



Validasi Sistem *Single Electrode Electroencephalograph* (EEG) Berbasis Arduino Uno Sebagai Perekam Sinyal Otak

Dwi Windarti¹, Ade Kurniawan¹, Nita Handayani^{1*}

¹Program Studi Fisika, Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga, Jl. Marsda Adisucipto No.1 Yogyakarta 519739, Indonesia

*Email: nita.handayani@uin-suka.ac.id

Abstrak

Penelitian tentang validasi sistem *single electrode* EEG berbasis arduino uno sebagai perekam sinyal otak telah selesai dilakukan, Penelitian ini bertujuan untuk mengkarakterisasi sistem *single electrode* EEG dan memvalidasi kinerja sistem dengan Emotiv Epc sebagai EEG standar. Penelitian validasi sistem *single electrode* EEG ini dilakukan dengan dua tahapan. Tahapan pertama adalah karakterisasi sistem meliputi perhitungan presisi, akurasi dan SNR. Tahapan kedua adalah validasi sistem *single electrode* EEG dengan Emotiv Epc sebagai EEG standar. Validasi sistem meliputi parameter keserasian pola sinyal, spektral daya dan amplitudo. Pengujian dilakukan pada tiga subjek normal dengan kondisi rileks mata terbuka dan mata tertutup. Hasil uji presisi untuk mata terbuka dan mata tertutup masing-masing sebesar 99,35% dan 99,34%, untuk akurasi masing-masing 99,72% dan 99%. Hasil perhitungan SNR sistem *single electrode* EEG sebesar 3,70 dan SNR Emotiv Epc sebesar 31,86. Berdasarkan hasil pengujian, sistem *single electrode* EEG sudah dapat merekam pola sinyal otak sesuai alat standar, namun amplitudo sinyal yang dihasilkan lebih tinggi dibandingkan EEG standar. Hasil analisis spektral daya untuk ketiga subjek uji pada kondisi mata terbuka dan mata tertutup, menunjukkan bahwa sinyal otak dominan pada rentang frekuensi alpha yang bersesuaian dengan kondisi mental rileks. **Kata Kunci** :, *single electrode EEG*, Emotiv Epc, sinyal otak, spektral daya, validasi

1. Pendahuluan

Sinyal EEG merupakan sinyal aktivitas listrik di lapisan terluar kulit otak (*cerebral cortex*). Karakteristik sinyal EEG tidak periodik, tidak mempunyai pola baku, dan mempunyai amplitudo tegangan yang kecil, sehingga sangat mudah tertimbun *noise*. Sinyal yang dihasilkan dari otak harus diamplifikasi karena nilainya sangat kecil yaitu berorde mikroVolt, sehingga perlu rangkaian filter untuk mengeliminasi *noise* yang masuk dalam sinyal EEG (Setiawan dan Adil, 2017). EEG bekerja dengan menangkap frekuensi sinyal-sinyal listrik yang dibangkitkan oleh otak akibat adanya aktivitas mental dari subjek (Suhendar, 2018). Frekuensi otak manusia berbeda-beda untuk setiap fase, sadar, rileks (santai), tidur ringan, tidur nyenyak, keadaan tak sadarkan diri, panik, dan sebagainya dengan ditandai perbedaan pola yang dibentuk setiap sinyal yang dikeluarkan.

Saat ini perkembangan riset tentang pemanfaatan EEG semakin meningkat. Aplikasi EEG dikembangkan di beberapa bidang seperti bidang medis, *marketing*, dan *game*. Aplikasi di bidang medis biasanya digunakan untuk membantu menegakkan diagnosa pada beberapa penderita kelainan *brain disorders* diantaranya penderita epilepsi, gangguan mental, *Alzheimer's disease*, autisme, dan lain-lain. EEG pada bidang medis dikembangkan untuk menggambarkan struktur dan pola gelombang otak pada manusia. Pada bidang marketing EEG diterapkan karena dapat



mengukur aktivitas otak secara langsung pada kecepatan kognisi melalui perilaku dan pilihan. Selain itu, EEG juga diaplikasikan pada *game* untuk kontrol kursor, dan kontrol gerak objek (Miskon, dkk., 2016).

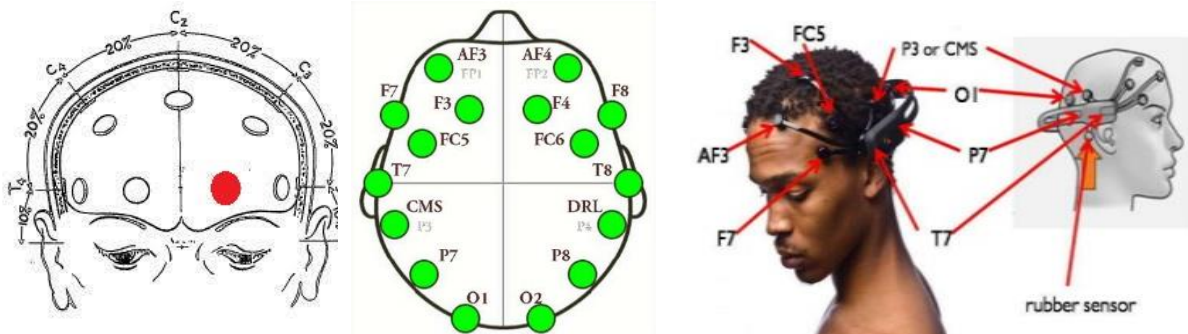
Sehubungan dengan pengaplikasian EEG yang merebak di berbagai bidang, maka kebutuhan akan EEG semakin meningkat. Oleh karena itu, perlu pengembangan piranti EEG sesuai kebutuhan terutama EEG dengan kelebihan *wireless*, *portable* dan secara ekonomis harganya murah (*low cost*). Penelitian pengembangan sistem perekaman sinyal otak dan rancang bangun EEG telah banyak dilakukan diantaranya oleh Setiawan dan Adil (2017) yang mengevaluasi prototipe EEG yang dikembangkan. Sinyal EEG yang dihasilkan oleh EEG yang dibuat kemudian dibandingkan dengan EEG standar menggunakan metode FFT dan filter digital IIR dengan pemrograman Visual Basic. Penelitian selanjutnya dilakukan oleh Pratama, dkk. (2020) yang mengembangkan piranti EEG dan mengevaluasinya dengan membandingkan karakteristik sinyal otak yang terekam dengan Emotiv Insight. Sistem EEG sebagai deteksi sinyal otak pada bagian *lobus frontalis* menggunakan *low pass filter* berbasis arduino uno telah dibuat oleh Handayani, dkk. (2021). Sistem EEG ini tersusun dari mikrokontroler arduino uno, rangkaian *low pass filter*, dan rangkaian penguat diferensial. Sistem EEG yang dibuat dinamakan sistem *single electrode electroencephalograph* (EEG).

Pada setiap pembuatan prototype alat, perlu adanya proses evaluasi agar mengetahui kinerja alat dan memastikan tingkat akurasi data yang dihasilkan. Validasi dilakukan untuk membandingkan hasil dan kinerja dengan alat yang dibuat dengan alat standar yaitu Emotiv Eloc. Parameter pengujian yang digunakan diantaranya karakterisasi sinyal otak yang meliputi presisi (*repeatability*), akurasi (*accuracy*), SNR (*signal-to-noise ratio*). Pengujian lebih lanjut dilakukan dengan menganalisis sinyal keluaran EEG yang meliputi keserasian pola (*waveform similarity*), amplitudo, serta spektral daya.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dalam dua tahapan. Tahapan pertama yaitu mengkarakterisasi sinyal dengan parameter pengujian alat yang meliputi presisi (*repeatability*), akurasi (*accuracy*), dan SNR (*signal-to-noise ratio*). Tahapan kedua yaitu memvalidasi sistem *single electrode* EEG dengan EEG standar yaitu Emotiv Eloc. Jumlah subjek uji dalam penelitian sebanyak tiga orang, dengan rentang usia antara 20 - 27 tahun. Kondisi pengujian meliputi kondisi rileks dengan mata terbuka dan mata tertutup.

Posisi elektroda pada saat perekaman sinyal otak baik menggunakan sistem *single electrode EEG* maupun Emotiv Eloc yaitu di area lobus frontal *hemisphere* kiri pada titik AF3. Posisi peletakan elektroda sesuai dengan Sistem Internasional 10-20 seperti terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Titik penempatan elektroda AF3 berdasar sistem internasional 10-20

Pengujian karakteristik sistem *single electrode EEG* meliputi pengujian presisi, akurasi dan SNR. Pengujian presisi dilakukan dengan perekaman sinyal otak pada satu subjek uji dalam kondisi rileks dengan mata terbuka dan mata tertutup. Perekaman dilakukan sebanyak lima kali masing-masing selama 5 menit. Pengujian akurasi dilakukan dengan perekaman sinyal otak menggunakan dua modalitas sekaligus yaitu sistem single electrode EEG dan Emotiv Epc yang diset pada frekuensi sampling yang sama sebesar 128 Hz. Elektroda diletakkan di titik AF3 pada subjek uji dalam kondisi rileks dengan mata terbuka dan mata tertutup. Perekaman dilakukan sebanyak 60 kali masing-masing selama satu detik. Pengujian SNR dilakukan dengan membandingkan sinyal yang terekam saat elektroda ditempelkan pada titik AF3 dan saat dilepaskan dengan durasi waktu 5 detik. Pengukuran dilakukan pada satu subjek dalam kondisi rileks dengan mata terbuka.

Tahapan selanjutnya yaitu validasi **sistem *single electrode EEG* dengan Emotiv Epc**. Emotiv Epc memiliki 14 elektroda yaitu AF3, F7, F3, FC5, T7, P7, O1, O2, P8, T8, FC6, F4, F8, AF4 dan 2 elektroda referensi. Dalam penelitian ini yang digunakan hanya elektroda AF3 saja. Validasi **sistem *single electrode EEG* meliputi** analisis keserasian pola (*waveform similarity*) sinyal otak yang terekam, analisis amplitudo sinyal serta analisis spektral daya. Perekaman sinyal otak dilakukan pada tiga subjek uji.

Keserasian pola dianalisis dari data mentah hasil perekaman sinyal EEG dalam bentuk plot grafik data *time series*. Data yang ditampilkan berupa data *time series* dalam durasi waktu 1 menit (7680 data), yang disajikan dalam grafik tegangan sebagai fungsi waktu. Analisis amplitudo sinyal dan spektral daya dilakukan dengan mengubah data *time series* (dalam domain waktu) menjadi data domain frekuensi. Proses transformasi menggunakan metode periodogram Welch. Pada metode ini, sinyal masukan dibagi menjadi segmen-segmen yang pendek dan perhitungan periodogram dilakukan berdasarkan perhitungan nilai imajiner *Fast Fourier Transform* (FFT). Setiap segmen data dimodifikasi dengan mengalikan pada suatu fungsi jendela (*window*), sebelum dilakukan perhitungan periodogram. Selanjutnya periodogram yang telah dimodifikasi dirata-ratakan untuk menghasilkan estimasi spektral yang lebih baik. Persamaan untuk periodogram Welch dituliskan sebagai berikut (Rahi dan Mehra, 2014):



$$S(k) = \frac{1}{L} \sum_{l=1}^L \phi_l(k) \quad (1)$$

Amplitudo sinyal dari hasil perekaman sistem *single electrode* EEG akan dibandingkan dengan hasil perekaman Emotiv Epoc. Pada analisis spektral daya, frekuensi gelombang otak yang dikaji yaitu pada rentang frekuensi delta (1-4 Hz), tetha (4-8 Hz), alpha (8-13 Hz), beta (13-30 Hz), dan gamma (30-60 Hz).

3. Hasil dan Pembahasan

Pengujian karakteristik sistem *single electrode EEG* telah berhasil dilakukan. Hasil pengujian yang meliputi presisi, akurasi dan SNR ditunjukkan dalam Tabel 1, dan Tabel 2.

Tabel 1. Hasil pengujian presisi dan akurasi sistem *single electrode* EEG

Kondisi perekaman	Presisi	Akurasi
Mata terbuka	99.35%	99.72%
Mata tertutup	99.34%	99.00%

Tabel 2. Hasil pengujian SNR sistem *single electrode* EEG

Nilai	Single Electrode EEG	Emotiv Epoc
σ^2 sinyal	2.86	257.17
σ^2 noise	0.77	8.07
SNR	3.70	31.86

Presisi merupakan keadaan yang menggambarkan tingkat kedekatan hasil pengukuran dari pengulangan saat pengukuran (Morris dan Langari, 2012). Pada penelitian ini jenis presisi yang dikaji adalah tingkat *repeatability* yakni ketelitian yang diperoleh dari hasil pengukuran dengan menggunakan operator, laboratorium, dan interval pemeriksaan waktu yang pendek (Riyanto, 2014). Hasil perhitungan diperoleh nilai presisi untuk sistem *single electrode EEG* masing-masing sebesar 99.35% dan 99.34% untuk kondisi pengukuran mata terbuka dan mata tertutup. Nilai *repeatability* tersebut telah melampaui nilai Standar Nasional Indonesia (SNI), yakni $\geq 95\%$ dan Standar Internasional (SI), yakni sebesar $\geq 97\%$. Oleh karena itu, nilai presisi dari sistem *single electrode EEG* bernilai tinggi dan telah dapat dipergunakan untuk mengukur sinyal otak.

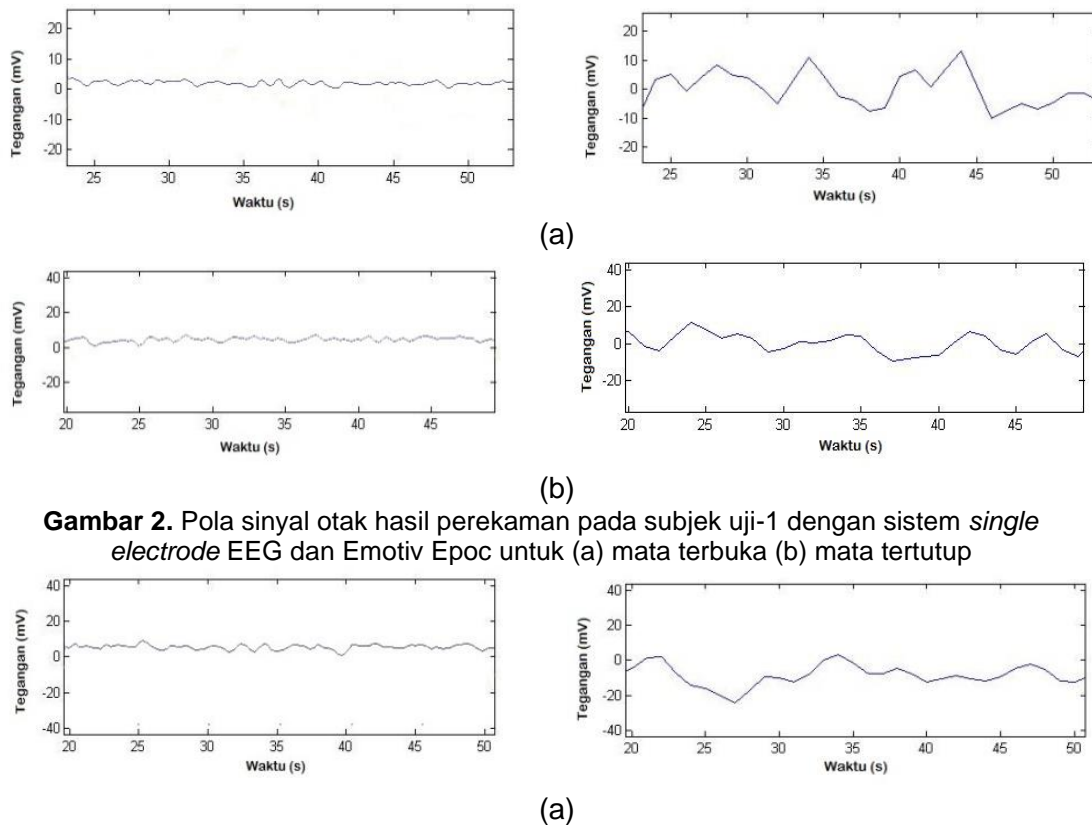
Nilai akurasi menunjukkan seberapa tepat hasil bacaan sistem dengan nilai yang sebenarnya (Riyanto, 2014). Hasil perhitungan diperoleh nilai akurasi dari sistem *single electrode EEG* jika dibandingkan dengan EEG standar Emotiv Epoc masing-masing sebesar 99.72% dan 99% untuk kondisi pengukuran mata terbuka dan mata tertutup. Nilai akurasi yang telah diperoleh dari sistem *single electrode EEG* telah melampaui nilai Standar Nasional Indonesia (SNI) yaitu sebesar $\geq 95\%$. Selain itu, nilai akurasi tersebut juga telah melampaui nilai Standar Internasional (SI) yaitu sebesar $\geq 97\%$. Oleh karena itu, sistem *single electrode EEG* memiliki



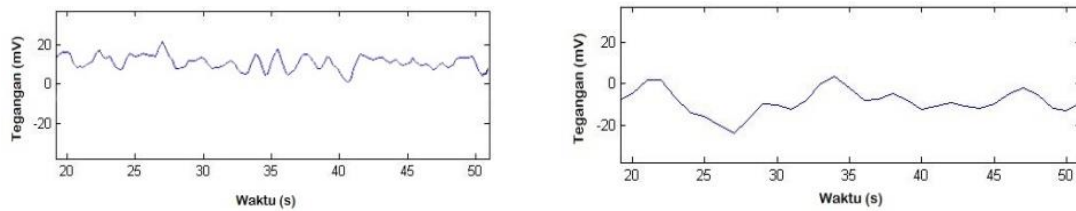
tingkat akurasi yang tinggi sehingga layak dipergunakan untuk mengukur sinyal otak.

SNR menunjukkan kemampuan sistem dalam mengidentifikasi sinyal (Pratama, dkk., 2019). Menurut Williams, dkk (2020) SNR adalah rasio amplitudo pada setiap frekuensi, atau selisih dari nilai sinyal asli dengan nilai *noise*. Sebuah sistem dikatakan baik jika sistem tersebut memiliki nilai SNR yang tinggi. Semakin besar kenaikan nilai SNR pada sistem, maka menunjukkan proses pemfilteran pada sistem tersebut bekerja dengan baik. Dari hasil perhitungan SNR diperoleh bahwa sistem *single electrode EEG* memiliki nilai SNR yang rendah jika dibandingkan dengan Emotiv Epc. Nilai SNR yang rendah kemungkinan dapat disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya kestabilan arus listrik, dan proses pemfilteran pada rangkaian *low pass filter* yang kurang baik.

Data sinyal otak hasil perekaman sistem *single electrode EEG* merupakan data tegangan terukur dalam domain waktu. Data kemudian diolah menggunakan *software* Matlab dianalisis keserasian pola (*waveform similarity*), amplitude dan spektral daya untuk melihat frekuensi yang dominan. Pola sinyal otak yang dihasilkan oleh sistem *single electrode EEG* dan Emotiv Epc pada kondisi mata terbuka dan mata tertutup untuk ketiga subjek uji masing-masing ditampilkan pada Gambar 2, Gambar 3, dan Gambar 4.

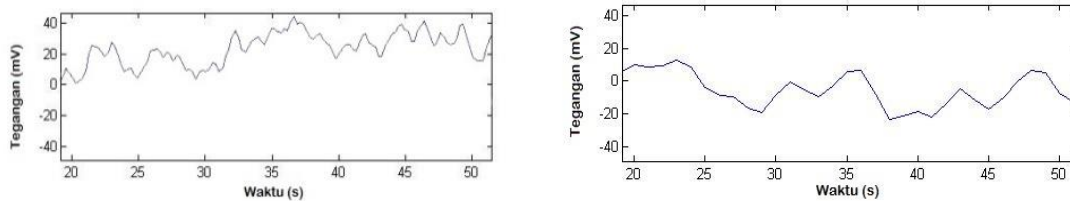


Gambar 2. Pola sinyal otak hasil perekaman pada subjek uji-1 dengan sistem *single electrode EEG* dan Emotiv Epc untuk (a) mata terbuka (b) mata tertutup

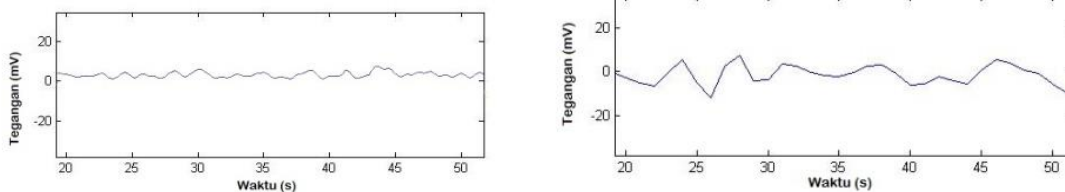


(b)

Gambar 3. Pola sinyal otak hasil perekaman pada subjek uji-2 dengan sistem *single electrode* EEG dan Emotiv Epc untuk (a) mata terbuka (b) mata tertutup



(a)

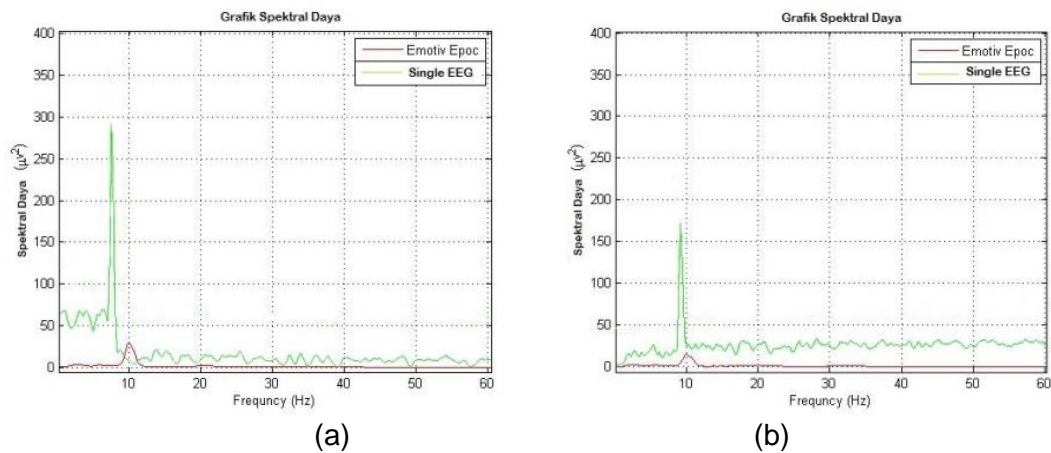


(b)

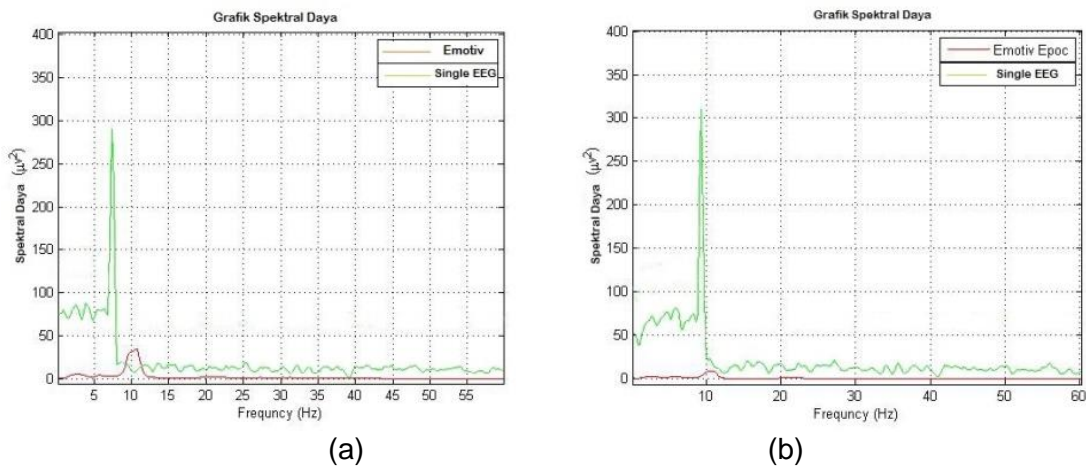
Gambar 4. Pola sinyal otak hasil perekaman pada subjek uji-3 dengan sistem *single electrode* EEG dan Emotiv Epc untuk (a) mata terbuka (b) mata tertutup

Pola sinyal yang terekam oleh sistem *single electrode* EEG berdasarkan hasil pengamatan visual sudah menyerupai pola sinyal otak yang terekam oleh Emotiv Epc. Menurut Potas, dkk. (2015) keserasian pola adalah ukuran kemiripan antara dua sinyal sebagai fungsi waktu antara keduanya, kemiripan ini berdasarkan karakteristik otak. Karakteristik dari sinyal otak yakni tidak periodik, tidak memiliki pola baku, dan tegangan yang sangat kecil.

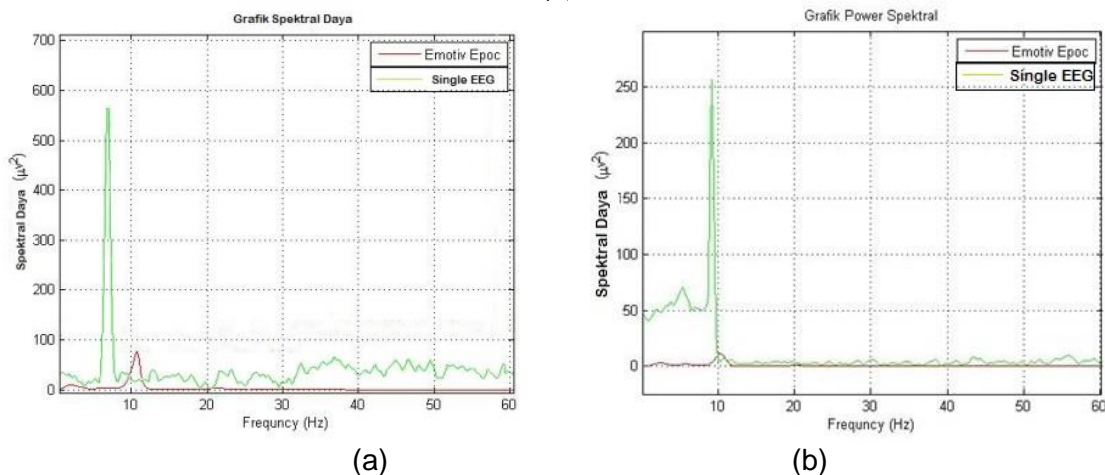
Tahapan berikutnya adalah analisis spectral daya dari sinyal EEG. Spektral daya dihitung dengan menggunakan *function P-Welch* pada *software* Matlab. Hasil perhitungan spectral daya disajikan dalam bentuk plot grafik hubungan antara spektral daya sebagai fungsi frekuensi sinyal otak. Grafik spectral daya untuk ketiga subjek uji dalam kondisi rileks mata terbuka dan mata tertutup ditunjukkan pada Gambar 5, Gambar 6, dan Gambar 7.



Gambar 5. Grafik spektral daya subjek uji-1 pada kondisi (a) mata terbuka dan (b) mata tertutup



Gambar 6. Grafik spektral daya subjek uji-2 pada kondisi (a) mata terbuka dan (b) mata tertutup



Gambar 7. Grafik spektral daya subjek uji-3 pada kondisi (a) mata terbuka dan (b) mata tertutup

Berdasarkan analisis dari keenam grafik di atas, terlihat bahwa pada ketiga subjek uji, hasil perekaman EEG menunjukkan sinyal otak dominan pada rentang frekuensi alpha (8-13 Hz). Berdasarkan kajian literatur, frekuensi gelombang alpha bersesuaian dengan kondisi mental rileks



(Louis dan Frey, 2016). Hal ini sesuai dengan kondisi pada saat dilakukan perekaman, subjek uji diminta dalam kondisi duduk rileks.

Analisis amplitudo dilakukan dengan menghitung nilai maksimum pada spectral daya yang dihasilkan oleh masing-masing EEG pada ketiga subjek uji. Hasil perhitungan nilai amplitude untuk sistem single electrode EEG dan Emotiv Epoc pada ketiga subjek uji ditampilkan pada Tabel 3. Amplitudo spectral daya untuk sistem *single electrode* EEG lebih tinggi dibandingkan dengan amplitude spectral daya pada Emotiv Epoc. Perbedaan amplitudo sinyal EEG yang dihasilkan dikarenakan adanya perbedaan sistem penguatan (amplifikasi) pada kedua sistem EEG tersebut. Pada kondisi mata terbuka, amplitude spectral daya yang dihasilkan oleh sistem EEG relative lebih tinggi disebabkan karena adanya stimulus atau rangsangan dari luar seperti intensitas cahaya dan reaksi otot mata.

Tabel 3. Data hasil perhitungan amplitudo spektral daya

Subjek Uji	Mata Terbuka		Mata Tertutup	
	<i>Single electrode</i> EEG (μv^2)	Emotiv Epoc (μv^2)	<i>Single electrode</i> EEG (μv^2)	Emotiv Epoc (μv^2)
1	285	27	170	18
2	293	32	315	13
3	574	79	257	14

4. Simpulan

Hasil pengujian sistem *single electrode electroencephalograph* (EEG) untuk presisi pada kondisi mata terbuka dan mata tertutup masing-masing adalah 99,35% dan 99,34%. Untuk hasil pengujian akurasi pada kondisi mata terbuka dan mata tertutup masing-masing adalah 99,72% dan 99%. Hasil pengujian SNR sistem *single electrode EEG* adalah 3,70, dan hasil pengujian SNR Emotiv Epoc 31,86. Hasil validasi sistem *single electrode electroencephalograph* (EEG) menunjukkan adanya bentuk pola gelombang sinyal otak yang sudah menyerupai dengan pola sinyal otak sesungguhnya. Hasil analisis spektral daya dari sistem single electrode EEG dominan pada rentang frekuensi alpha untuk ketiga subjek uji pada kondisi rileks mata tertutup, dan memiliki amplitudo yang lebih besar dari Emotiv Epoc. Untuk meningkatkan SNR *single electrode electroencephalograph* yang masih rendah, maka pada pengembangan berikutnya perlu perbaikan pada bagian *filtering* sinyal. Validasi sebaiknya dengan menggunakan EEG standar yang memiliki *single electrode* serta pengujian pada subjek uji dengan jumlah yang lebih besar.

Daftar Pustaka

- Dhani, H., Gunadharma, S., dan Kurniani, N., "Perbandingan Trending EEG Terhadap EEG Konvensional untuk Deteksi Bangkitan pada Rekaman EEG Rutin Dewasa," *Neurona*, Vol. 31 No. 4, pp. 1-2, Sep. 2014.



- Handayani, Y.S., Kurniawan A., Handayani, N., "Rancang Bangun Prototype Single Electrode EEG Berbasis Arduino Uno", *Sunan Kalijaga Journal of Physics* Vol.3, No.1, Mei 2021, pp.36-43.
- Louis, E.K., dan Frey, L.C. "An Introductory Text and Atlas of Normal and Abnormal Findings in Adults, Children, and Infants", American Epilepsy Society, Chicago, 2016.
- Miskon, Azizi., Thanakodi, A/L S., Mazlan, R. M., Azhar, H.M., dan Tawil, M.N., "Viability of Controlling Prosthetic Hand Utilizing Electroencephalograph (EEG) Dataset Signal," IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 160 (2016) 012114.
- Morris, A, S. & Langari, R. *Measurement and Instrumentation Theory and Application*. California: Imprint Elsevier, 2012.
- Potas, J.S., Castro, N.G., Maddess, T., Souza, M.N., "Waveform similarity analysis: A simple template comparing approach for detecting and qualifying noisy evoked compound action potentials" *Plos ONE Amsterdam*: pp. 4, 1 Sep 2015.
- Pratama, H.S., Rahmadhani, A., Bramana, A., Oktivasari, P., Handayani, N., Haryanto, F., Suprijadi, Khotimah, N.S., "Signal Comparison of Developed EEG Device and Emotive Insight Based on Brainwave Characteristics Analysis" *Journal of Physics: PIT-FMB & SEACOMP*. pp. 3-5. 2019.
- Putera, Eka. A. O., dan Faradisa, S. I., 2011. Rancang Bangun *Electroencephalograph (EEG)* Sebagai Perekam dan Pendeteksi Sinyal Biolistrik Otak yang Terintegrasi dengan PC Berbasis Mikrokontroler ATMEGA8535. *Jurnal Elektro ELTEK*. Vol. 2, No 1. April 2011.
- Rahi, P.K., dan Mehra, R. "Analysis of power spectrum estimation using Welch method for various window techniques", *International Journal of Emerging Technologies and Engineering (IJETE)*, 106-109, 2014.
- Riyanto. *Validasi & Verifikasi Metode Uji Sesuai dengan ISO/IEC 17025 Laboratorium Pengujian dan Kalibrasi*. Yogyakarta: Deepublish. 2012. pp. 12-39.
- Setiawan, F., dan Adil, R, "Rancang Bangun Modul EEG Untuk Menentukan Posisi Otak Saat Melakukan Aktivitas Tertentu Menggunakan Metoda Filter Digital IIR," *PENS-ITS Sukolilo*. pp. 1-3. 2017.
- Suhendar. M. A, "Kontrol Robot Berbasis Arduino Mega 2560 Dengan Menggunakan Sinyal EEG-SMT Gerak Tangan," *Al Jazari Journal of Mechanical Engineering*. Vol. 3, No. 1. pp. 21, 2018.
- Williams, N.S., McArthur, G.M., Wit, d.B., Ibrahim, g., badcock. N.A., "A validation of Emotiv EPOC Flex saline for EEG and ERP research" *PeerJ*. pp. 11. 2020.