

Studi Perbandingan: *Cognitive Task* Berdasarkan Hasil Ekstraksi Ciri Gelombang Otak

Ahmad Azhari, Adhi Susanto, Indah Soesanti

Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi Universitas Gadjah Mada Yogyakarta

Jalan Grafika No.2 Kampus Universitas Gadjah Mada Yogyakarta, Indonesia

Email : ahmadazhari_s2te12@mail.ugm.ac.id, susanto@te.ugm.ac.id, indah@mti.ugm.ac.id

Abstrak

Studi dan penelitian mengenai ekstraksi ciri gelombang otak dengan menggunakan metode wavelet transform dan fourier transform telah banyak dilakukan. Metode tersebut dapat secara baik menerapkan berbagai pengenalan pola secara statistik dan signal processing untuk berbagai macam gelombang otak. Namun hasil ekstraksi ciri yang diperoleh setiap penelitian memiliki hasil yang berbeda. Validasi hasil ekstraksi ciri setiap penelitian tidak dapat dilakukan dikarenakan proses yang berbeda meskipun metode yang dilakukan sama. Hipotesa yang didapatkan dari beberapa hasil penelitian ekstraksi ciri gelombang otak adalah perbedaan pemberian tugas (*cognitive task*) pada partisipan untuk mendapatkan data gelombang otak. Perbedaan itu berdampak pada hasil ekstraksi ciri setiap individu.

Pada penelitian ini akan dilakukan perbandingan *cognitive task* dari hasil ekstraksi ciri yang didapatkan dari penelitian yang menggunakan metode wavelet transform dan fast fourier transform. *Cognitive task* akan dikelompokkan berdasarkan kategorinya. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa tingkat akurasi hasil ekstraksi ciri gelombang otak dipengaruhi oleh *cognitive task*.

Kata kunci: EEG, *Cognitive Task*, Wavelet Transform, Fast Fourier Transform

1. Pendahuluan

Seluruh aktivitas tubuh manusia dikendalikan dan dikuasai oleh otak. Otak menjadi bagian terpusat dari sistem saraf manusia yang berfungsi mengendalikan seluruh kegiatan yang dilakukan oleh manusia dan menjadi pusat keputusan dan komunikasi tubuh. Otak terdiri dari jutaan neuron yang menghasilkan kekuatan elektrik yang direpresentasikan dalam bentuk sinyal elektrik [1]. Sinyal elektrik yang dihasilkan oleh otak melakukan proses pengiriman informasi dan direpresentasikan dalam bentuk gelombang.

Untuk merekam aktivitas gelombang otak dalam bentuk potensial elektrik dengan menggunakan metode *non-invasive*, dengan menempatkan elektrode pada permukaan kulit kepala, diperlukan elektroensafalogram (EEG) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1 [1].



Gambar 1. Headset EEG model *non-invasive* : Neurosky Mindset

Dari rekaman sinyal EEG akan didapatkan bentuk gelombang, durasi, orientasi sinyal dan irama sinyal. Seiring dengan kemajuan teknologi elektronika dan pengembangan teknik pengolahan sinyal digital, banyak penelitian yang dikembangkan untuk mengenali aktivitas pola otak secara otomatis melalui pengenalan sinyal EEG. Untuk dapat melakukan proses pengenalan sinyal EEG diperlukan suatu pola aktivitas otak yang bersifat menonjol dan konstan. Pola aktivitas otak tersebut muncul sebagai akibat dari adanya rangsangan tertentu terhadap relawan.

Data pola sinyal EEG yang dihasilkan belum diketahui bentuk maupun posisi keberadaannya dikarenakan pola sinyal dan kecepatan respon otak tiap individu terhadap rangsangan berbeda-beda. Oleh karena itu diperlukan metode pengolahan sinyal EEG yang dapat mempolakan aktivitas otak secara spesifik.

Wavelet Transform (WT) dan Fast Fourier Transform (FFT) merupakan metode paling umum yang digunakan dalam pengenalan pola gelombang otak. Tahapan pengolahan gelombang otak yang dilakukan melibatkan beberapa tugas (*cognitive task*) yang diberikan kepada subyek sebagai arahan yang bertujuan untuk mendapatkan rangsangan yang berbeda-beda. Sinyal EEG diproses menggunakan transformasi wavelet dan transformasi *fast-fourier* untuk mendapatkan bentuk ciri dari gelombang otak.

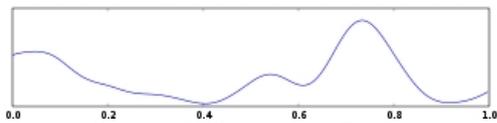
Perbedaan penggunaan *cognitive task* pada objek penelitian membuka kemungkinan besar pada perbedaan yang dihasilkan dari ekstraksi ciri setiap penelitian. Dengan demikian perlu diadakan suatu studi perbandingan terhadap *cognitive task* pada hasil ekstraksi ciri setiap penelitian.

Gelombang Otak

Sinyal gelombang yang dihasilkan EEG memiliki amplitudo tegangan yang rendah, yaitu pada orde microvolt dalam rentang 100 μV – 1 mV. Aktivitas pasien pada saat proses perekaman EEG seperti tidur dan berfikir juga sangat mempengaruhi pola gelombang EEG yang terbentuk. Gelombang otak manusia memiliki rentang frekuensi dan amplitudo berbeda – beda sehingga terbagi menjadi beberapa jenis gelombang seperti berikut :

a. Gelombang Delta

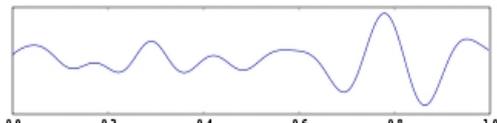
Bentuk gelombang delta memiliki frekuensi gelombang yang bernilai < 4 Hz dengan amplitudo tegangan mencapai 10 mV [2],[3]. Gelombang ini dihasilkan ketika seseorang tertidur lelap, tanpa mimpi.



Gambar 2. Gelombang Delta

b. Gelombang Teta

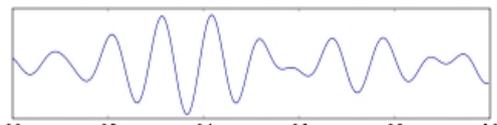
Bentuk gelombang teta memiliki frekuensi gelombang yang bernilai antara 4 – 8 Hz dengan amplitudo tegangan mencapai 10 μV [2],[3]. Gelombang ini dihasilkan ketika seseorang mengalami tidur ringan atau mengantuk atau tengah melakukan ritual agama yang khusyuk.



Gambar 3. Gelombang Teta

c. Gelombang Alfa

Bentuk gelombang Alfa memiliki frekuensi gelombang yang bernilai antara 8 – 12 Hz dengan amplitudo tegangan mencapai 50 μV [2],[3]. Gelombang ini dihasilkan ketika seseorang sedang melakukan relaksasi atau berupa peralihan antara keadaan sadar dan tidak sadar.

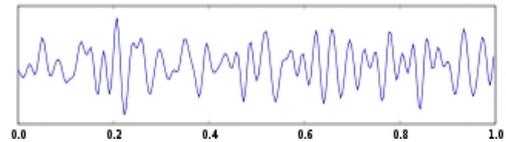


Gambar 4. Gelombang Alfa

d. Gelombang Beta

Bentuk gelombang beta memiliki frekuensi gelombang yang bernilai antara 13 – 19 Hz dengan amplitudo tegangan bernilai antara 10 – 20 μV [2],[6]. Gelombang ini dihasilkan ketika seseorang sedang berada dalam kondisi berpikir atau sedang melakukan aktivitas sehari - hari. Gelombang beta dibagi menjadi 3 kelompok, yaitu

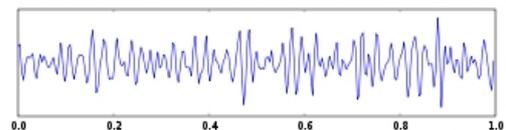
high beta (> 19 Hz), beta (15 – 18 Hz), dan low beta (12 - 15 Hz).



Gambar 5. Gelombang Beta

e. Gelombang Gamma

Bentuk gelombang gamma memiliki frekuensi gelombang yang bernilai antara 19 – 100 Hz. Gelombang ini dihasilkan ketika seseorang sedang mengalami aktivitas mental yang sangat tinggi seperti ketakutan, sangat panik, tampil di muka umum dan sebagainya.



Gambar 6. Gelombang Gamma

Elektroensafalogram

Elektroensafalogram (EEG) merupakan suatu kegiatan merekam aktivitas otak secara spontan dalam bentuk potensial sinyal elektrik sepanjang kulit kepala yang diproduksi oleh neuron yang saling terhubung [1],[3]–[5].

Ekstraksi Ciri

Wavelet Transform

Wavelet merupakan fungsi matematis yang memisahkan data menjadi beberapa komponen frekuensi yang berbeda dan mempelajari tiap-tiap komponen sesuai dengan resolusi yang tepat dengan skalanya masing-masing[6]. *Wavelet Transform* (WT) menjadi salah satu metode yang banyak digunakan untuk kompresi sinyal dan gambar. *Wavelet Transform* memiliki kelebihan dibandingkan dengan *Fourier Transform* dikarenakan kemampuannya untuk mendeskripsikan berbagai tipe sinyal baik waktu maupun frekuensi domain secara simultan.

Wavelet Transform didefinisikan dari fungsi *scaling* dan fungsi *wavelet*. *Wavelet Transform* bekerja dengan mengambil rata-rata dari nilai masukan dan mempertahankan informasi yang diperlukan untuk mengembalikan ke nilai semula.

Dalam analisis multiresolusi (AMR), *scaling function* digunakan untuk menciptakan satu rangkaian pendekatan pada suatu fungsi atau citra, *scaling function* ini dinyatakan dalam persamaan berikut [7]:

$$\varphi(x) = \sum_n h_\varphi(n) \sqrt{2} \varphi(2x - n) \quad \dots(1)$$

$h_\varphi(n)$ merupakan sebuah koefisien yang dalam persamaan rekursif ini merupakan *scaling function*.

Dalam prosesnya WT bekerja dengan mengambil rata-rata dari nilai masukan dan mempertahankan informasi yang diperlukan untuk mengembalikan ke nilai semula. Proses perhitungan nilai WT dapat dianalogikan sebagai berikut :

Jika a dan b adalah dua bilangan maka nilai rata-rata s dan nilai selisih d dapat dihitung melalui persamaan:

$$s = (a + b) / 2 , \\ d = a - s ,$$

selanjutnya, nilai a dan b dapat diperoleh kembali melalui:

$$a = s + d , \\ b = s - d .$$

Fast Fourier Transform

Fourier Transform (FT) merupakan metode untuk kompresi sinyal dan gambar yang diuraikan dari sinyal yang didefinisikan dari interval waktu yang tak terbatas ke komponen frekuensi alpha. FT merupakan seri lanjutan dari Fourier [8]. Fast Fourier Transform (FFT) merupakan suatu algoritme yang lebih cepat dan efisien untuk menghitung Discrete Fourier Transform (DFT). Metode FFT dapat dilakukan dalam domain waktu dan frekuensi. Oleh karena itu kinerja FT lebih mengungguli kemampuan kinerja WT dari kebanyakan sinyal, baik stationary maupun non-stationary [8].

Cognitive Task

Cognitive task berfungsi sebagai metode yang membantu untuk menangkap gambaran dari tugas-tugas yang kompleks sehingga dapat diperoleh hasil yang akurat dan lengkap dari proses kognitif dan keputusan. Pentingnya Cognitive Task dijabarkan oleh Clark, R.E. et al didasarkan pada bukti kuat bahwa para ahli tidak menyadari sekitar 70 % dari keputusan mereka sendiri. Oleh karena itu cognitive task berusaha mengatasi masalah ini dengan menentukan strategi pengamatan untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat [9].

Pada penelitian ini akan dibahas cognitive task sebagai serangkaian tugas yang diberikan kepada subyek untuk mengekstraksi gelombang otak dari para partisipan untuk digunakan dalam proses pengambilan data gelombang otak sebelum dilakukan ekstraksi ciri. Persamaan teknik pemberian cognitive task akan dikelompokkan berdasarkan kategori.

2. Pembahasan

Studi dan penelitian mengenai ekstraksi ciri dari sinyal EEG telah banyak dilakukan. Beberapa penelitian yang terkait akan dibahas pada bab ini.

Dr. Abhishek Vaish dan Pinki Kumari menggunakan metode wavelet decomposition, diantaranya Symlet Wavelet Decomposition (SWD), Daubechies Wavelet Decomposition (DWD), dan Coiflet Wavelet Decomposition (CWD), serta perhitungan energi

menggunakan Recoursing Energy Effeiciency (REE), Logarithmic Recoursing Energy Efficiency (LREE), Absolute Logarithmic Recoursing Energy Efficiency (ALREE) untuk mengekstraksi ciri energi gelombang otak. Partisipan diberikan cognitive task berupa tugas motorik dengan melibatkan kedua tangan kanan dan kiri untuk membuka dan menutup kepalan tangan sesuai dengan arahan perintah dan relaksasi dengan membayangkan proses buka tutup kepalan tangan kanan dan kiri dan terakhir partisipan dipersilahkan untuk relaksasi tanpa diberikan perintah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa distribusi energi atas sub-band sinyal EEG sesuai dengan gelombang delta, theta, alpha, beta dan gamma yang bertujuan untuk membedakan satu subjek dengan subjek yang lain yang melakukan beberapa cognitive task [10].

Karim, S.A.A. et al. menggunakan wavelet transform dan fourier transform untuk melakukan transformasi sinyal menjadi sebuah domain baru yang dapat dengan mudah dilakukan komputasi, analisis, dan bisa dipindahkan pada penyimpanan yang sedikit tanpa ada penurunan akurasi sinyal. Semua metode yang dilakukan menunjukkan hasil yang baik untuk setiap MSE, RMSE, dan rasio komperasi [8].

Shuren Qin and Zhong Ji menggunakan metode analisis time-frequency untuk mendeteksi dan mengekstraksi ciri informasi dari sinyal EEG yang secara otomatis dapat diterapkan pada bidang kesehatan [11]. Penelitian dilakukan dengan melibatkan 17 partisipan yang memiliki penyakit epilepsi. Penerapan analisis time-frequency secara positif mengendalikan analisis time-frequency untuk analisa sinyal non-stationary.

Kao, Fu-Chien, et al. menganalisa karakteristik frekuensi dari gelombang otak terkait dengan perbedaan aktivitas relaksasi seperti membaca novel dan menonton film berdasarkan cognitive neuroscience yang bertujuan untuk efektivitas analisa pendistribusian energi relaksasi dari kegiatan relaksasi yang berbeda. Penelitian yang dilakukan dengan memberikan tes kepada 30 partisipan untuk melihat frekuensi karakteristik gelombang otak selama partisipan menonton film dan didapatkan hasil berupa peningkatan energi pada frekuensi gelombang alpha dan beta. Untuk menganalisa perbedaan pada kedua gelombang otak tersebut yang disebabkan oleh kegiatan relaksasi berupa menonton film dan membaca novel maka dilakukan persentase total energi yang berkaitan dengan frekuensi setiap zona utamanya yang akan ditentukan sebagai relaxation energy index (REI)[3]. Hasil analisa yang didapat dari penelitian ini menunjukkan bahwa persentase gelombang alpha dan gelombang beta yang dihasilkan partisipan pada saat membaca novel adalah 34,83% untuk gelombang alpha dan 34.95%, sedangkan untuk hasil analisa persentase gelombang alpha dan gelombang beta pada saat partisipan menonton film adalah 45,2% untuk gelombang alpha dan 22% untuk gelombang beta [3].

Polat, K menggunakan metode *Fast Fourier Transform* (FFT), sedangkan untuk mengenali pola sinyal EEG menggunakan metode klasifikasi *Decision Tree*. Ekstraksi ciri dengan metode FFT membuat proses komputasi pengenalan pola lebih cepat daripada menggunakan metode *Discrete Wavelet Transform* (DWT) dengan akurasi mencapai 98,7% [12].

Cososchi, S. et.al. menggunakan *auto-organizing fuzzy neural network* berdasarkan waktu prediksi. Dengan melibatkan dua partisipan, sebagai subjek penelitian, dilakukan penelitian dengan cara relaksasi. Partisipan diberikan perintah untuk membayangkan proses menggerakkan tangan kanan dan tangan kiri dengan isyarat arah tertentu. Data sinyal EEG yang direkam disaring dari 0,5 Hz hingga 30 Hz dan kemudian diterapkan pada 120 Hz. Dua *auto-organizing fuzzy neural network* digunakan untuk prediksi performa dari data yang sudah diperoleh, kemudian dilakukan ekstraksi ciri serta klasifikasi data EEG. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa hasil klasifikasi tertinggi didapatkan subjek 1 dengan perolehan akurasi klasifikasi sebesar 82,68 %, sedangkan waktu yang digunakan untuk melakukan klasifikasi tertinggi didapatkan subjek 2 dengan waktu 3,24 detik [13].

Murat, Z. et al. membandingkan frekuensi gelombang delta dan theta pada gelombang otak sebelah kiri dan kanan dengan menggunakan *cognitive task* berupa relaksasi. Partisipan yang berjumlah 30 partisipan terdiri dari 18 wanita dan 12 laki-laki, diberikan dua macam *cognitive task* yakni *cognitive task* pada saat partisipan relaksasi dan diminta untuk duduk dikursi dan menutup mata tapi tidak tidur, EEG merekam selama lima menit. Sedangkan yang kedua adalah dengan menempatkan partisipan pada kasur yang disediakan dengan system *Horizontal Rotation* (HR) dan direkam selama lima menit. Hasil yang diperoleh dari penelitian bahwa frekuensi delta sebelum HR berkisar 60%-75% sedangkan setelah HR menjadi 80%, sedangkan untuk frekuensi theta sebelum HR berkisar 80% dan setelah HR menjadi 95% [2].

Berdasarkan penelitian yang sudah dipaparkan maka *cognitive task* dapat dikelompokkan menjadi tiga kategori yakni relaksasi, motorik dan gabungan relaksasi-motorik ditunjukkan pada Tabel 1. Korelasi antara kategori dan akurasi hasil ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 1. Kategori *Cognitive task* Penelitian

Penelitian	Peneliti	Kategori <i>Cognitive Task</i>	Akurasi Hasil Ekstraksi Ciri
<i>Comparison between</i>	Zunairah Hj. Murat,	Relaksasi	Frekuensi delta 60%-75%

<i>the Left and the Right Brainwaves for Delta and Theta Frequency Band after Horizontal Rotation Intervention</i>	Mohd Nasir Taib, Ros Shilawani S, Abdul Kadir, Aisyah Hartini Jahidin, Sahrim Lias, Roshakim Mohd Isa		sebelum HR, setelah HR menjadi 80% Frekuensi theta 80% sebelum HR, setelah HR menjadi 95%
<i>Brainwaves Analysis of Relaxation Emoticon</i>	Fu-Chien Kao, Yun-Kai Lin, Chih-Chia Chen, Chih-Hsun Huang	Relaksasi	gelombang alpha, ketika menonton film 45,2% lebih baik daripada membaca novel 34,83%. Gelombang beta, ketika membaca novel 34,95% lebih besar daripada menonton film 22%"
<i>EEG Features Extraction for Motor Imagery</i>	Stefan Cososchi, Rodica Strungaru, Alexandru Ungureanu, Mihaela Ungureanu	Relaksasi	Klasifikasi tertinggi diperoleh subjek 1 (S1) 82,68%
<i>Classification of epileptiform EEG using a hybrid system based on decision tree classifier and fast Fourier transform</i>	Kemal Polat, Salih Günes	Motorik	Akurasi deteksi epilepsi mencapai 98,72% lebih besar dari penelitian sebelumnya.
<i>Extraction of Feature Information in EEG Signal by Virtual EEG</i>	Shuren Qin, Zhong Ji	Motorik	Sensitivitas Deteksi 83,5%

<i>Instrument with the Functions of Time-Frequency Analysis</i>			
<i>Brainwave's Energy Feature Extraction Using Wavelet Transform</i>	Pinki Kumari, DR. Abhishek Vaish	Relaksasi Motorik	Wavelet Decomposition (SWD,DWD,CW D) menghasilkan High Gamma 0-60%, Low Gamma 0-20%, Beta 0-15%, Alpha 0-10%, Theta 0-10%, Delta 30-60%

Tabel 2. Hubungan Kategori *Cognitive Task* dengan Akurasi Hasil Ekstraksi Ciri Gelombang Otak.

No	Kategori <i>Cognitive Task</i>	Akurasi Hasil Ekstraksi Ciri
1	Relaksasi	Delta 60-75% Teta 80%
2	Motorik	Akurasi deteksi 83,5-98,72 %
3	Gabungan Relaksasi – Motorik	High Gamma 0-60%, Low Gamma 0-20%, Beta 0-15%, Alpha 0-10%, Teta 0-10%, Delta 30-60%

3. Kesimpulan

Cognitive task setiap penelitian memiliki pengaruh terhadap hasil ekstraksi ciri gelombang otak yang berbeda-beda. Persamaan teknik *cognitive task* antar penelitian dapat dijadikan kategori tersendiri sesuai dengan teknik pengambilan *cognitive task* yakni relaksasi, motorik, dan gabungan relaksasi-motorik. Kategori tersebut dapat digunakan untuk melihat tingkat akurasi hasil ekstraksi ciri gelombang otak berdasarkan penelitian yang telah dipaparkan didalam pembahasan. Korelasi antara kategori dengan tingkat akurasi hasil ekstraksi ciri gelombang menunjukkan adanya pengaruh yang signifikan dari *cognitive task*.

Daftar Pustaka

- [1] Z. H. Murat, M. N. Taib, S. Lias, R. S. S. A. Kadir, N. Sulaiman, and M. Mustafa, "EEG Analysis for Brainwave Balancing Index (BBI)," *2010 2nd Int. Conf. Comput. Intell. Commun. Syst. Netw.*, pp. 389–393, Jul. 2010.
- [2] Z. H. Murat, M. N. Taib, R. S. S. A. Kadir, A. H. Jahidin, S. Lias, and R. M. Isa, "Comparison between the Left and the Right Brainwaves for Delta and Theta Frequency Band after Horizontal Rotation Intervention," *2011 Third*

- Int. Conf. Comput. Intell. Commun. Syst. Netw.*, pp. 368–372, Jul. 2011.
- [3] F. C. Kao, Y. K. Lin, C. C. Chen, and C. H. Huang, "Brainwaves Analysis of Relaxation Emotion," *2014 Int. Symp. Comput. Consum. Control*, pp. 308–310, Jun. 2014.
- [4] B. S. Zainuddin, Z. Hussain, I. S. Isa, and A. Background, "Alpha and Beta EEG Brainwave Signal Classification Technique: A Conceptual Study," *2014 IEEE 10th Int. Colloq. Signal Process. Its Appl. CSPA2014*, pp. 7–9, 2014.
- [5] M. Murugappan, S. Murugappan, and C. Gerard, "Wireless EEG signals based Neuromarketing system using Fast Fourier Transform (FFT)," *2014 IEEE 10th Int. Colloq. Signal Process. Its Appl.*, pp. 25–30, Mar. 2014.
- [6] A. Procházka, J. Kukal, and O. Vyšata, "Wavelet Transform Use for Feature Extraction and EEG Signal Segments Classification," *3rd Int. Symp. Commun. Control Signal Process. ISCCSP 2008*, no. March, pp. 12–14, 2008.
- [7] R. C. Gonzales and R. E. Woods, "Digital Image Processing," vol. 2, no. 2005, pp. 1–6, 2006.
- [8] S. Ariffin, A. Karim, B. A. Karim, M. K. Hasan, and J. Sulaiman, "Wavelet Transform and Fast Fourier Transform for Signal Compression: A Comparative Study," *2011 Int. Conf. Electron. Devices Syst. Appl. ICEDSA*, pp. 280–285, 2011.
- [9] R. E. Clark, D. F. Feldon, K. A. Yates, and S. Early, *Cognitive Task Analysis*, 3rd ed. Handbook of research on educational communications and technology Handbook of research on educational communications and technology, 2008.
- [10] P. Kumari and A. Vaish, "Brainwave's energy feature extraction using wavelet transform," *2014 IEEE Stud. Conf. Electr. Electron. Comput. Sci.*, pp. 1–5, Mar. 2014.
- [11] S. Qin, "Extraction of Feature Information in EEG Signal by Virtual EEG Instrument with the Functions of Time-Frequency Analysis," *2009 6th Int. Symp. Image Signal Process. Anal.*, pp. 7–11, 2009.
- [12] K. Polat and S. Güneş, "Classification of epileptiform EEG using a hybrid system based on decision tree classifier and fast Fourier transform," *Appl. Math. Comput.*, vol. 187, no. 2, pp. 1017–1026, Apr. 2007.
- [13] S. Cososchi, R. Strungaru, A. Ungureanu, and M. Ungureanu, "EEG features extraction for motor imagery," *Conf. Proc. Annu. Int. Conf. IEEE Eng. Med. Biol. Soc. IEEE Eng. Med. Biol. Soc. Annu. Conf.*, vol. 1, pp. 1142–5, Jan. 2006.

Biodata Penulis

Ahmad Azhari S.Kom, memperoleh gelar Sarjana Komputer (S.Kom), Jurusan Teknik Informatika Universitas Islam Indonesia Yogyakarta, lulus tahun 2011. Saat ini melanjutkan Pendidikan Pasca Sarjana Program Magister Teknik Informatika Universitas Gajah Mada Yogyakarta.

Prof. Adhi Susanto, M.Sc.,Ph.D, memperoleh gelar Sarjana Fisika (S.Si), Jurusan Fisika Universitas Gadjah

Mada Yogyakarta, lulus tahun 1963. Memperoleh gelar *Master of Science (M.Sc)* Program *Electrical Engineering University of California, Davis*, lulus tahun 1966. Memperoleh gelar *Doctor of Philosophy (Ph.D)* Program *Electrical Engineering University of California, Davis*, lulus tahun 1986. Saat ini menjadi Dosen (Professor) di Teknik Elektro Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.

DR. Indah Soesanti, S.T.,M.T, memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T), Jurusan Teknik Elektro Universitas Gadjah Mada Yogyakarta, lulus tahun 1998. Memperoleh gelar Magister Teknik (M.T) Program Studi Pascasarjana Teknik Elektro Universitas Gadjah Mada Yogyakarta, lulus tahun 2001. Memperoleh gelar Doktor (DR), Program Studi S3 Ilmu Teknik Elektro Universitas Gadjah Mada Yogyakarta, lulus tahun 2011. Saat ini menjadi Dosen di Teknik Elektro Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.