

ANALISIS SINYAL ALPHA DAN BETA EEG BRAINWAVE TERHADAP KONSENTRASI DIRI PADA KONDISI MENERJAKAN TESWARTEGG

ANALYSIS OF ALPHA AND BETA EEG BRAINWAVE SIGNAL ON PERSONAL CONCENTRATION CONDITIONS ON WARTEGG TEST

Galang Awalananda Putera¹, Dr. Ir. Jangkung Raharjo, MT², Nur Ibrahim, S.T., M.T.³

^{1,2} Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

³Fakultas Peternakan, Universitas Padjadjaran

¹Gawalananda@gmail.com ²Jangkung.Raharjo@gmail.com

Abstrak

Setiap individu memiliki tahap tingkatan konsentrasi yang berbedabeda sesuai dengan beberapa faktornya, konsentrasi merupakan kemampuan untuk memusatkan suatu keadaan seseorang terhadap objek yang diinginkan. Objek yang akan diuji adalah konsentrasi diri seseorang ketika mengerjakan wartegg test, dimana seseorang akan mengalami tingkat konsentrasi yang tinggi ketika mengerjakannya.

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui konsentrasi otak saat responden mengerjakan wartegg test yang akan dipetakan berdasarkan golongan frekuensi gelombang Alpha (8-13 Hz) dan gelombang Beta (14-30 Hz). Pengukuran bentuk konsentrasi diukur dari informasi sinyal Elektroensefalogram (EEG) yang merupakan sinyal bio elektrik berasal dari permukaan kulit manusia. Metode yang digunakan dalam penelitian ini ialah Discrete Wavelet Transform (DWT) sebagai metode Ekstraksi ciri dengan mengekstraksi sinyal terhadap gelombang Alpha dan Beta untuk mendapatkan suatu ciri yang akan mempengaruhi tahap selanjutnya yaitu dalam menjalankan proses klasifikasi menggunakan metode K-Nearest Neighbor (K-NN).

Pada penelitian ini digunakan muse monitor 4 channel atau alat perekam yang memiliki 4 saluran kanal yaitu AF7, AF8, TP9, TP10. dan pada penelitian ini digunakan 7 data latih dan 3 data uji yang dihasilkan dari 10 responden dalam 2 stimulus yang berbeda dan sudah dikelaskan. Hasil pada penelitian ini telah dapat menunjukkan bentuk sinyal alpha dan sinyal beta tiap responden, pengujian terhadap data uji didapatkan akurasi terbaik pada kanal TP9 yaitu 83%

Kata kunci: *Elektroensefalogram, Discrete Wavelet Transform, K-Nearest Neighbor, Gelombang Alpha, Gelombang Beta.*

Abstract

Each individual has different levels of concentration according to several factors, concentration is the ability to focus a person's state on the desired object. The object that needs to be tested is one's concentration when working on the Wartegg test, where someone will experience a high level of concentration when working on it. This test was conducted to determine the concentration of the brain when the respondents worked on the Wartegg test that will be mapped based on the Alpha wave frequency group (8-13 Hz) and Beta waves (14-30 Hz). Measurement of the concentration form is measured from the Electroencephalogram (EEG) signal information which is a bio-electric signal originating from the surface of the human skin. The method that used in this study is Discrete Wavelet Transform (DWT) as a feature extraction method by extracting signals against alpha and beta waves to obtain a feature that will affect the next stage of the classification process using the K-Nearest Neighbor (K-NN) method.

In this study used a 4 channel monitor or recording device that has 4 channel channels namely AF7, AF8, TP9, TP10. and in this study used 7 training data and 3 test data generated from 10 respondents in 2 different stimuli and have been explained. The results of this study have been able to show the form of alpha signals and beta signals of each respondent, testing the test data obtained the best accuracy on the TP9 channel that is 83 %.

Key words : *Elektroensefalogram, Discrete Wavelet Transform, K-Nearest Neighbor.*

1. Pendahuluan

Dalam menjalani hidup setiap individu pasti melakukan aktivitas, bahkan tidak sedikit individu memaksimalkan sampai keadaan fisik dan mental pada titik rendah. Pada titik rendah tersebut tingkat konsentrasi seseorang memiliki konsentrasi yang kurang. Konsentrasi merupakan kemampuan memusatkan perhatian setiap individu pada suatu objek kegiatan tertentu, dengan konsentrasi kita dapat mengerjakan pekerjaan lebih cepat dan dengan hasil yang lebih baik, begitu sebaliknya jika konsentrasi terganggu maka semakin lama kita akan menyelesaikan sesuatu [1]. Setiap individu memiliki tahap tingkatan konsentrasi yang berbeda beda sesuai dengan beberapa faktor seperti kondisi fisik, kondisi mental, dan berbagai kondisi lainnya. Kondisi tersebut berpengaruh terhadap konsentrasi seseorang ketika akan menyelesaikan suatu hal. Dalam penelitian ini penulis akan menguji konsentrasi seseorang ketika mengerjakan wartegg test [2].

Pengukuran bentuk konsentrasi tersebut diukur dari informasi sinyal Electroencephalogram (EEG), yang merupakan sinyal bio elektrik berasal dari permukaan kulit manusia, bisa digunakan sebagai sumber informasi otak manusia, alat ini mendeteksi pada titik titik tertentu di kulit kepala yang menghasilkan sinyal listrik aktifitas pada otak manusia [3]. Sinyal Electroencephalogram (EEG) memiliki bermacam karakteristik yang bisa disebabkan oleh berbagai faktor golongan seperti usia, rutinitas keseharian, kesehatan, dan mentalnya. Karakter sifat dari sinyal ini dipetakan berdasarkan golongan frekuensi pula seperti gelombang Alpha (8-13 Hz) yang nampak ketika keadaan sadar, mata tertutup dan rileks, gelombang Beta (14-30 Hz) pada saat seseorang berpikir atau sedang mengalami aktifitas mental yang terjaga penuh [4].

Penelitian yang dilakukan oleh penulis dimulai dari perekaman dengan menggunakan alat EEG 4 kanal ketika responden mengerjakan wartegg test yang akan di analisa ketika individu tersebut diberi dua stimulus yaitu mengerjakan dalam kondisi setelah makan dan mengerjakan dalam kondisi sebelum makan. Metode yang digunakan dalam penelitian kali ini ialah Discrete Wavelet Transform (DWT) sebagai metode ekstraksi ciri yang mampu menyederhanakan variabel yang diamati dengan cara mereduksi dimensinya melalui proses transformasi variabel bebas ke variabel baru yang tidak berkorelasi sama sekali tanpa menghilangkan informasi penting pada data. Discrete Wavelet Transform (DWT) mengekstraksi sinyal terhadap gelombang alpha dan beta yang dihasilkan dari alat Electroencephalogram (EEG) 4 kanal untuk mendapatkan suatu ciri yang dibutuhkan pada tahap selanjutnya, yaitu dalam menjalankan proses klasifikasi menggunakan metode K-Nearest Neighbor (KNN) yang sangat resistan terhadap noise dan efektif pada data latih pengujian, sehingga dengan $k = 1$ menghasilkan klasifikasi yang 100 % akurat [5].

2. Dasar Teori

2.1 Konsentrasi

Konsentrasi merupakan kemampuan memusatkan perhatian setiap individu orang pada suatu objek kegiatan tertentu, dengan konsentrasi kita dapat mengerjakan pekerjaan lebih cepat dan dengan hasil yang lebih baik [1]. Setiap individu manusia memiliki tahap tingkatan konsentrasi yang berbeda beda sesuai dengan beberapa faktor seperti kondisi fisik, kondisi mental, dan berbagai kondisi lainnya. Konsentrasi merupakan langkah awal menuju meditasi. Konsentrasi ialah atensi atau perhatian, suatu proses keterjagaan mental dan proses pengendalian substansi alam pikiran. Berkonsentrasi berarti memfokuskan kesadaran pada satu subjek atau objek tanpa mengalihkan sedikitpun perhatian kesuatu yang lain [6].

2.2 Gelombang Otak

Gelombang otak merupakan gelombang listrik yang dikeluarkan oleh neuron dalam otak, diukur dengan perlengkapan alat Elektroensefalogram (EEG) [7]. Frekuensi gelombang otak yang dihasilkan oleh neuron bervariasi antara 0-30 Hz. Secara garis besar, otak manusia menghasilkan empat jenis Gelombang Otak (Brainwave) secara bersamaan, yaitu Gamma, Beta, Alpha, Theta, Delta, akan tetapi selalu ada jenis Gelombang Otak yang dominan yang menandakan aktivitas otak saat itu [4]. Gelombang yang di analisis oleh penulis pada tugas akhir ini meliputi gelombang Alpha dan gelombang Beta.

2.3 Gelombang Alpha

Terjadi pada saat seseorang yang sedang dalam tahap relaksasi atau mulai istirahat dengan menandakan mata mulai menutup atau mulai mengantuk. Kita akan menghasilkan gelombang Alpha setiap akan tidur, lebih tepatnya ketika masa peralihan diantara sadar serta tidak sadar [8]. Frekuensi

Alpha 8 -12 hz, merupakan frekuensi pengendali, penghubung pikiran sadar dan bawah sadar. Kita bisa mengingat mimpi, dikarenakan setiap manusia memiliki gelombang Alpha [4].

2.4 Gelombang Beta

Terjadi ketika seseorang dalam kondisi aktifitas mental yang terjaga penuh, yakni sedang berinteraksi dengan orang lain, melakukan kegiatan rutin sehari hari yang sudah biasa dilakukan sebelumnya, termasuk sedang menatap layar komputer / laptop. Gelombang Beta dibagi menjadi 3 kelompok, yaitu high beta (lebih dari 19 Hz) ialah transisi oleh getaran gelombang gamma, lalu getaran beta (15 hz -18 hz) yang juga merupakan transisi oleh getaran gamma, dan selanjutnya low beta (12 hz- 15 hz) [4].

2.5 Otak

Otak ialah pusat sistem saraf yang mengatur pola pikir, mengatur gerakan, mengatur gaya fungsi tubuh, serta mengatur perilaku manusia. Saraf pada otak manusia terus bekerja setiap saat yang tersambung melalui sel-sel saraf yang ada di seluruh tubuh manusia. Otak mempunyai muatan volume kisaran 1.350cc serta terdiri dari kurang lebih 100 juta sel saraf atau neuron. Pengetahuan mengenai otak memengaruhi perkembangan psikologi kognitif, otak juga bertanggung jawab atas fungsi seperti pengenalan, emosi, ingatan, pembelajaran motorik dan segala bentuk pembelajaran lainnya [9].

2.6 EEG

Electroencephalography (EEG) ialah salah satu teknik pengetesan pada bagian kulit kepala yang dilakukan untuk mengukur aktifitas listrik dari otak untuk mendeteksi adanya output kelainan dari otak. Dalam konteks klinis, EEG mengacu kepada perekaman aktivitas elektrik spontan dari otak selama periode tertentu, biasanya 20- 40 menit, yang direkam dari banyak elektroda yang dipasang di kulit kepala. Elektroda tersebut dihubungkan secara berpasangan di atas bagian otak yang berdekatan sehingga arus terdeteksi oleh satu elektroda. EEG merupakan metode dari Braincomputer interface (BCI) yang dapat mengolah data seluruh aktifitas otak dengan perambatan sinyal elektrik yang dihasilkan oleh aktifitas kelistrikan di otak [3].

2.7 Tes Wartegg

Tes wartegg adalah salah satu bahan tes psikologi atau psikometri dimana peserta akan diminta untuk melengkapi gambar. Tes ini dibuat untuk mengetahui karakter seseorang dari segi imajinasi, emosi, dinamisme, reality function, dan kemampuannya dalam mengontrol sesuatu. Tes ini terdiri atas 8 kotak yang harus dilengkapi gambarnya dimana dalam setiap kotak berisi gambar awal yang berbeda-beda mulai dari titik, garis maupun gabungan keduanya. Setiap titik dan garis yang terbentuk harus dilengkapi untuk menghasilkan gambar yang baik dan tentunya memiliki makna tersendiri dalam ilmu psikologi. Selain itu, Anda juga akan diberikan perintah untuk memberi nomor gambar sesuai dengan urutan ketika menggambar, gambar paling mudah dan paling sulit serta gambar yang paling disukai. Waktu pengerjaan tes ini yaitu sekitar 30 menit.

2.8 Discrete Wavelet Transform (DWT)

Discrete Wavelet Transform merupakan suatu transformasi linear yang mengoperasikan data vektor yang mempunyai panjang $2n$, lalu merubahnya menjadi beberapa vektor yang berbeda dengan panjang yang sama. DWT merupakan metode untuk memisahkan data berdasarkan frekuensinya lalu menganalisa setiap bagiannya dengan spesifikasi yang sesuai dengan skalanya. DWT dihitung dengan sebuah kaskade filter dan diikuti oleh 2 subsampling [11].

2.9 K-Nearest Neighbor (K-NN)

K -NN ialah suatu metode yang menggunakan algoritma supervised dimana hasil query instance yang baru diklasifikasikan berdasar dari kategori pada K-NN. Algoritma K-NN mengklasifikasikan objek baru berdasarkan atribut dan sample dari kelas data. Data ini direpresentasikan dengan parameter jarak yang dapat diolah ke dalam hitungan matematis. Data latih dengan jarak terdekat disebut sebagai tetangga (Nearest Neighbor) kemudian pengurutan dari jarak terdekat sampai dengan jarak terjauh[5]. Nilai banyaknya k yang terbaik untuk klasifikasi K-

NN secara umum tergantung pada data. Nilai k yang tinggi menyebabkan sedikitnya efek noise pada klasifikasi, namun membuat batasan antara setiap klasifikasi menjadi lebih jauh[5].

3. Perancangan dan Realisasi Sistem

3.1 Diagram Alur Sistem

Dalam perancangan dan implementasinya, sistem ini menjelaskan gambaran umum yang dibagi menjadi 4 tahap utama, yaitu akuisisi data atau pengambilan sinyal menggunakan EEG 4 kanal, preprocessing untuk memotong data, lalu memotong data sesuai frekuensi yang diinginkan menggunakan filter BPF dan setelah itu menormalisasikannya. Ekstraksi ciri untuk memunculkan ciri-ciri khusus yang terdapat pada sinyal, serta klasifikasi sinyal menggunakan data uji



Gambar 1. Perancangan Sistem

3.1.1 Ekstraksi Ciri

Pada ekstraksi ciri, dilakukan ekstraksi ciri menggunakan wavelet. Dengan memanfaatkan fungsi DWT kita dapat membagi sinyal EEG berdasarkan frequency band nya, yaitu alpha dan beta pada setiap kanal.

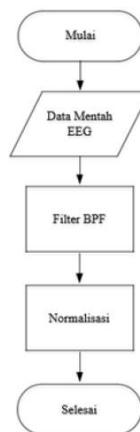
Dalam penelitian akan menggunakan jenis wavelet haar dan level DWT 4. Level DWT 4 akan digunakan karena sesuai dengan range frekuensi sampling yang digunakan yaitu 128 Hz. Parameter ciri yang digunakan untuk masing-masing sinyal yaitu menggunakan enam ciri pada DWT yaitu mean, variance, standard deviation, kurtosis, entropy dan skewness. Berikut adalah penjelasan dari masing-masing ciri tersebut.



Gambar 2. Diagram Blok Ekstraksi ciri

3.1.2 Preprocessing

Preprocessing merupakan tahap lanjutan setelah diperoleh data sinyal yang telah direkam. Proses preprocessing ditunjukkan pada gambar.

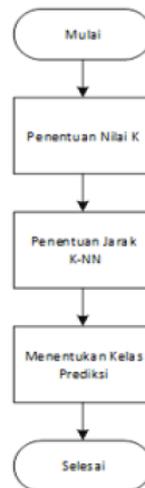


Gambar 2. Diagram blok Preprocessing

Pada tahapan processing ini merupakan tahap awal untuk mengolah data, Sinyal otak terlebih dahulu dipisah menggunakan filter BPF sesuai dengan frekuensi masing-masing sinyal alpha dan beta. Setelah itu dilakukan normalisasi, proses normalisasi dilakukan dengan cara membagi nilai sinyal frekuensi sinyal otak tadi dengan nilai maksimal dari data sinyal. Setelah dibagi dengan nilai maksimal, dilakukan dekomposisi DWT.

3.1.3 Klasifikasi

Pada tahap ini, sinyal EEG yang telah terekstraksi kemudian diklasifikasikan menjadi 3, yaitu kondisi ketika tingkat konsentrasi responden dalam kelas rendah, sedang, dan tinggi. Klasifikasi yang digunakan ialah metode K-Nearest Neighbor. K-Nearest Neighbor (K-NN) merupakan metode pengukuran kemiripan yang terbilang sederhana. K-nearest neighbor bekerja berdasarkan jarak minimum dari data baru ke data training samples untuk menentukan K tetangga terdekat. Sistem yang dianalisis pada K-NN adalah pengaruh penggunaan pengukuran kemiripan dari nilai K dan jenis jarak yang digunakan terhadap akurasi sistem dalam mengklasifikasi.



Gambar 4. Diagram Blok Klasifikasi

Pada diagram alir K-NN, data latih diawali dengan data masukan ekstraksi ciri yang selanjutnya menentukan nilai K. Dilanjutkan dengan penentuan jarak dari KNN yang digunakan. Setelah itu melakukan pelatihan data yang diambil dari folder yang sudah dimasukkan sebagai data latih untuk segera diproses, dan terakhir dilakukan proses pengujian data yang akan dibandingkan dengan database yang telah dibuat sebelumnya. Sinyal alpha dan beta dapat diketahui bentuknya pada saat

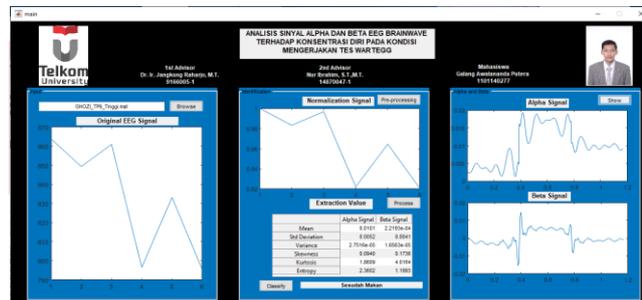
dilakukan pengambilan data bermain sebuah game yang diberikan stimulus berbeda. Maka tujuan, rumusan masalah, serta kesimpulan tugas akhir ini dapat diketahui.

3.2 Performansi Sistem

Untuk mengetahui sistem yang telah dirancang memiliki kinerja yang baik dan optimal, maka diperlukan pengujian pada sistem untuk mengetahui tingkat keberhasilannya dengan menggunakan beberapa parameter yang menjadi tolak ukur keberhasilan sistem tersebut. Berikut adalah spesifikasi perangkat keras (hardware) dan perangkat lunak (software) yang digunakan dalam pembuatan dan pengujian.

3.3 Interface Aplikasi

Interface dari sistem aplikasi yang dirancang terbentuk dari Graphical User Interface (GUI). Tampilan interface aplikasi ini menampilkan bentuk original sinyal, Sinyal yang telah ternormalisasi, nilai parameter yang di uji dan keluaran sinyal alpha dan beta yang ditampilkan pada gambar.



Gambar 5. Hasil Guide

4. Pengujian dan Analisis Sistem

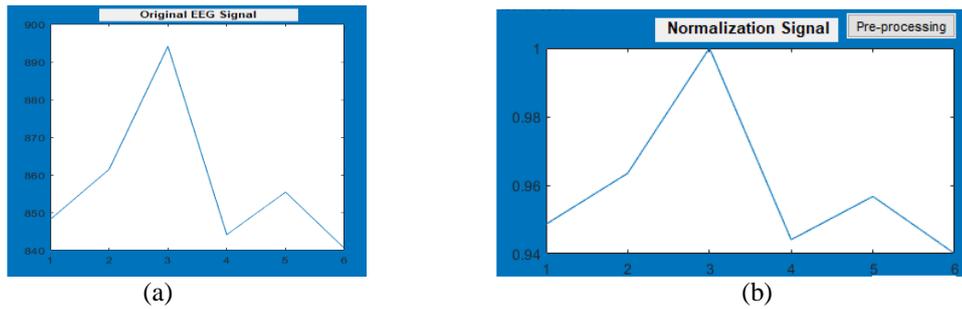
Pelatihan sistem adalah bagian dari langkah yang dilakukan untuk mendapatkan parameter yang dianggap dominan pada nilai performansi untuk digunakan. Dalam sistem ini digunakan 7 data latih pada 2 stimulus berbeda yakni ketika sebelum dan setelah makan setelah itu dari masing-masing stimulus dibagi menjadi 2 kelas yaitu saat konsentrasi rendah dan konsentrasi tinggi dan memiliki 3 data uji untuk pengujian dari data latih tersebut.

4.1 Akusisi Data

Data raw yang diperoleh dari sinyal otak responden tersimpan secara otomatis dengan format .mat. Pada saat pengambilan data, responden dipasangkan alat EEG 4 kanal didukung dengan perekaman video responden untuk merekam pergerakan sekitar kepala dan mimik muka pada saat mengerjakan Tes Wartegg pada kondisi sebelum makan dan setelah makan. Data latih berjumlah 7 dan data uji berjumlah 3, dengan pembagian kelas stimulus konsentrasi rendah dan konsentrasi tinggi ketika kondisi setelah dan sesudah makan. data yang didapatkan setelah data sudah dipotong dalam bentuk detik dan masing-masing data sudah dipotong dalam waktu yang dibutuhkan yaitu 5 detik. pada data original yang didapatkan setelah dipotong belum dapat dibedakan antara sinyal alpha dan sinyal beta. gambar ini menunjukkan pola sinyal data original dengan kondisi kelasnya masing-masing.

4.2 Preprocessing

Pada saat pengambilan data berlangsung, data yang diambil tersebut masih berbentuk raw data berbentuk sinyal acak, tahap Preprocessing data raw akan di normalisasi untuk menghilangkan noise dan filter untuk mengeluarkan sinyal yang dibutuhkan pada pengujian ini yaitu sinyal alpha dan beta. Noise biasanya terjadi pada pergerakan sekitar kepala seperti berkedip, atau responden membenarkan letak posisi alat rekam EEG dengan tangannya, ataupun adanya gesekan antara rambut dengan alat.



Gambar 6. Bentuk sinyal sebelum di preprocessing (a) dan bentuk sinyal setelah di Preprocessing (b).

4.3 Menentukan Kanal Terbaik

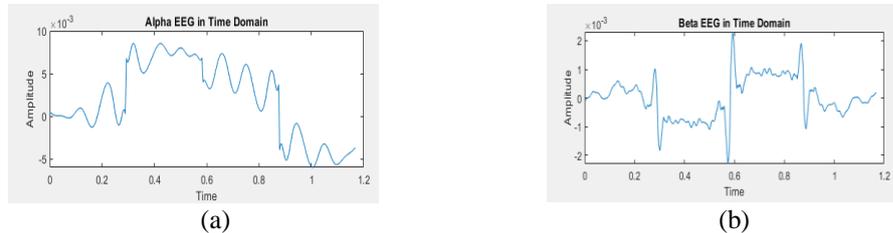
Tahap selanjutnya melakukan skenario untuk mendapatkan parameter terbaik melalui proses merubah nilai parameter dengan nilai dari metode Discrete Wavelet Transform. Didapatkan kondisi sistem paling bagus yang telah diterapkan pada pengujian sistem. Selain merubah nilai dari metode Discrete Wavelet Transform, parameter berikutnya yang digunakan untuk pelatihan sistem yaitu nilai K pada K-NN. Penentuan dari parameter terbaik diterapkan di setiap kanal, tiap kanal mempunyai nilai parameter terbaik, karena tiap kanal mencirikan suatu perbedaan tertentu.

Tabel 1. Kanal Terbaik

Kanal	Nama File	Data Sebenarnya	Hasil GUI	Keterangan	Hasil
TP9	Rama_TP9_Rendah	Sebelum	Sebelum	Benar	83%
	Rama_TP9_Tinggi	Sebelum	Sebelum	Benar	
	Reza_TP9_Rendah	Sebelum	Sebelum	Benar	
	Reza_TP9_Tinggi	Sebelum	Sebelum	Benar	
	Yudhi_TP9_Rendah	Sebelum	Sebelum	Benar	
	Yudhi_TP9_Tinggi	Sebelum	Sesudah	Salah	
	Rama_TP9_Rendah	Sesudah	Sesudah	Benar	
	Rama_TP9_Tinggi	Sesudah	Sesudah	Benar	
	Reza_TP9_Rendah	Sesudah	Sesudah	Benar	
	Reza_TP9_Tinggi	Sesudah	Sebelum	Salah	
	Yudhi_TP9_Rendah	Sesudah	Sesudah	Benar	
	Yudhi_TP9_Tinggi	Sesudah	Sesudah	Benar	

4.4 Bentuk pola sinyal Alpha dan Beta pada kelas sesudah makan

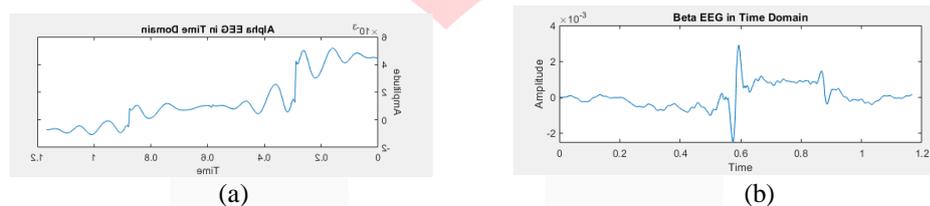
Pola sinyal yang dibentuk dari pengujian ini berbeda pada setiap kondisi, gambar dibawah menunjukkan sinyal yang dihasilkan pada kondisi responden setelah makan. terdapat perbedaan pada lonjakan tiap sinyal dan dalam mengerjakan tes wartegg sinyal beta lebih stabil dikarenakan responden lebih berkonsentrasi pada kondisi setelah makan. Perbedaan tersebut dapat dilihat pada gambar



Gambar 7. Sinyal Alpha (a) dan Sinyal Beta (b)

4.5 Bentuk pola sinyal Alpha dan Beta pada kelas sebelum makan

Gambar dibawah berbeda dengan gambar sebelumnya, pada gambar dibawah menunjukkan sinyal alpha, beta dan theta pada saat kondisi bohong. Terjadi lonjakan yang sangat tinggi, menunjukkan aktifitas otak yang dalam densitas yang tinggi.



Gambar 8. Sinyal Alpha (a) dan Sinyal Beta (b)

5. Kesimpulan

Dari hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan terhadap perancangan sistem, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Metode ekstraksi Discrete Wavelet Transform mampu mengekstraksi ciri untuk sinyal alpha dan beta pada sinyal EEG saat diberikan stimulus atau rangsangan setelah makan dan sebelum makan.
2. Metode K-NN dapat mengklasifikasi terhadap kondisi konsentrasi rendah, sedang, dan tinggi pada sinyal dan alat rekam EEG saat diberikan stimulus atau rangsangan setelah makan dan sebelum makan.
3. Kanal TP9 merupakan kanal dengan performansi terbaik pada penelitian ini. yang memiliki tingkat akurasi lebih besar dibandingkan kanal AF7, AF8 dan TP10 yaitu sebesar 83%.
4. Parameter ciri terbaik menggunakan enam ciri yaitu mean, standar deviasi, variance, kurtosis, entropy dan skewness.
5. Parameter terbaik pada setiap kanal memiliki nilai PC yang berbeda, untuk kanal TP9 yang memiliki akurasi yang terbaik memiliki parameter yaitu tipe DWT= db1, level DWT=1, jarak KNN=cityblock dan dengan nilai K=3. Sedangkan kanal yang lain memiliki parameter yang berbeda-beda untuk mendapatkan akurasi terbaik dalam pengujian setiap kanal masing-masing.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. J. Nugraha, H. Suyitno, and E. Susilaningsih, "Analisis kemampuan berpikir kritis ditinjau dari keterampilan proses sains dan motivasi belajar melalui model pbl," *Journal of Primary Education*, vol. 6, no. 1, pp. 35–43, 2017.
- [2] A. W. Gunawan, *Apakah IQ anak bisa di-tingkatkan?: dan masalah-masalah lain seputar pendidikan anak yang sering dihadapi orangtua dan guru*. Gramedia Pustaka Utama, 2005.

- [3] E. Niedermeyer and F. L. da Silva, *Electroencephalography: basic principles, clinical applications, and related fields*. Lippincott Williams & Wilkins, 2005.
- [4] Y. Akbar, "Pola gelombang otak abnormal pada elektroencephalograph."
- [5] D. Ardianto, "Peramalan daya listrik jangka sangat pendek pembangkit termal berdasarkan data meteorologi menggunakan metode k-nearest neighbor artificial neural network," *JURNAL TEKNIK ELEKTRO*, vol. 8, no. 1, 2018.
- [6] T. Saradayrian, "The power of mind menguak rahasia kekuatan pikiran anda," Jakarta: Delphi Publisher. Tersedia pada: <http://www.referensimakalah.com/20>, vol. 13, no. 06, 2004.
- [7] J. Fell and N. Axmacher, "The role of phase synchronization in memory processes," *Nature reviews neuroscience*, vol. 12, no. 2, p. 105, 2011.
- [8] P. Fries, "A mechanism for cognitive dynamics: neuronal communication through neuronal coherence," *Trends in cognitive sciences*, vol. 9, no. 10, pp. 474–480, 2005.
- [9] S. Sahu and A. Sharma, "Detecting brainwaves to evaluate mental health using labview and applications," in *2016 International Conference on Emerging Technological Trends (ICETT)*. IEEE, 2016, pp. 1–4.
- [10] E. Roivanen, "A brief history of the wartegg drawing test," *Gestalt Theory*, vol. 31, no. 1, p. 55, 2009.
- [11] W. H. Press, S. A. Teukolsky, W. T. Vetterling, and B. P. Flannery, *Numerical recipes 3rd edition: The art of scientific computing*. Cambridge university press, 2007.
- [12] T. Sivalakshmi and G. Sreenivasulu, "Comparative analysis of different wavelets for eeg signal denoising," *Int. J. Innov. Res. Scienc Eng. Technol*, pp. 594–599, 2017.
- [13] C. H. Latorre, R. P. Crecente, S. G. Martín, and J. B. García, "A fast chemometric procedure based on nir data for authentication of honey with protected geographical indication," *Food chemistry*, vol. 141, no. 4, pp. 3559–3565, 2013.