

Rancang Bangun *Prototype Single Electrode* EEG Berbasis Arduino Uno

Yulia Savitri Handayani¹, Ade Kurniawan¹, Nita Handayani^{1*}

¹Program Studi Fisika, Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Jl. Marsda Adisucipto 519739, Indonesia

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

INTISARI

Penelitian tentang rancang bangun *electroencephalography* (EEG) sebagai pendeteksi aktivitas sinyal otak pada bagian lobus frontalis berbasis Arduino Uno telah selesai dilakukan. EEG merupakan suatu alat yang digunakan untuk merekam aktivitas kelistrikan pada otak manusia. Tujuan dari penelitian ini adalah membuat perangkat EEG non klinis yang bersifat *portable* dan *low cost*. Prosedur penelitian dibagi menjadi tiga tahapan. Tahapan pertama adalah merancang sistem EEG menggunakan aplikasi *Eagle*. Tahapan kedua adalah membuat sistem EEG yang terdiri dari rangkaian utama sistem EEG, catu daya, Arduino Uno dan dua buah elektroda. Tahapan ketiga adalah pengujian sistem EEG yang meliputi pengujian penguat instrumentasi, pengujian *low pass filter*, pengujian *power supply*, pengujian konsistensi ADC Arduino serta pengujian awal kinerja EEG untuk merekam sinyal otak. Berdasarkan hasil pengujian diperoleh penguatan instrumentasi sebesar 51 kali dengan tingkat akurasi rata-rata sebesar 99,09%. Sementara itu, frekuensi *cut-off* yang diperoleh sebesar 70 Hz. Hasil perbandingan antara pengukuran sinyal otak menggunakan *prototype single electrode* EEG dan EEG standar Emotiv Epc dengan peletakan elektroda pada titik Fp1 dan A2 (*ground*) menunjukkan pola yang hampir sama. Sehingga dapat disimpulkan bahwa sistem *single electrode* EEG yang dibuat telah berhasil digunakan untuk merekam aktivitas otak pada area lobus frontalis.

Kata Kunci : Arduino Uno, EEG , lobus frontalis, sinyal otak

ABSTRACT

Research on *electroencephalography* (EEG) design as a detector of brain signal activity in the frontal lobe based on Arduino Uno has been completed. EEG is a tool used to record electrical activity in the human brain. This research aims to make a non-clinical EEG device that is portable and low-cost. The research procedure is divided into three stages. The first stage is to design an EEG system using the *Eagle* application. The second stage is to create an EEG system which consists of the primary circuit of the EEG system, power supply, Arduino Uno, and two electrodes. The third stage is testing the EEG system, which includes testing the instrumentation amplifier, low pass filter, power supply, Arduino ADC consistency, and initial testing of EEG performance to record brain signals. The instrumentation gain is 51 times based on the test with an average accuracy rate of 99.09%. Meanwhile, the cut-off frequency obtained is 70 Hz. The comparison between brain signal measurements using a single electrode prototype EEG and standard EEG Emotiv Epc with electrode placement at points Fp1 and A2 (*ground*) show almost the same pattern. So it can be said that the single EEG system created has been successfully used to record brain activity in the frontal lobe area.

Keywords: Arduino Uno, brain signal, *Electroencephalography* (EEG), frontal lobe

Pendahuluan

Otak merupakan organ yang paling kompleks dan utama pada manusia yang berfungsi untuk mengontrol keseluruhan aktivitas tubuh. Otak terdiri dari milyaran sel yang disebut dengan neuron. Setiap neuron saling berkomunikasi dan memancarkan gelombang listrik yang disebut gelombang otak (*brainwave*). Salah satu cara untuk mengukur gelombang otak adalah dengan meletakkan sejumlah elektroda sebagai sensor pada permukaan kepala (*scalp*) [1]. Instrumen yang digunakan dalam perekaman gelombang otak dikenal dengan istilah *electroencephalogram* (EEG) [2].

EEG merupakan suatu alat yang digunakan untuk melihat aktivitas kelistrikan pada otak manusia. Bentuk keluaran EEG berupa sinyal-sinyal listrik pada otak dalam bentuk grafik tegangan sebagai fungsi waktu atau frekuensi yang dapat dilihat dengan menggunakan *personal computer* (PC). Grafik gelombang otak pada EEG berubah-ubah tergantung pada kondisi otak manusia saat perekaman. Intensitas gelombang otak pada kulit berkisar antara 0 sampai 300 μV . Sinyal EEG merupakan sinyal aktivitas listrik di lapisan terluar (*cerebral-cortex*) otak manusia. Karakteristik sinyal EEG bersifat tidak periodik, tidak mempunyai pola baku, non stasioner dan non linier [3].

Penelitian mengenai otak semakin marak setelah presiden Amerika George H. W. Bush menjuluki tahun 1990-1999 sebagai "*Decade of the Brain*", sebagai penanda dalam meningkatkan fokus pada penelitian otak [4]. EEG semakin banyak digunakan dalam penelitian mengenai fungsi kognitif dalam konteks yang lebih luas, seperti persepsi, fungsi luhur, atensi, hingga emosi. EEG dalam bidang klinis dapat dimanfaatkan untuk melakukan asesmen kerusakan otak karena traumatic brain injury [5]. Selain itu EEG juga digunakan untuk teknologi antarmuka otak-komputer dan antarmuka komputer-otak yang dikenal dengan Brain Computer Interface (BCI) dan Computer Brain Interface (BCI). Penelitian lain mengembangkan teknik untuk melakukan komunikasi otak ke otak (Brain to Brain Communication) [6]. Penggunaan EEG untuk mengembangkan alat bantu prostetik dan robotika juga semakin mungkin dilakukan [7].

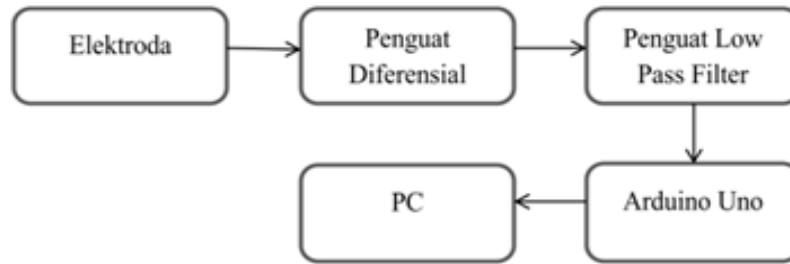
Seiring dengan meningkatnya riset yang mengkaji gelombang otak (*brainwave*) di bidang non klinis, maka kebutuhan akan perangkat EEG juga semakin meningkat. Saat ini mulai banyak alat EEG untuk konsumen dengan harga yang relatif lebih murah, walaupun dengan kemampuan terbatas [8]. EEG portable sangat banyak diminati karena penggunaannya yang praktis. Pada penelitian ini akan dibuat rancang bangun prototype sistem *single electrode* EEG untuk pengukuran aktivitas kelistrikan otak pada area prefrontal. Desain EEG dapat disesuaikan dengan kebutuhan.

Metode Penelitian

Penelitian dilakukan dalam tiga tahapan yakni perancangan, pembuatan, dan pengujian sistem *single electrode* EEG. Tahapan-tahapan penelitian tersebut dapat dijelaskan secara rinci sebagai berikut:

a. Perancangan Sistem EEG

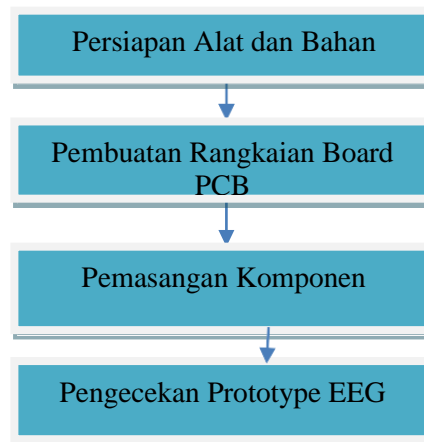
Perancangan sistem dibuat sesuai diagram blok sistem pada Gambar 1. Sistem *single electrode* EEG dilengkapi dengan elektroda sebagai perekaman pola sinyal otak dan IC INA118P sebagai penguat diferensial.



Gambar 1. Diagram Blok Sistem EEG

b. Pembuatan Sistem EEG

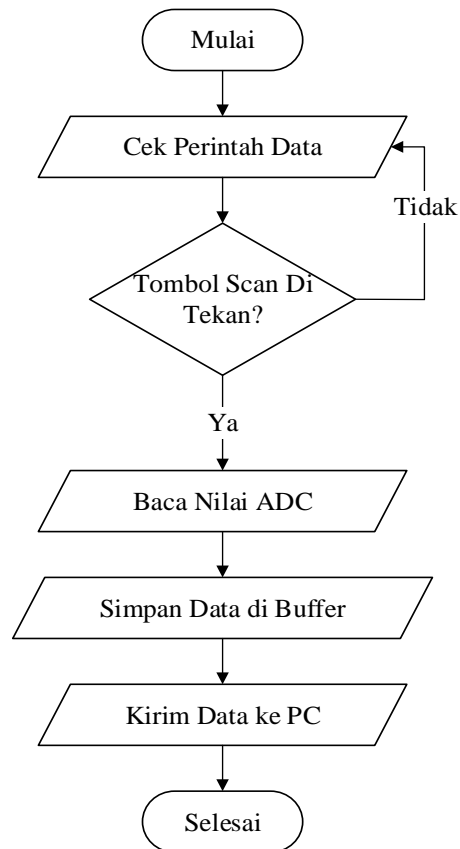
Pembuatan sistem EEG terbagi menjadi dua tahapan, yaitu pembuatan *hardware* dan pembuatan *software*. Pembuatan *hardware* bertujuan untuk membuat sistem *single electrode* EEG. Secara umum langkah-langkah pembuatan *hardware* seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Pembuatan *software* bertujuan untuk membuat program sistem deteksi EEG yang akan diinstal ke papan Arduino Uno. Penulisan *sketch* aplikasi arduino IDE menggunakan bahasa pemrograman C. Algoritma pembacaan pola sinyal otak seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 2. Blok diagram alir pembuatan *hardware*

c. Pengujian Sistem EEG

Pengujian sistem EEG terbagi menjadi dua bagian. Pertama, pengujian sub-sistem EEG yang meliputi pengujian penguat instrumentasi, pengujian *low pass filter*, pengujian *power supply* dan konsistensi ADC Arduino. Kedua, pengujian sistem *single electrode* EEG secara keseluruhan untuk melihat kemampuan alat dalam merekam sinyal otak. Data hasil perekaman selanjutnya divalidasi dengan alat standar yaitu Emotiv Epc dengan mengambil satu elektroda pengukuran di titik Fp1.

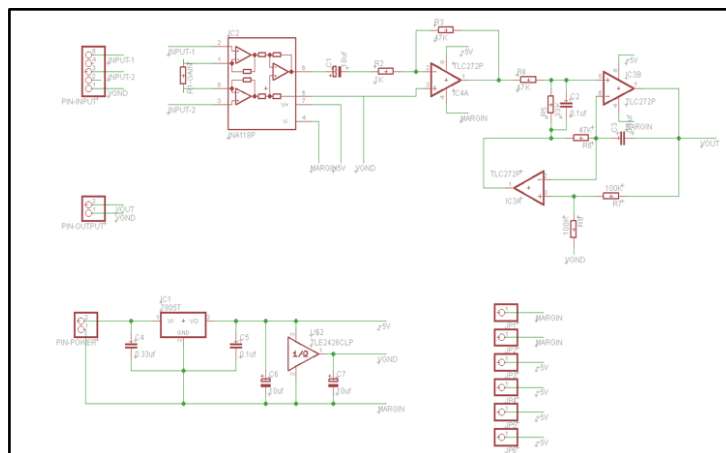


Gambar 3. Diagram Alir Program Sistem EEG

Hasil dan Pembahasan

Perancangan *System Single Electrode EEG*

Perancangan sistem *single electrode EEG* dibuat menggunakan aplikasi *Eagle 7.2.2*. Hasil rangkaian skematik sistem *single electrode EEG* ditampilkan pada Gambar 4. Perancangan sistem EEG terdiri atas 4 blok rangkaian yang berfungsi sebagai penguat instrumentasi, penguat op-amp, penguat *low pass filter* dan penguat inverting.



Gambar 4. Rangkaian *Schematic* dari Sistem EEG

Sistem *single electrode* EEG yang dibuat seperti ditampilkan pada Gambar 5. Komponen utama sistem EEG terdiri dari dua buah elektroda (satu elektroda pengukuran di titik Fp1 dan satu elektroda sebagai *ground*), catu daya, rangkaian utama sistem EEG dan Arduino Uno. Sistem EEG ini memiliki tampilan data nilai tegangan dari Arduino Uno berupa sinyal analog yang diubah menjadi sinyal digital oleh ADC. Data digital ini diolah dan dikirimkan mikrokontroler ke PC dan kemudian ditampilkan dalam bentuk grafik tegangan gelombang otak sebagai fungsi waktu. Frekuensi sampling sistem EEG yang dibuat diset sama dengan frekuensi sampling EEG standar Emotiv Epop yaitu sebesar 128 Hz.



Gambar 5. Komponen Utama Sistem *Single Electrode* EEG terdiri dari (1) Elektroda, (2) Rangkaian Utama Sistem EEG, (3) Catu Daya dan (4) Arduino Uno

Pengujian Sistem *Single Electrode* EEG

Hasil pengujian penguat instrumentasi sistem *single electrode* EEG disajikan pada Tabel 1. Pengujian dilakukan dengan memvariasikan nilai resistor (R_G) yaitu 10 k Ω , 15 k Ω , 22 k Ω dan 47 k Ω . Hasil pengukuran gain antara hasil pengukuran dan teori menunjukkan akurasi rata-rata sebesar 99,09%.

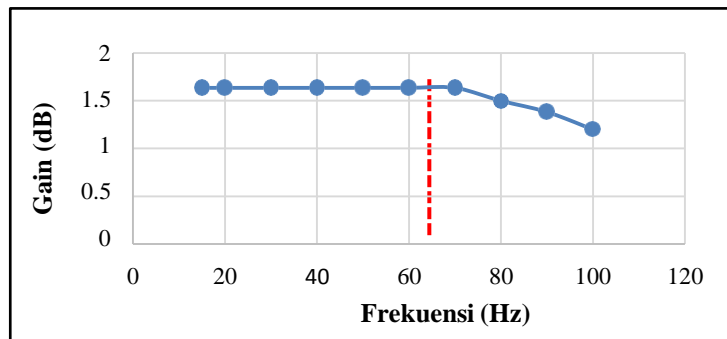
Tabel 1. Data Hasil Pengujian Penguat Instrumentasi

| R_G (k Ω) | V_{in} (Volt) | V_{out} (Volt) | G_{real} | G_{teori} | Akurasi (%) |
|---------------------|-----------------|------------------|------------|-------------|-------------|
| 10 | 0.063 | 0.037 | 5.87 | 6.00 | 99.98 |
| 15 | 0.064 | 0.027 | 4.20 | 4.30 | 97.67 |
| 22 | 0.065 | 0.021 | 3.23 | 3.27 | 98.78 |
| 47 | 0.065 | 0.013 | 2.06 | 2.06 | 99.95 |

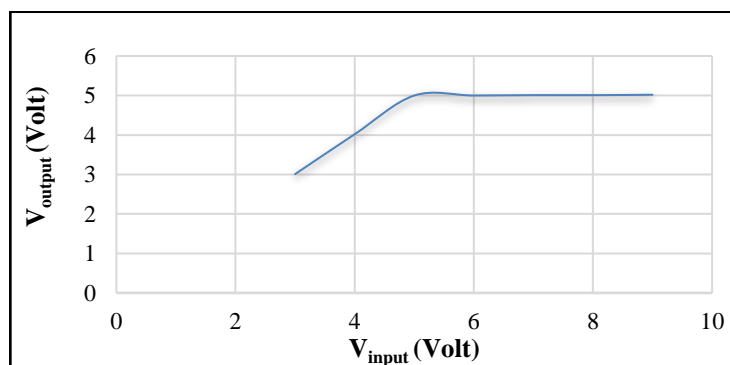
Hasil pengujian *low pass filter* ditampilkan pada Gambar 6. Dari data diperoleh nilai frekuensi *cut-off* sebesar 70 Hz, yang ditunjukkan dengan garis putus-putus warna merah pada grafik. Pengujian *low pass filter* bertujuan untuk meredam masukan yang memiliki frekuensi di atas frekuensi *cut-off*, sehingga sinyal keluaran hanya berada pada frekuensi di bawah frekuensi *cut-off* saja.

Hasil pengujian kestabilan *power supply* yang digunakan dalam rangkaian ditampilkan pada Gambar 7. Pengujian *power supply* dimaksudkan untuk mengetahui apakah regulator dapat mengeluarkan tegangan output sebesar +5Volt sesuai dengan kebutuhan. Dari hasil pengujian nampak bahwa jika tegangan masukan kurang dari 5 Volt, maka tegangan keluaran yang diberikan sesuai dengan tegangan masukan. Namun, jika tegangan masukan lebih dari 5 Volt

maka tegangan keluaran tetap sebesar 5 Volt.

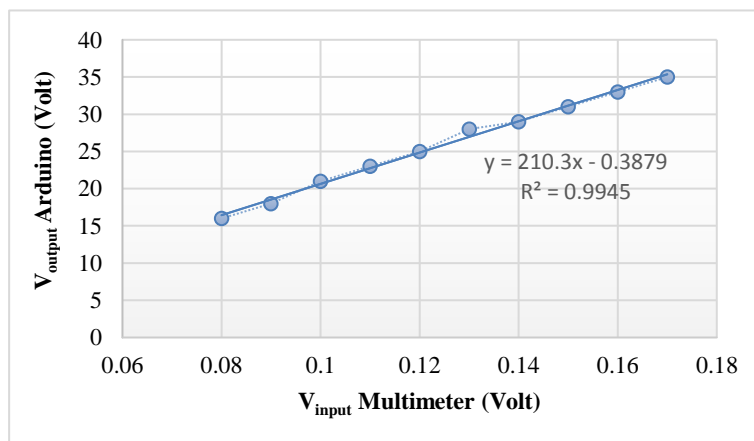


Gambar 6. Grafik Pengujian *Low Pass Filter*



Gambar 7. Grafik hasil pengujian kestabilan *power supply*

Pengujian konsistensi ADC Arduino memberikan nilai korelasi linier sebesar 99.45% antara tegangan input dari multimeter dan tegangan output pembacaan ADC Arduino Uno, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8. Hasil ini menunjukkan kualitas konsistensi kinerja alat yang sangat tinggi. Karena gelombang otak terdeteksi sebagai tegangan yang nilainya sangat kecil, konsistensi yang baik dari output ADC akan memberikan akurasi deteksi sinyal EEG.

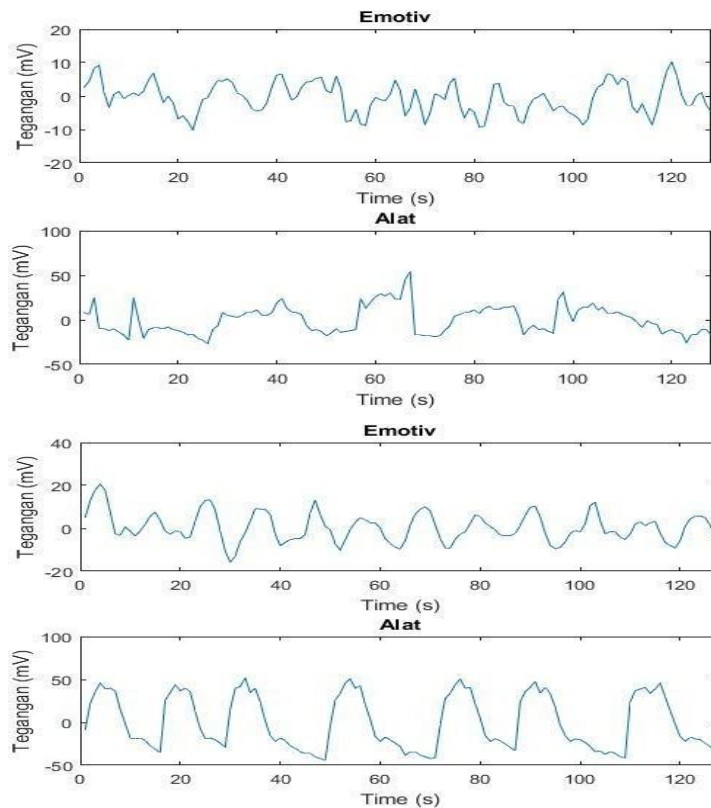


Gambar 8. Grafik Pengujian Konsistensi ADC Arduino Uno

Perekaman Gelombang Otak

Sistem *single electrode* EEG yang telah diuji dalam beberapa tahapan di atas selanjutnya digunakan untuk perekaman gelombang otak. Hasil perekaman EEG berupa data tegangan sebagai fungsi waktu (data *time series*), seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9. Pada Gambar 9 terlihat perbandingan pola sinyal otak antara hasil perekaman dengan sistem *single electrode* EEG dan Emotiv Epoc untuk penempatan elektroda pada titik Fp1. Emotiv Epoc yang digunakan sebagai validator juga bukan merupakan EEG non klinis. Namun dari hasil pengujian validitas Emotiv Epoc untuk mengukur *event-related potentials* (ERPs) menunjukkan hasil yang hampir sama dengan pengukuran menggunakan Neuroscan, sistem EEG untuk riset [9].

Perekaman dilakukan pada beberapa subjek uji dalam keadaan rileks (*resting state*) dengan menggunakan dua modalitas secara bersamaan. Pola yang diperoleh sudah menunjukkan karakteristik gelombang otak yaitu non stasioner, non linier, bersifat acak dan *irregular*. Sinyal berfluktuasi secara periodik sepanjang data perekaman. Titik-titik data tampak random dan polanya non ritmik. Perbedaan besar amplitudo tegangan yang dihasilkan karena dipengaruhi oleh rangkaian penguatan sinyal pada masing-masing sistem EEG berbeda [10].



Gambar 9. Perbandingan Pola Sinyal Otak Hasil Perekaman Sistem *Single Electrode* EEG dan Emotiv Epoc Pada Elektroda Fp1

Kesimpulan dan Saran

Prototype single electrode Electroencephalography (EEG) untuk perekaman gelombang otak

Received 18 February 2021; Accepted 16 May 2021

Available online 21 May 2021

ISSN: 2715-0402

pada bagian lobus frontalis berbasis mikrokontroler Arduino Uno telah berhasil dibuat dan diuji kinerjanya. Sistem EEG memiliki penguatan/instrumentasi sebesar 51 kali dengan tingkat akurasi rata-rata adalah 99,09%. Pengujian *low pass filter* menghasilkan frekuensi *cut-off* sebesar 70 Hz. Hasil perbandingan antara pengukuran pola sinyal otak pada sistem EEG yang dibuat dengan alat standar Emotiv EPOC dengan peletakan elektroda pada titik Fp1 dan A2 (*ground*) menunjukkan pola yang hampir sama. Perlu pengujian lebih lanjut untuk memperoleh hasil perekaman dengan validitas tinggi. Berdasarkan desain yang dibuat juga memungkinkan dikembangkan menjadi multichannel EEG.

Daftar Rujukan

- [1] Nunez PL, Srinivasan R. *Electric fields of the brain: the neurophysics of EEG*. Oxford: Oxford University Press, 2006.
- [2] Parlindungan, R. “*Analisis waktu-frekuensi (TFA) Gelombang EEG Naracoba pada Stimulasi Akupunktur GI*”. (Tesis): Program Studi Magister Instrumentasi dan Kontrol, ITB, Bandung, 2018.
- [3] Acharya, U.R., Bhat S., Faust O., Adeli H., Chya E.C.P., Lim W.J.E, Koh J.E.W, “Nonlinear Dynamics Measures for Automated EEG Based Sleep Stage Detection”, *European Neurology*, 2015: 74, pp. 268-287, <https://doi.org/10.1159/000441975>
- [4] Bauer, R. M., & Dunn, C. B. *Research methods in neuropsychology*. Dalam I. B. Weiner, J. A. Schinka, & W. F. Velicer, *Handbook of psychology: Research methods in psychology* (Vol. II, Edisi kedua). John Wiley & Sons Inc., 2015, 274-315.
- [5] Boshra, R., Ruiter, K. I., DeMatteo, C., Reilly, J. P., & Connolly, J. F. “Neurophysiological correlates of concussion: Deep learning for clinical assessment”. *Scientific Reports*, 9(1), 17341, 2019. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-53751-9>
- [6] Grau, C., Ginhoux, R., Riera, A., Nguyen, T. L., Chauvat, H., Berg, M., ... Ruffini, G. “Conscious brain-to-brain communication in humans using non-invasive technologies”. *PLoS One*, 9(8), e105225, 2014. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0105225>.
- [7] Bandara, D. S. V., Arata, J., & Kiguchi, K. “Towards control of a transhumeral prosthesis with EEG signals”. *Bioengineering*, 5(2), 26, 2018. <https://doi.org/10.3390/bioengineering5020026>
- [8] Ratti, E., Waninger, S., Berka, C., Ruffini, G., & Verma, A. “Comparison of medical and consumer wireless EEG systems for use in clinical trials”. *Frontiers in Human Neuroscience*, 11, 398, 2017. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2017.00398>.
- [9] Nicholas A. Badcock, Kathryn A. Preece, Bianca de Wit, Katharine Glenn, Nora Fieder, Johnson Thie and Genevieve McArthur, “Validation of the Emotiv EPOC EEG system for research quality auditory event-related potentials in children”, *PeerJ* 3:e907, April, 2015. DOI 10.7717/peerj.907
- [10] Pratama S.H., Rahmadhani A., Bramana A., Prihatin O., Handayani N., Haryanto F., Suprjadi and Khotimah S.N., “Signal Comparison of Developed EEG Device and Emotiv Insight Based on Brainwave Characteristics Analysis”, *Journal of Physics: Conference Series* 1505 (2020) 012071 IOP Publishing. doi:10.1088/1742-6596/1505/1/012071.