

Sistem Pendeteksi Gelombang Otak berbasis Electroencephalogram (EEG) pada Studi Kasus Anak Penderita Autisme

Gamaliel Saverius Siregar¹⁾, Yusnita Rahayu²⁾

^{1,2)}Program Studi Teknik Elektro S1, Fakultas Teknik Universitas Riau
Kampus Bina Widya, Jl. H. R. Soebrantas Km. 12,5 Simpang Baru, Panam
Pekanbaru 28293

Email: gamaliel.saverius@student.unri.ac.id; yusnita.rahayu@lecture.unri.ac.id

ABSTRACT

Brain is the important part as a control center, coordination and controlling the human body. Inside the brain can be noticed that there are activity and abnormalities of the brain work. Every single person has activity or abnormalities brain work. It can happen to children with autism. Children who have an autistic symptoms occur due to distrubance of complex and variation of the brain function. A brain waves recorder or Elektroesefalogram can see and read the brain work activity. elektroesefalogram is a test that is used to know the electrical activity of the brain to detect whether there is a brain abnormality or not. This research designs a prototype EEG equipment especially to record children with autistic symptoms. The choosen participants in this research are chosen by seeing the result of CAST questionnaire that contains 37 questions. The recording in this research is used by using a particular sensor which is electrode, that is installed on the scalp and connected to computer/laptop. Using 4 electrodes in the lobes that are determined as a benchmark. The result of the recording can be displayed directly by MATLAB on a connected computer.

Keywords : Autism, EEG, CAST, electrodes, Electroensephalogram, MATLAB.

I. PENDAHULUAN

Otak merupakan organ tubuh vital yang menjadi pusat koordinasi dalam tubuh manusia, sehingga apabila otak mengalami kelainan maka akan berpengaruh besar pada kontrol kordinasi pada tubuh manusia. Untuk mempelajari cara kerja serta kelainan pada otak telah dikembangkan berbagai teknologi untuk kebutuhan diagnosa. (Yudiansyah, 2014).

Salah satu bagian terpenting dalam tubuh manusia yang juga merupakan pusat dari sistem saraf adalah otak. Otak memiliki volume berkisar 1.350 cc.dan memiliki 100 juta sel saraf untung menunjang fungsinya. Otak merupakan pengendali tubuh. Jika seseorang memiliki otak yang sehat, maka akan mendorong kesehatan bagi tubuh. Namun sebaliknya, jika otak seseorang dalam kondisi tidaka sehat, maka itu merupakan penyebab dari segala masalah pada tubuh. (Faturachman, dkk 2019).

Otak bekerja menggunakan sistem kelistrikan, yaitu menghasilkan sinyal listrik kecil dalam pola teratur dan disalurkan melalui jaringan sel-sel saraf yang disebut neuron. Perbedaan komposisi ionik pada cairan intraseluler dan ekstraseluler menghasilkan gradien voltase listrik melintasi membran yang disebut potensial membran. Potensial inilah yang direkam oleh elektroenchephalograph (Yudiansyah, 2014).

Elektroensephalogram (EEG) merupakan sinyal yang memberikan informasi fungsi otak dan syaraf. Sinyal EEG mempunyai amplitudo yang rendah, non stasioner dan tidak ada pola tertentu sehingga tidak mudah untuk dianalisis secara visual. Beberapa variabel yang mempengaruhi sinyal EEG seperti tingkat perhatian, tingkat kewaspadaan, karakter seseorang, dan pengaruh rangsangan luar. EEG adalah suatu instrumen yang digunakan untuk merekam aktivitas listrik statis yang dihasilkan dari rangsangan yang diterima otak (Rifky, 2016). Elektrosensefalograf (EEG) ialah suatu instrumen medis untuk mengukur potensial listrik yang dihasilkan oleh sel saraf otak

dengan memasang sensor (elektroda) pada permukaan kulit kepala. Salah satu hasil penelitian tentang sinyal otak yang menggunakan EEG ialah diketahuinya beberapa tipe sinyal yang terkait dengan aktivitas otak manusia. (Ghea, 2015). Sinyal EEG terdiri dari komponen-komponen frekuensi yang direpresentasikan dalam domain waktu. Komponen frekuensi yang dimiliki sinyal EEG menginformasikan kondisi otak. Penempatan elektroda di kulit kepala pada saat perekaman umumnya diukur berdasarkan metode *International Federation of Society of Electroencephalogram*, melalui elektroda yang diletakkan di kulit kepala didapatkan aktivitas listrik dari pola gelombang otak dan dapat menginterpretasikan kelainan atau penyakit yang diderita pasien melalui aktivitas otaknya.

Autisme merupakan salah satu fenomena keterlambatan dan hambatan dalam proses perkembangan anak pada umumnya, yang terjadi akibat adanya gangguan perkembangan fungsi otak yang kompleks dan bervariasi (Ganis, 2017). Penderita Autisme tidak bisa menyesuaikan dengan kehidupan manusia normal pada umumnya, ini terjadi akibat adanya gangguan perkembangan fungsi otak yang kompleks dan bervariasi. Secara umum, anak autistik memiliki gangguan dalam hal: komunikasi, interaksi sosial, imajinasi, pola perilaku berulang, dan tidak mudah menyesuaikan terhadap lingkungan. EEG atau *brain-mapping* dilakukan untuk mengetahui atau melihat aktifitas pada otak penderita autisme.

Pada tulisan ini penelitian ini diharapkan dapat mengetahui bagaimana penggunaan dan teknik analisis Elektroencephalograph dalam menghasilkan pola gelombang otak sehingga dapat diperoleh gambaran karakteristik gelombang otak melalui analisis gelombang otak yang telah didapatkan melalui EEG dan menghasilkan keluaran grafik sinyal dalam *software* MATLAB.

II. TEORI DASAR

Otak

Otak manusia terdiri dari sekitar seratus miliar sel-sel saraf yang disebut neuron, mereka membawa sinyal ke seluruh bagian otak dan antara otak ke bagian – bagian lain dari tubuh. Masing masing neuron menghasilkan sinyal listrik, yang kemudian disebarkan oleh neurotransmitter dalam bentuk sinyal penghantar listrik. Otak

melaksanakan semua fungsi yang disadari. Otak bertanggung jawab terhadap pengalaman-pengalaman berbagai macam sensasi atau rangsangan terhadap kemampuan manusia untuk melakukan gerakan-gerakan yang menurut kemauan (disadari), dan kemampuan untuk melaksanakan berbagai macam proses mental, seperti ingatan atau memori, perasaan emosional, intelegensi, berkomunikasi, sifat atau kepribadian dan ramalan. Otak, yang pada dasarnya adalah suatu komputer sentral, menerima sinyal eksternal dan internal dan (biasanya) menghasilkan respons yang sesuai. Informasi disalurkan sebagai sinyal listrik di sepanjang saraf-saraf. Saat kita menjalankan fungsi-fungsi khusus tubuh, banyak sinyal listrik yang dihasilkan. Kerja otak pada dasarnya bersifat elektrik. Semua sinyal saraf dari dan ke otak melibatkan aliran arus listrik. Sistem saraf berperan penting pada hampir semua fungsi tubuh. Saat kita menjalankan fungsi-fungsi khusus tubuh, banyak sinyal listrik yang dihasilkan. Dengan mengukur sinyal yang sesuai secara selektif, kita dapat memperoleh informasi klinis yang bermanfaat mengenai fungsi tubuh tertentu. Sinyal listrik yang direkam dari otak, elektroensefalogram (EEG).

Autisme

Autisme merupakan salah satu fenomena keterlambatan dan hambatan dalam proses perkembangan anak pada umumnya, yang terjadi akibat adanya gangguan perkembangan fungsi otak yang kompleks dan bervariasi (Ganis, 2017). Anak-anak autis cenderung memiliki respons abnormal dalam pandangan (*flash of light*), pendengaran (suara dan fenomena), sentuhan, keseimbangan, bau, rasa dan reaksi terhadap rasa sakit. Anak-anak pegidap Autism memiliki spektrum yang lebih kuat dalam frekuensi yang lebih tinggi daripada kelompok anak normal. Perbedaan antara dua kelompok tersebut terdapat di 2 titik daerah parietal dan 2 titik daerah oksipital (Celina, 2017).

Elektroensefalograf

Elektroensefalograf (EEG) merupakan suatu kegiatan untuk merekam aktivitas elektrik spontan dari otak selama periode tertentu. EEG menggunakan aktivitas elektrik dari neuron yang terdapat dalam otak. Neuron akan menghasilkan elektrik ketika mereka aktif. Elektrik ini dapat diukur diluar tengkorak dan dilakukan dengan menggunakan EEG. Alat untuk merekam

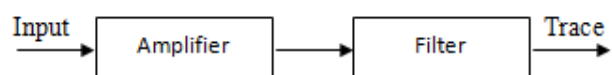
sinyal EEG ini disebut dengan Electroencephalogram. Penggunaan alat EEG dilakukan dengan cara menempelkan elektroda EEG ke bagian-bagian tertentu, tergantung pada tujuannya. (Ahmad, 2017). Elektroensefalogram dapat menangkap aktivitas listrik di otak dan menginformasikan kondisi pikiran seperti emosional, kelelahan, kewaspadaan, kesehatan dan tingkat konsentrasi. Sinyal EEG merupakan sinyal bioelektrik yang berasal dari permukaan kulit manusia, umumnya sinyal ini bersifat kompleks dan dapat digunakan sebagai sumber informasi fungsi otak. Sinyal EEG berbentuk gelombang elektrik yang ukurannya sangat kecil, sehingga pengamatan visual secara langsung sangat sulit. Sinyal EEG direkam untuk menginformasikan aktivitas listrik dalam otak (Karmila, 2016). Perekamannya sinyal otak diperoleh dengan metode *noninvasive* atau bioelektrik, 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 (Yulianto, 2013). Secara umum, ada dua jenis alat EEG: scalp EEG (dipasang di bagian luar kepala) dan intracranial EEG (dipasang di atas selaput otak, biasanya lewat operasi). Scalp EEG lebih umum digunakan dan lebih beragam aplikasinya. Adapun *intracranial* EEG (kadang disebut iEEG) biasanya hanya dipakai pada kasus tertentu, contohnya sebelum operasi untuk mendiagnosis atau memetakan lebih detail kelainan dalam otak. Koneksi EEG dengan komputer atau alat yang lainnya dapat menggunakan kabel atau tanpa kabel atau *wireless* (Ibrahim, 2017).

Klasifikasi dari sinyal EEG terhadap perubahan variable tertentu dapat menerangkan fungsi kerja dari otak dan menangkap perubahan

aktivitas otak terhadap variable yang bersangkutan, diantaranya (Sania, 2015):

- Gelombang delta terdapat pada rentang dari 1-4 Hz. Gelombang ini terjadi pada dalam kondisi tidur yang lama dan gelombang ini sangat mudah dilihat ketika respon terjadi diakibatkan oleh pergerakan yang berlebihan. Kondisi delta juga sering dihubungkan dengan manusia yang memiliki perasaan kuat terhadap empati dan intuisi.
- Gelombang theta dalam rentang dari 4–8 Hz. Gelombang theta berperan penting pada masa pertumbuhan dan masa kecil. Dalam kondisi ini biasanya datang dari lobus parietalis dan temporalis.
- Gelombang alpha dalam rentang 8–13 Hz terlihat dari setengah bagian kepala dan biasanya ditemukan di daerah bagian belakang otak. Gelombang alpha biasanya lebih kuat pada bagian oksipital otak.
- Gelombang beta dalam rentang dari 13 - 30 Hz merupakan aktivitas elektrik dari otak dengan kondisi terjaga dan sadar penuh. Gelombang beta biasanya berlaku pada lobus parietalis dan frontalis.

Berikut ini adalah blok diagram dari peralatan EEG.



Gambar 1 . Blok diagram Peralatan EEG

Amplifier

Amplifier digunakan karena EEG harus memiliki penguatan yang tinggi dan karakteristik noise yang rendah sebab amplitudo tegangan EEG sangat rendah. Amplifier yang digunakan harus bebas dari interferensi sinyal dari kabel listrik atau dari peralatan elektronik yang lain. Noise sangat berbahaya di dalam kerja EEG karena gelombang elektroda yang dilekatkan pada kulit kepala hanya beberapa mikrovolt ke amplifier. Amplifier digunakan untuk meningkatkan amplitudo hingga beratus-ratus bahkan beribu-ribu kali dari sinyal yang lemah yang hanya beberapa microvolt (Nurshuban, 2011).

Filter

Ketika direkam oleh elektroda, EEG mungkin berisi kerusakan otot dalam kaitannya dengan kontraksi dari kulit kepala dan otot leher. Kerusakannya besar dan tajam sehingga menyebabkan kesulitan besar dalam klinik dan interpretasi otomatis EEG. Cara paling efektif untuk mengurangi kerusakan otot adalah dengan menyarankan pasien untuk rileks, tapi ini tidak selalu berhasil. Kerusakan ini umumnya dihilangkan menggunakan *low pass filter*. Filter pada alat EEG mempunyai beberapa pilihan posisi yang biasanya ditandai dengan tetapan waktu (Nurshuban, 2011).

Elektroda

Penempatan elektroda di kulit kepala mengikuti sistem yang sudah ditentukan yaitu sistem 10-20, dengan melihat kode huruf yang menyatakan lokasi dan angka ganjil menunjukan sisi kiri serta angka genap menunjukan sisi kanan. Elektroda yang memiliki ketelitian dan kualitas terbaik adalah elektroda emas (*gold electrodes*). Penempatan elektroda yang tepat dan baik merupakan syarat utama untuk mendapatkan hasil rekaman EEG yang baik dan dapat dipercaya. Disamping itu kebersihan kulit kepala, kondisi elektroda, mesin EEG dan kepatuhan anak saat perekaman juga sangat berpengaruh untuk mendapatkan hasil yang baik. Otak manusia mempunyai aktivitas listrik yang kontinyu dan hal ini bisa direkam. Alat perekam EEG ini biasanya memerlukan elektroda (lempengan besi kecil) yang dilekatkan pada permukaan kulit kepala dengan menggunakan gel konduktif yang menghantarkan aliran listrik.

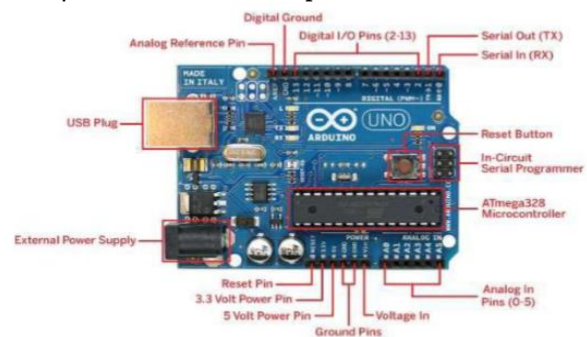


Gambar 2. Elektroda
(Nurshuban, 2011)

Untuk meningkatkan kontak listrik antara elektroda dan kulit kepala digunakan elektroda jelly atau pasta. Bahan elektroda yang umumnya digunakan adalah perak klorida. EEG direkam dengan cara membandingkan tegangan antara elektroda aktif pada kulit kepala dengan elektroda referensi pada daun telinga atau bagian lain dari tubuh. Tipe merekam ini disebut monopolar. Tetapi tipe merekam bipolar lebih populer dimana tegangan dibandingkan antara dua elektroda pada kulit kepala (Nurshuban, 2011).

Arduino

Arduino UNO adalah board berbasis mikrokontroler pada ATmega328. Board ini memiliki 14 digital input / output pin (dimana 6 pin dapat digunakan sebagai output PWM), 6 input analog, 16 MHz osilator kristal, koneksi USB, jack listrik tombol reset. Pin-pin ini berisi semua yang diperlukan untuk mendukung mikrokontroler, hanya terhubung ke komputer dengan kabel USB atau sumber tegangan bisa didapat dari adaptor AC-DC atau baterai untuk menggunakannya (Zaratul, 2014). Penelitian ini menggunakan Arduino Uno seperti pada Gambar 3. berfungsi sebagai perangkat konverter antara perangkat keras dan *software* untuk menampilkan hasil keluaran.



Gambar 3. Arduino UNO
(Zaratul, 2014)

Adapun spesifikasi lebih jelas dari perangkat Arduino Uno tersebut terlampir pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi Arduino UNO (Zaratul, 2014)

Mikrokontroler	ATMega328
Operasi Voltage	5 V
Input Voltage	7 – 12 V (rekomendasi)
Input Voltage	6 – 20 V (limit)
I/O	14 pin (6 pin untuk PWM)
Arus	50 mA
Flash Memory	32 KB
Bootloader	SRAM 2 KB
EEPROM	1 KB
Kecepatan	16 MHz

III. CAST (*Childhood Asperger Syndrome Test*)

Penelitian ini sangat berkaitan erat dengan orang-orang yang berpartisipasi (partisipan). Partisipan pun harus melalui tahap pemilihan, penilaian, lalu penentuan. Sebagai acuan dalam proses pemilihan, partisipan diharuskan mengisi dan menyelesaikan kuisioner. Kuisioner yang digunakan adalah *CAST (Childhood Asperger Syndrome Test)*. *CAST* merupakan kuisioner untuk orangtua untuk melihat kondisi spectrum autisme pada anak (Fiona J. Scott, 2002). Kuisioner ini memiliki 37 pertanyaan secara total 31 diantaranya sebagai acuan penilaian dan 6 lainnya adalah pertanyaan kontrol dan tidak berpengaruh pada penilaian. *CAST* adalah pengembangan yang dilakukan di *Autism Research Center University of Cambridge*.

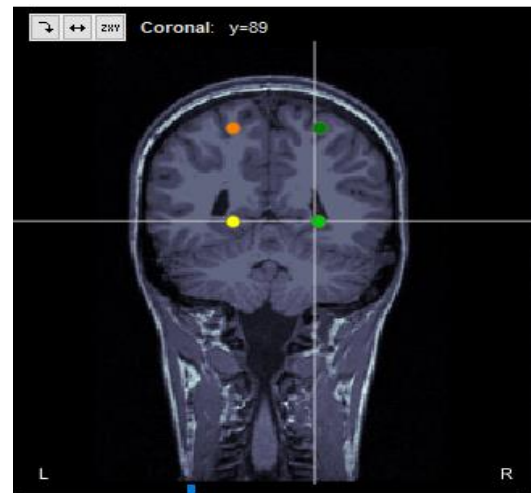
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengukuran dan Pengamatan Sinyal Gelombang Otak Menggunakan Prototype Perangkat Keras dan Perangkat OpenBCI.

Penelitian ini bertujuan untuk mengukur dan melihat aktivitas dari sinyal gelombang otak pada anak penderita autisme. Untuk simulasi awal, penelitian ini menggunakan Brainstorm pada MatLab. Setelah mendapat hasil dari simulasi pemograman pada MatLab, selanjutnya akan

dihubungkan dengan rangkaian pengukur sinyal gelombang otak berbasis EEG.

Pada penelitian Pengkajian Sinyal Gelombang Otak Pada Studi Kasus Anak Penderita Autis Menggunakan Sistem Berbasis EEG ini bagian otak yang diukur ada 4 titik yaitu dua titik dibagian parietal dan dua titik dibagian oksipital.



Gambar 4. Penempatan Elektroda untuk pengukuran sinyal gelombang otak.

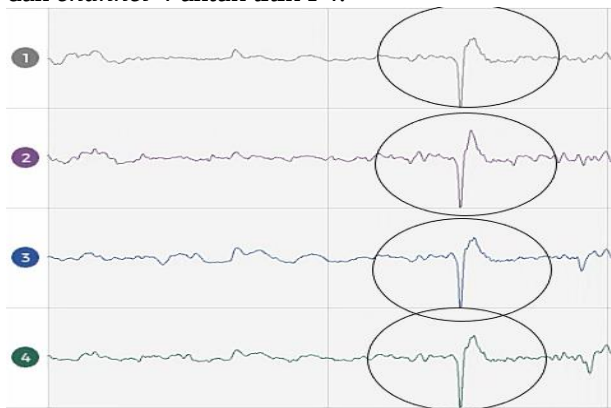
Lobus yang memiliki nilai genap terletak disebelah kanan yang ditandai dengan titik berwarna hijau yaitu titik O2 dan P4. Sedangkan lobus yang memiliki nilai ganjil disebelah kiri dan ditandai dengan titik kuning dan orange yaitu titik O1 dan P3.

Hasil pengukuran sinyal gelombang otak

Setelah melakukan pengukuran dengan meletakkan elektroda pada titik-titik yang sudah ditentukan yaitu titik P3, P4, O1, dan O2. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan dua perangkat guna mengamati, melihat dan menjadikan tolak ukur keakuratan produk prototype perangkat keras yang dibandingkan dengan produk OpenBCI. OpenBCI merupakan platform antarmuka otak-komputer (Brain Computer Interface) open source yang digunakan untuk mengukur dan mencatat aktivitas listrik yang dihasilkan oleh otak (EEG) serta kompatibel dengan elektroda EEG standar.

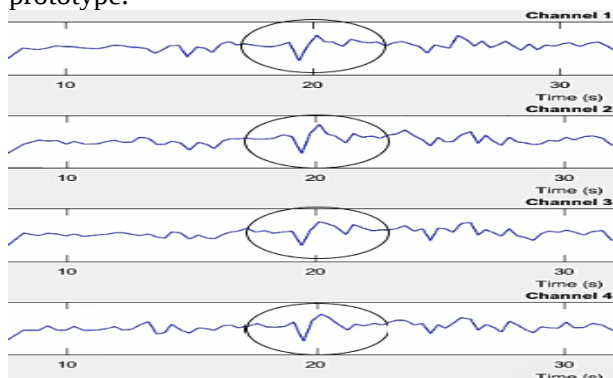
Pada tampilan saat dilakukannya pengukuran, titik-titik penempatan elektroda dapat dilihat pada gambar dibawah, yaitu *channel 1* menunjukkan hasil pengukuran pada titik O1,

channel 2 untuk titik O2, channel 3 untuk titik P3 dan channel 4 untuk titik P4.



Gambar 5. Hasil pengukuran EEG menggunakan OpenBCI.

Pada Gambar 5. merupakan tampilan dari hasil keluaran gelombang otak yang dilakukan perekaman pada seorang anak yang memiliki gejala autisme. Perekaman ini dilakukan dengan menggunakan perangkat OpenBCI yang memiliki standar pengukuran EEG dan bertujuan sebagai pembandingan dengan rancangan perangkat prototype.



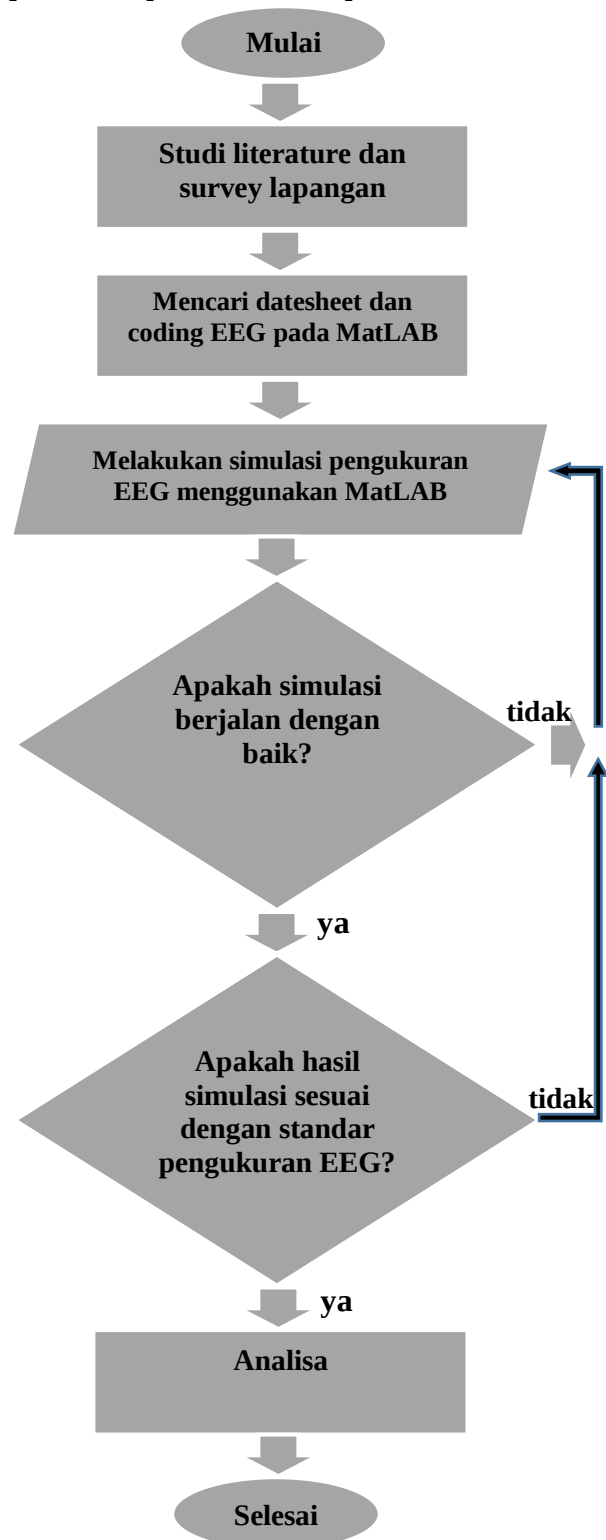
Gambar 6. Hasil pengukuran EEG menggunakan prototype perangkat keras

Pengukuran yang dilakukan dengan menggunakan prototype memiliki hasil keluaran seperti pada Gambar 6. Perekaman ini dilakukan pada partisipan yang sama di waktu yang berdekatan dengan perekaman OpenBCI.

Flowchart Penelitian

Proses penelitian ini dimulai dari mencari permasalahan yang ada dilapangan dan mempelajari studi studi sebelumnya. Kemudian mempelajari datasheet dan pengkodean/pemograman pada MATLAB untuk kasus EEG. Simulasi perlu dilakukan

untuk mengetahui letak kesalahan jika ada. Hasil keluaran yang sudah sesuai dengan standar pengukuran EEG kemudian dilakukan analisa terhadap gelombang keluarannya. Adapun alur lebih jelas pada penelitian ini dapat dilihat pada flowchart penelitian berikut.



Hasil dan Pembahasan

Hasil pengukuran yang telah dilakukan dengan menggunakan kedua perangkat untuk mendapatkan sinyal gelombang otak menunjukkan adanya aktivitas otak partisipan yang memiliki kerapatan gelombang serta nilai amplitudo yang besar. Ini disebabkan adanya gangguan fungsi sensorik di lobus parietal (P3 dan P4), gangguan pemrosesan visual di lobus oksipital (O1 dan O2) serta adanya peningkatan aktivitas otak pada pendeteksi autisme. Pengukuran yang dilakukan menggunakan dua produk yaitu perangkat prototype dan OpenBCI terhadap seorang partisipan anak pengidap autisme di keempat titik peletakan elektroda.

Antara kedua hasil pengukuran menggunakan kedua perangkat tersebut terdapat beberapa persamaan pola gelombang yang dihasilkan, dapat dilihat pada gambar yang sudah diberi tanda pada masing-masing *channel*. Dengan begitu prototype perangkat keras perekam sinyal gelombang otak (EEG) yang dirancang pada penelitian ini dapat dikatakan berhasil.

Kesimpulan

Kesimpulan yang didapat pada penelitian ini adalah bahwa anak yang memiliki autisme dapat dideteksi gejalanya lebih awal. Perancangan yang dilakukan dalam penelitian ini dapat memberikan hasil keluaran dan proses perekaman yang serupa dengan perangkat standar yaitu OpenBCI. Pendeteksian melalui perekaman EEG ini hanya sebagai acuan dalam diagnosa awal dari gejala yang diidap.

DAFTAR PUSTAKA

- Yudiansyah Akbar (2014), *Pola Gelombang Otak Abnormal Pada Elektroencephalograph*. Jurusan Magister Fisika, Institut Teknologi Bandung.
- Faturachman1, Inung Wijayanto, S.T., M.T.2, Nur Ibrahim, S.T., M.T. (2019). *Detection Conditions For Use Of Vape Seen From Brain Activity Using Eeg With Self Organizing Maps (Som)*. Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom.
- Rifky Ekayama, Esmeralda C. Djamal, Agus Komarudin (2016). *Identifikasi Kondisi Rileks Dari Sinyal Eeg Menggunakan*

Wavelet Dan Learning Vector Quantization, Jurusan Teknik Informatika, Fakultas MIPA Universitas Jenderal Achmad Yani.

- Ghea Aditya Putra, Arie Desrianty, Yuniar (2016). *Analisis Tingkat Kelelahan Dan Kantuk Pada Supir Bus Berdasarkan Heart Rate Variability (Hrv) Dan Electro Encephalograms (Eeg)*. Jurusan Teknik Industri Institut Teknologi Nasional (Itenas) Bandung.
- Ganis Ratna Satyawati, Edi Pramono Singgih, Ofita Purwani (2017). *Gangguan Presepsi Sensori Sebagai Dasar Perancangan Panti Rehabilitasi Anak Autis Di Surakarta*. Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret.
- Celina A. Reis Paula, Camille Reategui, Bruna Karende Sousa Costa, Caio Queiroz da Fonseca, Luanada Silva, Edgard Morya, and Fabricio Lima Brasil (2017), *High-Frequency EEG Variations in Children with Autism Spectrum Disorder during Human Faces Visualization*, Edmond and Lily Safra International Institute of Neuroscience, Santos Dumont Institute, Brazil.
- Ahmad Hilmi, Inung Wijayanto, S.T., M.T., Sugondo Hadiyoso, S.T., M.T (2017), *Pattern Comparison Analysis Between Alpha And Beta Eeg Signal For Relaxed Condition Classification On Active Smoker Using K-Nearest*. Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom, Bandung.
- Ratna Karmila, Esmeralda C. Djamal, Dian Nursantika (2016), *Identifikasi Tingkat Konsentrasi Dari Sinyal EEG Dengan Wavelet dan Adaptive Backpropagation*. Fakultas MIPA Universitas Jenderal Achmad Yani.
- Endro Yulianto, Adhi Susanto, Thomas Sri Widodo, Samekto Wibowo (2013), *Spektrum Frekuensi Sinyal EEG Terhadap Pergerakan Motorik dan Imajinasi Pergerakan Motorik*. Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.
- Sutrisno Ibrahim, Ridha Djemala, Abdullah Alsuailema, and Sofien Gannouni

(2017), *Electroencephalography (EEG)-based epileptic seizure prediction using entropy and K-nearest neighbor (KNN)*. Electrical Engineering Department, King Saud University, Saudi Arabia.

Sania Marcellina Bryan, Achmad Rizal, ST., MT., Sugondo Hadiyoso ST., MT., (2015). *Pembuatan Aplikasi Penerima Data Eeg Tiga Kanal Universitas Telkom*. Prodi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Telkom.

Nursubhan Nawir (2011), *Electroencephalograf*, Jurusan Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.

Zaratul Nisa Saputri (2014), *Aplikasi Pengenalan Suara Sebagai Pengendali Peralatan Listrik Berbasis Arduino Uno*. Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Malang.

Fiona J. Scott, Simon Baron-Cohen, Patrick Bolton, and Carol Brayne (2002). *The CAST (Childhood Asperger Syndrome Test): Preliminary development of a UK screen for mainstream primary-school age children*. Autism Research Centre, Department of Psychiatry, University of Cambridge.