Biru=Kanan,Hijau=Kiri)



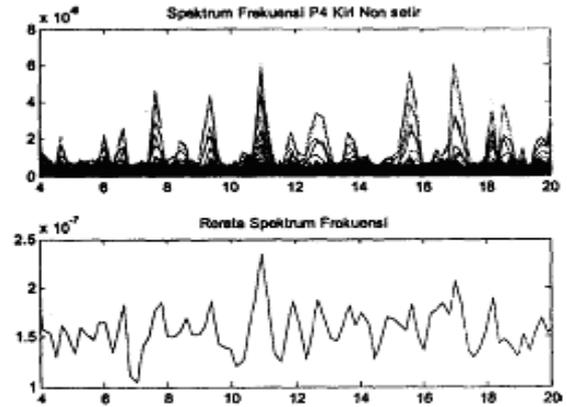
**Gambar 27.** Spektrum Frekuensi Elektrode P3 Imajinasi Pergerakan Belok Kanan



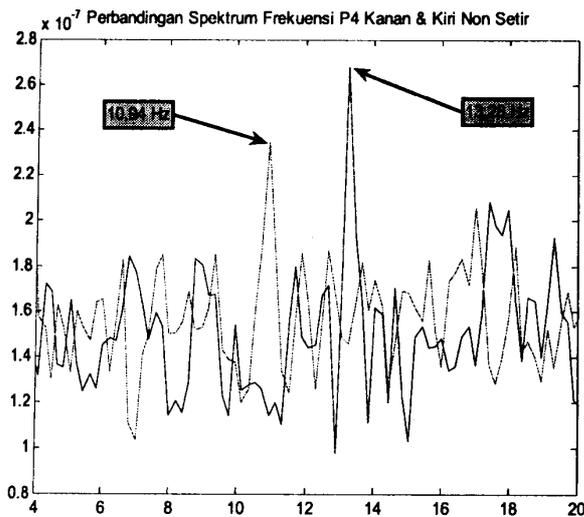
**Gambar 30.** Spektrum Frekuensi Elektrode P4 Imajinasi Pergerakan Belok Kanan



**Gambar 28.** Spektrum Frekuensi Elektrode P3 Imajinasi Pergerakan Belok Kiri



**Gambar 31.** Spektrum Frekuensi Elektrode P4 Imajinasi Pergerakan Belok Kiri



**Gambar 32.** Perbandingan Spektrum Frekuensi Elektrode P4 Imajinasi Pergerakan Belok Kanan & Kiri (Biru=Kanan,Hijau=Kiri)

Dari **Gambar 21** sampai dengan **Gambar 32** dapat dilihat bahwa ada perbedaan spektrum frekuensi antara belok kanan dan kiri pada posisi elektrode C3 dan C4 sementara elektrode P3 dan P4 tidak terjadi perubahan spektrum frekuensi.

Berikut ini adalah **Tabel 1** yang menunjukkan perbedaan puncak spektrum frekuensi pada masing-masing posisi elektrode untuk pergerakan motorik kanan dan kiri serta imajinasi pergerakan motorik kanan dan kiri.

**Tabel 1.** Perbandingan Puncak Spektrum Frekuensi Pada Pergerakan dan Imajinasi Pergerakan Kanan dan Kiri

Posisi Puncak Frekuensi	Kanan (Hz)	Kiri (Hz)
C3 Pergerakan Setir	8.79	15.43
C4 Pergerakan Setir	8.79	15.43
P3 Pergerakan Setir	8.98	16.41
P4 Pergerakan Setir	8.79	15.43
C3 Non Pergerakan Setir	13.48	9.38
C4 Non Pergerakan Setir	7.62	16.60
P3 Non Pergerakan Setir	13.28	10.94
P4 Non Pergerakan Setir	13.28	10.94

### 5. Kesimpulan

Dari penelitian ini dapat diambil kesimpulan

1. Untuk mendapatkan spektrum frekuensi ERD/ERS diperlukan pengolahan awal berupa

segmentasi data dan filter bandpass karena ERDERS tersembunyi di dalam sinyal latar dan sinyal biolistrik lain.

2. ERD/ERS sebagai akibat adanya pergerakan motorik terjadi pada daerah *motor cortex* dari otak
3. Spektrum frekuensi pergerakan motorik belok kanan memiliki puncak maksimum dalam rentang 8 - 9 Hz dan belok kiri berada dalam rentang 15 - 17 Hz untuk semua posisi elektrode C3, C4, P3 dan P4. Terdapat ciri yang membedakan antara spektrum frekuensi belok kanan dan kiri yaitu seluruh posisi elektrode, amplitudo dari spektrum maksimum belok kiri lebih besar dibandingkan dengan belok kanan.
4. Spektrum frekuensi untuk imajinasi pergerakan motorik yaitu pergerakan tanpa setir pada elektrode P3 dan P4 puncak maksimum spektrum memiliki nilai yang sama yaitu belok kanan 13,28 Hz dan belok kiri 10,94.
5. Pada elektrode C3 dan C4 terdapat ciri yang membedakan antara imajinasi pergerakan motorik belok kanan dan kiri yaitu pada elektrode C3 puncak maksimum spektrum belok kanan adalah 13,48 Hz dan belok kiri 9,38 Hz sementara pada elektrode C4 berlaku sebaliknya yaitu puncak maksimum spektrum belok kiri adalah 16,60 Hz dan belok kanan 7,62 Hz. Hal ini menunjukkan bahwa pada elektrode C3 yang posisinya ada pada bagian otak sebelah kiri frekuensi belok kanan lebih besar dari pada belok kiri dan pada elektrode C4 yang posisinya ada pada bagian otak sebelah kanan frekuensi belok kiri lebih besar dibandingkan belok kanan.
6. Adanya perbedaan spektrum frekuensi antara pergerakan motorik dengan imajinasi pergerakan motorik belok kanan dan belok kiri disebabkan karena pada penelitian ini pergerakan motorik untuk membelokkan setir ke arah kanan dan kiri dilakukan dengan gerakan kedua tangan secara bersamaan sehingga biolistrik yang berasal dari jaringan otot ikut mempengaruhi hasil spektrum frekuensi tersebut. Sementara pada imajinasi pergerakan motorik tidak terjadi suatu gerakan tangan sehingga

- biolistrik yang berasal dari otot dapat diminimalkan.
7. Secara umum dapat dikatakan bahwa ERD/ERS pada sinyal EEG yang terjadi akibat adanya pergerakan motorik maupun imajinasi (keinginan) untuk melakukan pergerakan motorik berada pada rentang alpha (8-13 Hz) dan Beta Low (di bawah 20 Hz) seperti yang diungkapkan dalam penelitian (Xu dan Song, 2010) bahwa sinyal EEG pada rentang frekuensi mu-rhythm (7 - 12 Hz) dan beta (di atas 13 Hz) yang dihasilkan dari bagian tengah otak berhubungan erat dengan perintah untuk pergerakan motorik.
  8. Agar puncak spektrum frekuensi ini dapat digunakan untuk melakukan kontrol atau komunikasi pada sistem BCI, perlu adanya suatu klasifikasi masukan sistem BCI berupa puncak spektrum frekuensi dari sinyal EEG pergerakan motorik maupun imajinasi pergerakan motorik.
  9. Untuk masukan sistem BCI dari sinyal EEG pergerakan motorik, dapat digunakan salah satu sinyal Ebt dari elektrode C3, C4, P3 ataupun P4 dengan puncak frekuensi 8 - 9 Hz untuk belok kanan dan 15 - 17 I-Iz untuk belok kiri.
  10. Untuk masukan sistem BCI dari sinyal EEG imajinasi pergerakan motorik, dapat digunakan sinyal EEG dari elektrode C3 dengan puncak frekuensi 13 - 14 Hz untuk belok kanan dan puncak frekuensi 9 - 10 Hz untuk belok kiri.

#### Daftar Pustaka

- Berger. H, Jena, R. Caton, *Elektroensefalograf EEG History*, Biocybernaut Institute Mountain View California.
- Faradji .F, R.K. Ward and G.E. Birch, 2010, *A Simple Approach to Find the Best Wavelet Basis in Classification Problem*, International Conference on Pattern Recognition, 1051-4651/10 IEEE, DOI 10.1109/ICPR.2010.1162
- Gabriel . J.F, 1996, *Fisika Kedokteran*, Buku Kedokteran EGC
- Guyton .A-C and J.E. Hall , 1997, *Buku Ajar Fisiologi Kedokteran*, Edisi 9, Buku Kedokteran EGC
- Matlab, 2004, Version 7.0.1.24704 (R14) Service Pack1
- Mu .Z, D. Xiao, J. Hu, 2009, *Classification of Motor Imagery EEG Signals Based on Time-Frequency Analysis*, International Journal of Digital Content Technology and its Application Volume 3, Number 4
- Neuper.C, Michael. W, Gert. P, 2006, *ERD/ERS Patterns Reflecting Sensorimotor Activation and Deactivation*, Neuper & Klimesch (Eds.) Progress in Brain Research, Vol. 159
- Ochoa .J.B, G.G. Molina, T. Ebrahimi, 2002, *EEG Signal Classification for Brain Computer Interface Application*, Ecole Polytechnique Federale De Lausanne
- Polikar, R, 1996. *The Wavelet Tutorial*, Dept. of Electrical and Computer Engineering, Rowan University.
- Perlis.M.L, ElizabethL, Kehr, Michael.T, Smith,Patrick. J, Andrews , Henry.O, Donna.E Giles, 2001, *Temporal and stagewise distribution of high frequency EEG activity in patients with primary and secondary insomnia and in good sleeper controls*, European Sleep Research Society
- Putz. G.R.M, Vera. K, Teodoro. S.E, Gert. P, 2010, *Fast set-up asynchronous brain-switch based on detection of foot motor imagery in 1-channel EEG*, International Federation Medical and Biological Engineering
- Sanei . S and J.A. Chambers, 2007, *EEG Signal Processing*, Centre of Digital Signal Processing, Cardiff University, UK, John Wiley & Sons.
- Wong. P, Cheryl P, Donna G, Cathy C.R, 1999 *Guidelines to Digital EEG Recorders*, OSET
- Xu .B.G and A.G. Song, 2008, *Pattern Recognition of Motor Imagery EEG using Wavelet Transform*, J. Biomedical Science an Engineering, 1, 64-67, Scientific Reseach.
- www.kandh.com.tw/products.