

RANCANG BANGUN SISTEM PEMONITOR GELOMBANG OTAK NIRKABEL BERBASIS MIKROKONTROLER

Budi Bayu Murti¹, Adlan Bagus Pradana²

^{1,2}Teknik Elektro dan Informatika Sekolah Vokasi Universitas Gadjah Mada
budibm@ugm.ac.id, adlan.pradana@ugm.ac.id

Abstract – Humans are a very complex living system composed of billions of active cells working together to form tissues. The neural network that is awakened has an information transmission system based on the body's electricity or bioelectricity. All surfaces of the human skin and body parts have electrical properties and impedance that can be detected to indicate health conditions. In the biomedical field the measurement of bioelectric signals becomes one of the important aspects. Bioelectric measurements to monitor heart conditions are known as ECG (Electrocardiography), EMG (electromyography), ENG (electroneurography). Signals from the brain are detected from electroencephalography (EEG) signal parameters. The study was developed by a sensor system capable of noninvasive brain waves and capable of sending signals wirelessly through RF radio waves in real-time. The device is built using a TGAM sensor, a microcontroller interface, Bluetooth device, and the LabView application. Tests were carried out to measure the range and frequency range of the EEG. The object of measurement is a human being conditioned to some state of mind. The results show that the wireless EEG signal detection system using Bluetooth transmission has been able to transmit sensor data well and can connect automatically with Arduino. The detection results can be monitored directly on the GUI display of the LabVIEW software and a graph of the frequency range can be seen.

Keywords : Wireless, EEG, LabVIEW, sensor, Bluetooth

Intisari – Manusia merupakan suatu sistem hidup yang sangat kompleks tersusun dari milyaran sel aktif yang bekerja bersama membentuk jaringan. Jaringan syaraf yang terbangun memiliki sistem transmisi informasi berdasarkan pada kelistrikan tubuh atau biolistrik. Semua permukaan kulit dan bagian tubuh manusia memiliki sifat kelistrikan dan impedansi yang bisa dideteksi untuk menunjukkan kondisi kesehatan. Di bidang biomedis pengukuran isyarat biolistrik menjadi salah satu aspek yang penting. Pengukuran biolistrik untuk memonitor kondisi jantung dikenal sebagai informasi ECG (Electrocardiography), EMG (Electromyography), ENG (Electroneurography). Sedangkan untuk sinyal dari otak dideteksi dari parameter isyarat Electroencephalography (EEG). Pada penelitian ini dilakukan pengembangan sistem sensor yang mampu mendeteksi gelombang otak secara non-invasif dan mampu mengirimkan isyarat secara nirkabel melalui gelombang radio RF secara *real-time*. Perangkat dibangun menggunakan sensor TGAM, antarmuka mikrokontroler, piranti Bluetooth, serta aplikasi LabView. Pengujian dilakukan untuk mengukur jarak jangkauan dan rentang frekuensi EEG. Objek pengukuran adalah manusia yang dikondisikan pada beberapa keadaan pikiran. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem pendeteksi sinyal EEG nirkabel menggunakan transmisi Bluetooth telah dapat mengirimkan data sensor dengan baik serta dapat terhubung secara otomatis dengan Arduino. Hasil pendeteksian dapat dimonitor secara langsung pada tampilan GUI software LabVIEW dan dapat diketahui grafik rentang frekuensinya.

Kata kunci : Nirkabel, EEG, LabVIEW, sensor, Bluetooth

I. PENDAHULUAN

Manusia merupakan suatu sistem hidup yang sangat kompleks tersusun dari milyaran sel aktif yang bekerja bersama membentuk jaringan. Jaringan syaraf yang terbangun memiliki sistem transmisi informasi berdasarkan pada kelistrikan tubuh atau biolistrik. Semua permukaan kulit dan bagian tubuh manusia memiliki sifat kelistrikan dan impedansi yang bisa dideteksi untuk menunjukkan kondisi. Di bidang biomedis pengukuran isyarat biolistrik menjadi salah satu aspek kegiatan yang penting. Pengukuran biolistrik untuk memonitor kondisi jantung dikenal sebagai informasi ECG (Electrocardiography), EMG (Electromyography) untuk otot, ENG (Electroneurography) untuk syaraf. Sedangkan untuk sinyal dari otak dideteksi dari parameter isyarat EEG (Electroencephalography).

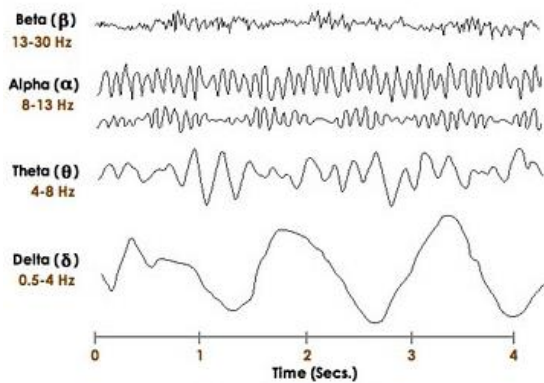
Sinyal EEG merupakan gelombang yang paling kompleks dibanding dengan sinyal biomedis yang lain. Terutama dalam pengambilan data karena letak titik pengambilan berada di daerah kepala, yang sebagian besar ditumbuhi rambut. Penempatan sensor harus tepat pada posisinya dan menggunakan elektroda yang tepat. Elektroda kering dan non-invasif banyak digunakan dalam pengambilan data EEG karena lebih praktis dan tidak menimbulkan rasa sakit pada permukaan kulit. Sensor yang

memiliki antarmuka terhubung langsung dengan jaringan listrik beresiko mengalami masalah pentanahan dan kebocoran arus. Antarmuka yang menggunakan kabel juga kurang fleksibel dalam pemakaian.

Pada penelitian ini akan dilakukan pengembangan sistem sensor yang mampu mendeteksi gelombang otak secara non-invasif dan mampu mengirimkan isyarat secara nirkabel melalui gelombang radio RF secara *real-time*. Isyarat yang terdeteksi selanjutnya dikondisikan secara elektronis agar mudah diproses sesuai pemanfaatan. Faedah yang diharapkan dalam penelitian ini adalah Mempermudah dalam memahami karakteristik sinyal EEG, memudahkan monitoring kondisi otak melalui pendeteksian isyarat biolistrik otak, dan sebagai sarana penerapan dan pengembangan teknologi rekayasa elektronika medis, dan neurosains.

II. STUDI PUSTAKA

Sinyal EEG dapat diukur dengan cara menempatkan elektroda atau sensor secara non-invasif pada permukaan kulit kepala. Amplitudo sinyal EEG normal memiliki rentang 10-100 μV menggunakan elektroda pada kulit kepala. Berdasarkan pada rentang frekuensi yang terukur, sinyal gelombang otak (EEG) terbagi dalam beberapa jenis seperti pada gambar 1.



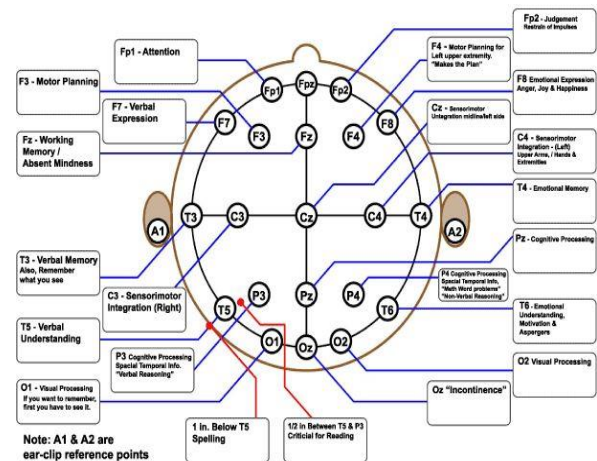
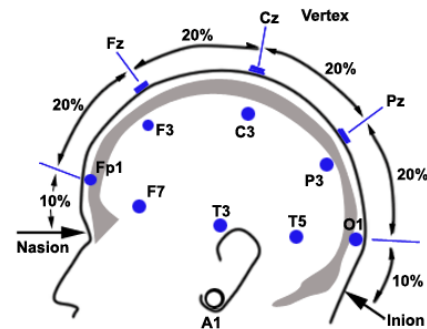
Gambar 1. Ragam Bentuk Gelombang Otak (EEG) [14]

Berdasarkan pada rentang frekuensi yang terukur, sinyal gelombang otak (EEG) terbagi dalam beberapa jenis sebagai berikut:

1. Alpha merupakan gelombang otak dengan rentang frekuensi antara 8 - 13 Hz. Alpha mengindikasikan seseorang dalam keadaan kondisi pikiran rileks. Gelombang ini muncul pada bagian otak daerah *occipital cortex* dan juga pada bagian frontal cortex.
2. Beta merupakan gelombang otak dengan rentang frekuensi antara 13 - 30 Hz. Beta adalah gelombang otak yang biasanya terjadi pada saat seseorang sedang aktif berpikir. Gelombang Beta terbagi menjadi *Beta Low* (13-20 Hz) dan *Beta High* (20 - 30 Hz).
3. Theta merupakan gelombang otak dengan rentang fiekuensi antara 4 - 8 Hz. Theta muncul pada seseorang yang mengalami stres secara emosional
4. Delta merupakan gelombang otak dengan rentang frekuensi antara 0.5 - 4 Hz. Delta muncul pada saat seseorang dalam keadaan tidur nyenyak dan dapat pula mengindikasikan adanya cacat fisik di otak.

Penelitian mengenai sistem pendeteksi gelombang otak (EEG) sudah sering dilakukan oleh para ilmuwan ataupun industri. Sistem menggunakan elektrode kering dari busa untuk menjaga impedansi kulit rendah. Hasil pendeteksian dimonitor melalui sistem transmisi bluetooth. Sistem ini digunakan untuk memantau kondisi emosi dari pemain game[1]. Sistem pendeksi sinyal EEG nirkabel menggunakan elektrode kering tanpa gel yang dilengkapi dengan *skin screw*. Titik perekaman menggunakan pola 3 titik. Hasil deteksi dikirimkan melalui transmisi Bluetooth dikirimkan ke telepon genggam [5]. Pengembangan sistem EEG nirkabel riil time berbasis pada sistem Bluetooth dengan klasifikasi sinyal menggunakan metode SMV. Sistem menggunakan 3 titik elektrode kering untuk memonitor keadaan harian pasien [3]. Pengembangan piranti pendeteksi EEG nirkabel khusus untuk keperluan BCI(*Brain Computer Interface*). Sistem menggunakan 2,4,6,8 elektrode untuk memonitor atensi dan emosi dari pemakai [4].

Pengukuran gelombang EEG melalui sensor atau *probe* dapat diletakkan pada titik C3, C4, P3, P4, O1, O2 dan sebagainya berdasarkan sistem internasional 10-20. Untuk *probe* referensi pengukuran diletakkan pada titik A0 dan A1. Sistem ini didasarkan pada pengukuran yang dibuat dari *nasion inion* sisi kiri dan kanan kepala. Titik peletakan sensor didasarkan pada referensi peta otak manusia seperti pada gambar 2 [13].



Gambar 2. Peta Titik Peletakan Sensor[2]

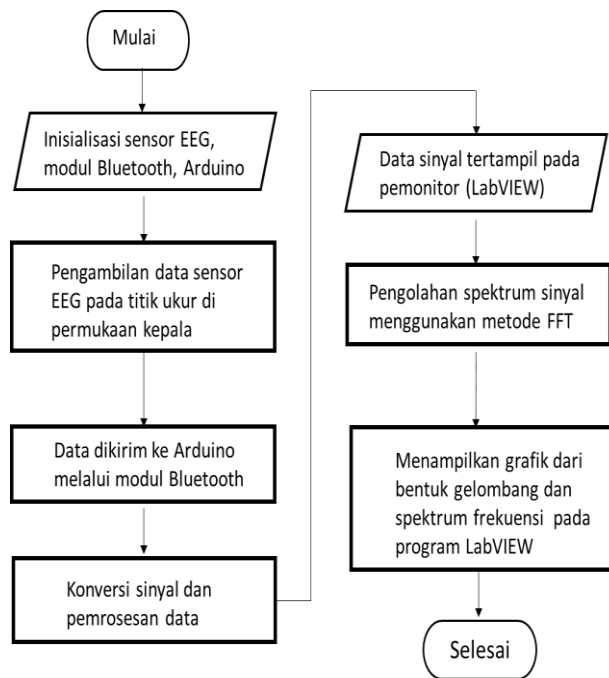
Bahan elektrode yang umum digunakan pada sensor adalah piringan probe berbahan Ag-AgCl dan diberi gel elektrolit untuk menambah konduktivitas. Pemakaian Elektroda kering sebagai *probe* memiliki keuntungan tanpa gel, tidak berpotensi iritasi, dan lebih portabel.

[6] Melakukan penelitian mengenai pengendalian lampu menggunakan sensor gelombang otak. Pengendalian dilakukan melalui tiga sensor yang diletakkan di bagian depan kepala manusia.

[12] Melakukan penelitian tentang interpretasi Sinyal EEG yang digunakan untuk mengetahui kondisi seseorang menggunakan *software* labView.

III. METODE PENELITIAN

Diagram alir digunakan untuk mengetahui alur kerja yang mendeskripsikan mulai dari awal hingga akhir proses penelitian. Gambar 3 menunjukkan keseluruhan dari *flowchart* sistem yang dibangun.



Gambar 3. Flowchart Sistem

Proses dimulai dengan inisialisasi I/O seperti elektrode probe dengan sensor yang akan mendeteksi sinyal pada permukaan kepala yang seposisi dengan otak manusia yang kemudian ditransmisikan secara nirkabel ke penerima yang dilengkapi modul Bluetooth HC-05. Modul terhubung dengan Arduino. Selanjutnya data sinyal yang diperoleh akan dikonversikan dan diproses melalui mikrokontroler Arduino Uno yang telah terhubung melalui *interface* USB ke laptop. Kemudian sinyal EEG tersebut diekstraksi spektrumnya menggunakan Transformasi Fourier menggunakan metode FFT dan ditampilkan pada *software* LabVIEW secara grafis.

Peralatan dan bahan-bahan yang digunakan untuk penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Piranti antarmuka EEG, sistem elektronis analog digunakan untuk memproses sinyal lemah dari sensor yang terdeteksi.
- b. Elektrode (probe) berbahan perak. Terdapat 3 *probe* yang digunakan yaitu 1 *probe* tekan tempel , dan 2 *probe* tempel jepit.
- c. Kabel penghubung dan konektor, digunakan untuk menghubungkan antara elektroda dengan piranti antarmuka.
- d. Piranti mikrokontroler Arduino Uno, digunakan untuk memroses data analog dan digital, serta transmisi data ke laptop.
- e. *Software* Labview, untuk membantu simulasi isyarat EEG
- f. Arduino Sketch, untuk memprogram piranti mikrokontroler Arduino
- g. Laptop/komputer untuk pemrosesan data, sekaligus catu daya rangkaian

TGAM merupakan sebuah antarmuka sensor sinyal biolistrik atau salah satu sensor biolistrik yang dapat mengukur gelombang otak manusia. TGAM yang ditunjukkan pada gambar 4 juga merupakan sensor gelombang otak utama Neurosky dari *microcircuit system-on-chip* yang dilengkapi dengan komponen akuisisi sinyal. Menggunakan prinsip operasi yang cukup sederhana, dua sensor kering untuk mendeteksi dan menyaring sinyal EEG dengan *chip onboard* yang memproses semua informasi dan menyediakan data ini ke dalam bentuk digital. Ujung sensor TGAM mendeteksi sinyal listrik dari permukaan dahi manusia. Pada saat yang sama, sensor mengambil derau yang dihasilkan oleh otot manusia dan dari lingkungan disekitar. Sensor kedua adalah klip telinga yang terdiri dari pentanahan dan referensi, memungkinkan TGAM untuk menyaring derau. Data dari pengolahan sinyal gelombang otak dalam bentuk analog kemudian diproses dalam mikrokontroler agar dapat menghasilkan isyarat perintah [6].



Gambar 4. TGAM Developmet Kit

Di dalam rangkaian perangkat TGAM ini terdapat beberapa komponen diantaranya adalah sebagai berikut :

TGAM merupakan sensor gelombang otak dari NeuroSky modul ASIC yang dirancang untuk aplikasi masal. Sensor ini dapat mengubah sinyal otak menjadi pesan, dimana orang tersebut berpikir kemudian mengubah pemikiran menjadi sinyal listrik dan dikirim ke prosesor untuk melakukan perintah tertentu yang dapat diaplikasikan pada aplikasi ponsel, aplikasi windows, permainan/*video game*, serta dapat diaplikasikan untuk penggunaan medis dan teknologi. Gambar 5 berikut merupakan sensor Think Gear AM



Gambar 5. Think Gear AM [11]

Konektivitas sensor yang terdapat pada modul TGAM dapat dihubungkan melalui Bluetooth atau nirkabel menggunakan pengendali atau dengan *smartphone* atau

komputer. Bahwa dengan elektrode kering yang sederhana, modul ini baik digunakan dalam permainan, *video game*, dan perangkat kesehatan karena konsumsi daya yang menggunakan baterai, sehingga cocok diaplikasikan secara portabel.

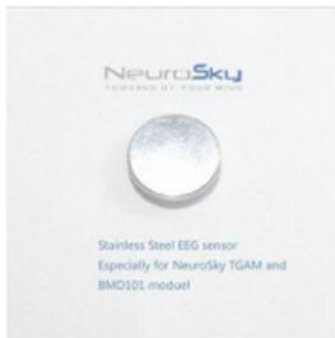
Modul Bluetooth dengan tipe HC-05 merupakan piranti yang digunakan untuk mengirimkan sinyal/data ke *smartphone*, komputer/PC.

Battery case yang ditunjukkan pada Gambar 6 berikut merupakan tempat penyimpanan baterai sebagai catu daya dengan saklar ON/OFF



Gambar 6. *Battery Case*

Gambar 7 menunjukkan sensor *dry stainless* yang merupakan sensor EEG yang terdapat pada modul TGAM.



Gambar 7. *Dry Stainless Steel Sensor*

Ear Clips yang ditunjukkan pada gambar 8 berikut merupakan klip yang dipasangkan pada telinga yang terdiri dari pentanahan dan referensi.



Gambar 8. *Ear Clips*

Bluetooth menjadi teknologi nirkabel standar yang merupakan pertukaran pengetahuan antara perangkat dalam jarak dekat sehingga dapat membangun jaringan area pribadi (PAN). Bluetooth beroperasi dalam pita frekuensi 2,4 GHz atau antara (2400 - 2483,5 MHz), kecuali untuk beberapa negara memiliki batas frekuensi sendiri dengan menggunakan *frequency hopping tranceiver* untuk menyediakan data dan layanan bicara secara *real time* antara host Bluetooth. Dalam penelitian ini menggunakan modul Bluetooth dengan tipe HC-05. Modul Bluetooth HC-05 digunakan untuk mengubah port serial yang berinteraksi dengan kabel menjadi komunikasi serial dengan teknologi nirkabel atau tanpa kabel. Bluetooth HC-05 menggunakan *chip* BlueCore 4-eksternal yang merupakan *chip* radio tunggal dan *baseband* IC untuk Bluetooth 2.4GHz yang mengadopsi sistem peningkatan kecepatan data (EDR) yang memiliki kecepatan transfer data hingga tiga Mbps. Selain HC-05, ada juga beberapa jenis modul Serial Port Protocol (SPP) lainnya yaitu HC-03, HC-04 dan HC-06. Modul serial Bluetooth dengan tipe bernomor genap (HC-04 dan HC-06) adalah jenis yang mode operasinya tidak dapat diubah dari pengaturan pabrik. Mode komunikasi yang didukung Bluetooth HC-05 memiliki dua mode kerja, yaitu mode kerja *order-response work mode* dan *automatic connection work mode*. Untuk mode kerja *order-response* adalah komunikasi yang terjalin antara Bluetooth secara manual.

Arduino adalah sirkuit elektronik yang memiliki sifat *open source*, dan memiliki perangkat keras dan perangkat lunak yang mudah digunakan. Arduino dapat mengenali lingkungan yang mencakup melalui berbagai jenis sensor dan dapat mengontrol suhu, lampu, motor, dan berbagai jenis aktuator lainnya. Arduino juga terdiri dari beberapa jenis, termasuk Arduino Uno, Arduino Mega 2560, Arduino Leonardo dan lain-lain[8]. Arduino yang ditunjukkan pada gambar 9 adalah Arduino Uno yang digunakan dalam penelitian ini. Arduino Uno merupakan sistem mikrokontroler papan minimum di mana ada mikrokontroler AVR seri ATmega 328 yang merupakan produk dari Atmel. Secara umum, arduino dengan mikrokontroler berada dalam posisi untuk membuat program yang dapat mengendalikan berbagai komponen elektronik



Gambar 9. Arduino Uno

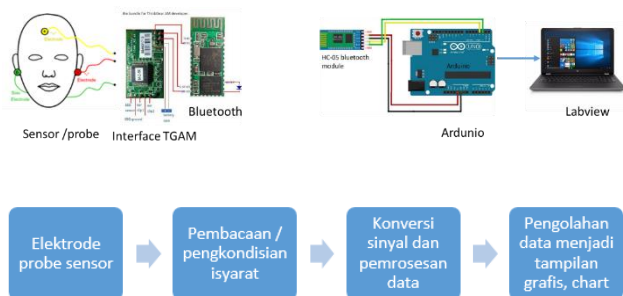
Dalam proyek akhir ini arduino diperlukan untuk menerima dan memproses data dari sensor EEG yang terhubung secara nirkabel dan diteruskan ke PC untuk dipantau secara langsung. Fungsi arduino uno adalah untuk memudahkan pengguna dalam prototyping, program mikrokontroler dan membuat macam-macam alat berbasis mikrokontroler. LabVIEW atau kependekan dari *Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench* yang ditunjukkan pada gambar 10 merupakan perangkat lunak pemrograman yang diproduksi oleh National Instruments.



Gambar 10. Software LabVIEW [10]

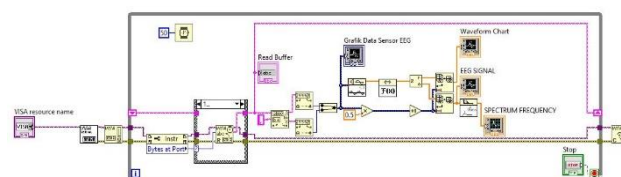
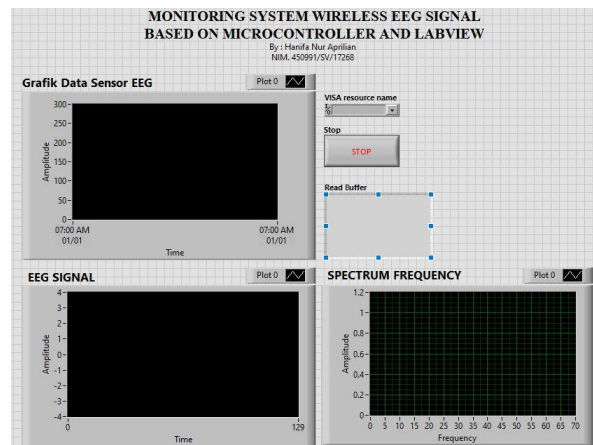
Seperti bahasa pemrograman lainnya yaitu C ++, java, matlab atau visual basic, LabVIEW juga memiliki fungsi dan peran yang setara, perbedaan dari LabVIEW adalah menggunakan bahasa pemrograman atau diagram berbasis grafis sementara bahasa pemrograman lainnya menggunakan teks. Program LabVIEW disebut sebagai VI atau *Virtual Instrument* karena penampilan dan operasinya dapat meniru instrumen. Di LabVIEW, yang dilakukan pengguna adalah membuat antarmuka atau panel depan menggunakan kontrol dan indikator, yaitu tombol, tombol tekan, dial dan peralatan input lainnya sementara indikasinya adalah grafik, LED, dan peralatan tampilan lainnya. Setelah menyusun antarmuka, pengguna kemudian mengatur diagram yang berisi kode VIs untuk mengatur panel depan.

Alur proses kerja sistem diperlihatkan pada gambar 11 dimulai dari penempatan ujung sensor utama pada bagian dahi untuk mendeteksi sinyal-sinyal otak bagian depan. Pada saat yang sama, sensor tersebut mengambil noise yang dihasilkan oleh otot manusia dan dari lingkungan sekitar. Sensor yang kedua diletakkan atau dijepit di telinga yang terdiri dari pentanahan dan referensi. kabel penghubung dan konektor, digunakan untuk menghubungkan antara probe dengan piranti antarmuka.



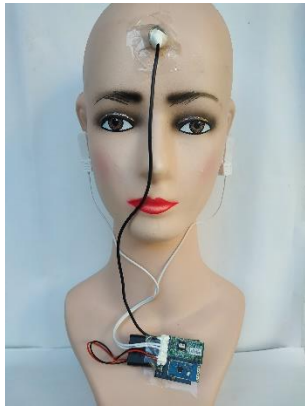
Gambar 11. Alur Sistem

Piranti antarmuka penguat instrumentasi dan rangkaian penapis dalam modul Think Gear ASIC Modul (TGAM) digunakan untuk memproses sinyal. Piranti Bluetooth untuk transmisi data nirkabel. Piranti mikrokontroler Arduino digunakan untuk memproses data analog dan digital, serta transmisi data. Software Labview digunakan untuk membantu tampilan grafis (GUI) isyarat EEG[7]. Osiloskop digunakan untuk pengujian mengetahui bentuk sinyal. Spektrum analyzer untuk pengujian mengetahui spektrum frekuensi transmisi Bluetooth. Rancangan pembuatan GUI sistem pemonitor dengan menggunakan software LabVIEW terlihat pada gambar 12. Dari desain GUI sistem pemonitor dapat diketahui beberapa tampilan diantaranya data sensor EEG berupa angka serta grafik gelombang serta spektrum FFT atau spektrum frekuensi yang terdeteksi pada saat pengujian. Dalam melakukan pengujian, sensor utama modul TGAM diletakkan di kepala bagian depan atau dahi, kemudian kedua sensor yang lain diletakkan atau dijepitkan pada kedua telinga kanan dan kiri. Pengujian diawali dengan menyalakan piranti sensor, beberapa detik kemudian indikator pada modul sensor menyala. Indikator bluetooth HC-05 pada arduino menyala dan otomatis terkoneksi dengan sensor.



Gambar 12. Rancangan GUI untuk Menampilkan Sinyal EEG

Contoh penggunaan serta peletakan ketiga sensor tersebut tampak pada gambar 13. Untuk mengetahui hasil output sensor pada pemonitor LabVIEW, sistem yang dibuat dijalankan kemudian data dari sensor EEG akan tertampil beserta spektrum frekuensinya. Pengujian dilakukan untuk mengetahui frekuensi kerja sensor pada beberapa kondisi otak manusia dari keadaan tidur terlelap atau rileks sampai keadaan ketika otak sedang aktif bekerja keras.

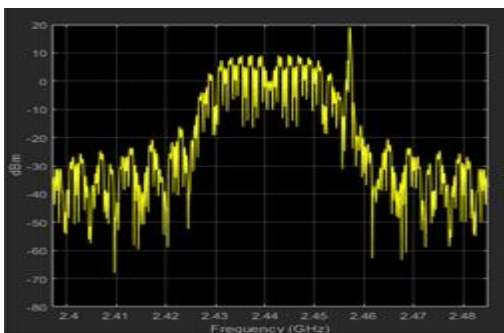


Gambar 13. Contoh Penggunaan Alat dan Peletakan Sensor EEG

Dalam tahapan ini pengujian sistem dilakukan dengan menghubungkan sensor EEG menggunakan komunikasi Bluetooth. Modul Arduino uno dihubungkan dengan modul Bluetooth HC-05 menggunakan kabel jumper. Pengujian dilakukan dengan tujuan agar dapat diketahui bahwa komputer dapat menerima data serial dari sensor EEG. Arduino uno dihubungkan dengan Bluetooth HC-05 menggunakan jumper pada pin-pin konfigurasi. Kemudian arduino uno dihubungkan ke komputer dengan kabel USB. Untuk sensor EEG yang digunakan telah dilengkapi dengan Bluetooth sehingga dapat langsung digunakan ketika saklar dihidupkan dan kedua bluetooth telah *pairing*. Pengujian lain dilakukan untuk mengetahui jarak jangkauan pemancar Bluetooth dan spektrum frekuensi menggunakan instrumen *spectrum analyzer*.

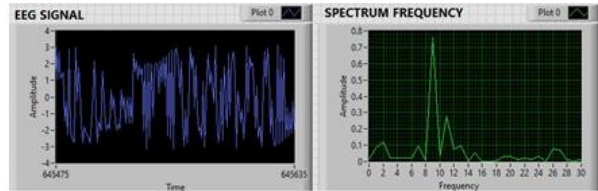
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian pertama dilakukan untuk melihat spektrum frekuensi sinyal dan jarak jangkauan komunikasi Bluetooth antara modul sensor dan penerima. Hasil pengukuran menunjukkan frekuensi tengah yang terdeteksi pada 2,44 GHz dengan kekuatan sekitar 10 dBm seperti tampak pada gambar 14. Sedangkan saat diuji jarak jangkauan tanpa halangan (non-LoS) komunikasi Bluetooth mencapai radius 50 meter.



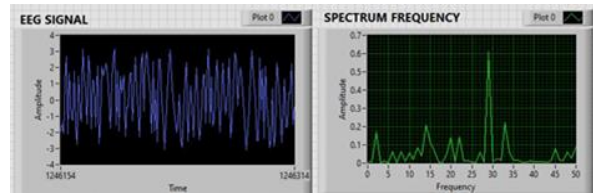
Gambar 14. Hasil Pengukuran Sinyal Bluetooth

Pengujian selanjutnya mengamati sinyal EEG yang terdeteksi untuk empat kondisi otak dari objek seorang manusia. Hasil pengujian secara langsung tertampil pada GUI Labview. Tampilan berupa grafik data sensor, sinyal EEG, dan spektrum frekuensinya.



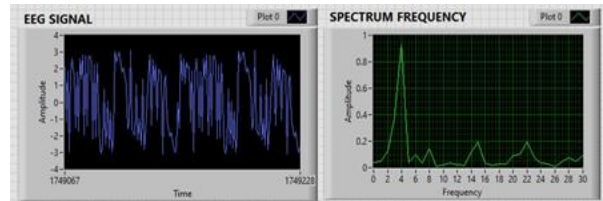
Gambar 15. Gelombang EEG pada Kondisi Objek Rileks

Terlihat pada gambar 15 bahwa saat keadaan rileks, pada ambang (*threshold*) magnitudo 0,4 dB terdeteksi spektrum frekuensi dengan rentang 9-10 Hz. Rentang tersebut termasuk dalam kategori sesuai gelombang otak alfa, yang muncul saat otak rileks.



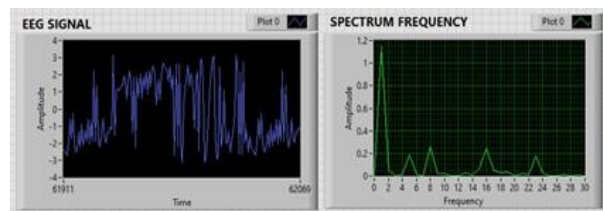
Gambar 16. Gelombang EEG Pada Kondisi Objek Berkonsentrasi

Tampak dari gambar 16 berupa tampilan saat keadaan konsentrasi, pada ambang magnitudo 0,4 dB terdeteksi spektrum frekuensi pada rentang 29-30 Hz. Rentang tersebut termasuk dalam kategori gelombang otak beta, yang muncul saat otak berkonsentrasi.



Gambar 17. Gelombang EEG Pada Kondisi objek Mengantuk

Tampak dari gambar 17 berupa tampilan saat keadaan objek mengantuk, pada ambang magnitudo 0,4 dB terdeteksi spektrum frekuensi pada rentang 3-5 Hz. Rentang tersebut mendekati kategori gelombang otak theta, yang muncul saat otak istirahat tetapi belum sampai terlelap.



Gambar 18. Gelombang EEG Pada Kondisi Objek Tertidur

Gambar 18 menunjukkan tampilan saat keadaan objek tertidur. Pada ambang magnitudo 0,4 dB terdeteksi spektrum frekuensi pada rentang 1-2 Hz. Rentang tersebut mendekati kategori gelombang otak delta, yang muncul saat otak istirahat objek tertidur. Tetapi saat pengujian mengalami kesulitan mengkondisikan objek tertidur lelap karena cukup terganggu dengan tempelan sensor yang ada di kepala.

Setelah melakukan beberapa klasifikasi sinyal EEG dari berbagai kondisi otak manusia, dalam penelitian ini hasil yang didapatkan mendekati dengan teori yang ada. Akan tetapi dalam melakukan pengujian, masih memerlukan kestabilan yang lebih tinggi karena pengujian yang dilakukan secara *realtime* dan gelombang yang tertampil terus bergerak atau kurang stabil. Meskipun demikian data yang telah diperoleh tetap dapat dianalisa dan diketahui perbedaannya dalam berbagai kondisi.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan pembahasan dapat diambil kesimpulan bahwa sistem pemonitor sinyal EEG nirkabel menggunakan transmisi Bluetooth telah dapat mengirimkan data sensor dengan baik, serta dapat terhubung secara otomatis. Hasil pendeteksian sinyal dapat dimonitor secara langsung pada tampilan GUI *software* LabVIEW dan dapat diketahui grafik rentang frekuensinya. Sinyal EEG yang terdeteksi memiliki rentang nilai berbeda-beda tergantung pada aktivitas otak pada saat pengukuran. Keadaan objek saat konsentrasi, rileks, mengantuk, dan tertidur akan mempengaruhi bentuk gelombang otak. Meskipun alat sudah mampu membedakan rentang frekuensi untuk beragam kondisi aktivitas otak, namun masih memerlukan upaya untuk menjaga kestabilan yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Liao et al. (2012). Gaming control using a wearable and wireless EEG-based brain-computer interface device with novel dry foam-based sensors. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 9:5
- [2] O'Neill, C. (2017, September 27). EEG Info (Electroencephalogram), Retrieved from <https://cynthiaoneillcpj.wordpress.com/2017/09/27/eeg-info-electroencephalogram/>
- [3] Qing Zhang et al.(2018). A real-time wireless wearable electroencephalography system based on Support Vector Machine for encephalopathy daily monitoring.. *International Journal of Distributed Sensor Networks* Vol. 14(5)
- [4] Seonghun et al. (2020). Design of Wearable EEG Devices Specialized for Passive Brain-Computer Interface Applications. *MDPI Sensors*. 20. 4572.
- [5] Wenyan et al. (2013). Design of a Wireless EEG System for Point-of-Care Applications. 39th Annual Northeast Bioengineering Conference.
- [6] Tombeng, M. T., & Rumayar, R. M. (2017). Light Controlling System by Using Brain Waves Sensor. *Cogito Smart Journal*, 240-248.
- [7] Alfina, R., Arifianto, I., Astharini, D., & Wulandari, P. (2019) Mendisain GUI Untuk Menampilkan Nilai FFT dan IFFT Menggunakan LabVIEW *TESLA*, 50-56.A. S.
- [8] Arga. (2020, July). *Pengertian Arduino Uno dan Spesifikasinya*. Retrieved from Pintar Elektro: <https://pintarelektro.com/pengertian-arduino-uno/>
- [9] Catur. (2018, June 26). *Cara Mudah Mengatur Auto Pairing Bluetooth HC-05 (Antar Bluetooth HC-05)*. Retrieved from Creative Project: http://www.caturcreativeproject.com/2017/05/cara-mudah-mengatur-auto-pairing_10.html
- [10] Instruments, N. (2021). *National Instruments*. Retrieved from What is LabVIEW?: <http://www.ni.com>
- [11] NeuroSky. (2011). *ThinkGear ASIC Module (TGAM)*. Retrieved from NeuroSky: <http://www.neurosky.com>
- [12] Thomas, T., James, M., Shaji, R. R., & Pillai, B. C. (2016). Interpretation of Human Stages from EEG Signals Using LabVIEW. *International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering*, 517-519.
- [13] Tomonagal, K., Wakamizul, S., & Kobayashi, J. (2015). Experiments on classification of electroencephalography (EEG) signals in imagination of . *International Conference on Control, Automation and Systems direction using a wireless portable EEG headset*, 1805-1810.
- [14] Sleep Architecture. (2011). Retrieved from <http://evolutionarypsychiatry.blogspot.com/2011/01/sleep-architecture.html>