

# ANALISIS PENGARUH *COGNITIVE TASK* BERDASARKAN HASIL EKSTRAKSI CIRI GELOMBANG OTAK MENGGUNAKAN JARAK EUCLIDEAN

Ahmad Azhari<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Teknik Informatika Universitas Ahmad Dahlan Yogyakarta  
Jalan Prof. Dr. Soepomo, S.H., Umbulharjo, Warungboto, Umbulharjo, Kota Yogyakarta, Daerah Istimewa  
Yogyakarta 55164, Indonesia  
Email : [ahmad.azhari@tif.uad.ac.id](mailto:ahmad.azhari@tif.uad.ac.id)<sup>1)</sup>

## Abstrak

Penggunaan gelombang otak sebagai media untuk mengotentikasi pengguna memiliki beberapa keunggulan dibandingkan sistem otentikasi biometrik lainnya seperti sidik jari atau iris scan. Hal ini disebabkan karena gelombang otak dan pikiran tidak dapat dibaca oleh orang lain. Penerapan tugas kognitif (*cognitive task*) pada studi dan penelitian bidang biometrika terutama terkait sinyal elektroensefalogram (EEG) memiliki peran sebagai pemicu untuk memperoleh tanggapan spesifik dari otak manusia. Dalam perkembangan teknologi biometrika kognitif (*cognitive biometrics*), tugas kognitif dikembangkan berdasarkan penggabungan persepsi manusia dan karakteristik psikologis serta penggunaan database pada komputer melalui antarmuka *brain-machine*. Penelitian ini dilakukan untuk mengukur pengaruh dominan dari tugas-tugas kognitif yang diberikan sebagai stimulus. Ekstraksi ciri dilakukan dengan penerapan statistik berupa nilai rata-rata, deviasi standar, skewness, kurtosis, dan entropi. Fitur-fitur tersebut selanjutnya dianalisis untuk mendapatkan sebaran data menggunakan jarak Euclidean. Hasil yang diperoleh dari pengujian menunjukkan ada tiga komponen yang memiliki pengaruh dominan terhadap terbentuknya ciri individu yakni tugas simulasi menggerakkan jari (*finger*), tugas mengidentifikasi warna (*color*) dan tugas membayangkan wajah (*face*).

**Kata kunci:** EEG, *Cognitive Task*, Ekstraksi Ciri, Gelombang Beta, Analisis Gelombang Otak .

## 1. Pendahuluan

Seluruh kegiatan manusia dikendalikan secara terpusat melalui otak. Otak merupakan bagian terpenting dari sistem saraf manusia karena berfungsi sebagai *central processing unit* (CPU) bagi tubuh manusia [1]. Otak terdiri dari jutaan neuron yang saling berkomunikasi satu sama lain dan menghasilkan kekuatan elektrik yang direpresentasikan dalam bentuk sinyal elektrik. Proses pengiriman informasi antar neuron terjadi melalui sinyal elektrik dan direpresentasikan dalam bentuk gelombang [2].

Gelombang otak memiliki karakteristik yang khas dan berbeda-beda tiap individu, hal ini dikarenakan

gelombang otak tidak dapat ditiru atau dibaca oleh orang sehingga tidak dimungkinkan untuk memiliki kesamaan [3]. Untuk dapat membedakan karakteristik dari tiap individu dibutuhkan pengenalan identitas. Pengenalan identitas bertujuan untuk mengenali identitas seseorang secara tepat [3]–[6].

Secara konvensional, pengenalan identitas didasarkan pada sesuatu yang diketahui (*something you know*) dan sesuatu yang dimiliki (*something you have*), seperti penggunaan PIN, password, penggunaan kartu dan kunci. Namun penggunaan metode konvensional ini memiliki kelemahan yakni dapat terlupakan (tidak ingat) dan dapat diduplikasi atau bahkan hilang [5].

Klonovs, J. dkk memaparkan bahwa dengan menggunakan gelombang otak sebagai media untuk mengotentikasi pengguna memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan sistem otentikasi biometrik lain seperti sidik jari atau iris scan, karena gelombang otak dan pikiran tidak dapat dibaca oleh orang lain [7].

Untuk dapat melakukan proses identifikasi karakteristik individu yang diperoleh dari sinyal gelombang otak diperlukan suatu pola aktivitas otak yang bersifat menonjol dan konstan. Pemaparan Yulianto, E. dalam penelitiannya menyebutkan bahwa pola aktivitas otak muncul sebagai akibat adanya rangsangan tertentu terhadap individu [8]. Rangsangan tersebut dapat diperoleh secara spontan maupun dengan diberikan stimulus berupa beberapa tugas yang dapat merangsang respon dari otak.

Meningkatnya ketersediaan perangkat nirkabel EEG dengan beragam jumlah penggunaan sensor dan kemungkinan penggunaan perangkat EEG berulang kali tanpa resiko dan batasan dengan menggunakan metode *non-invasive* menjadi menarik untuk dapat dikembangkan sebagai media untuk pengenalan identitas diri.

Pada penelitian ini, gelombang otak akan direkam menggunakan alat EEG satu sensor “*Neurosky Mindset*” dengan memberikan rangsangan berupa tugas-tugas kognitif (*cognitive task*) berupa persepsi psikologis. Tujuan penelitian ini adalah mendapatkan faktor pengaruh terbentuknya ciri individu dari pemberian tugas kognitif (*cognitive task*) menggunakan analisis distribusi jarak *euclidean distance*.

## 2. Pembahasan

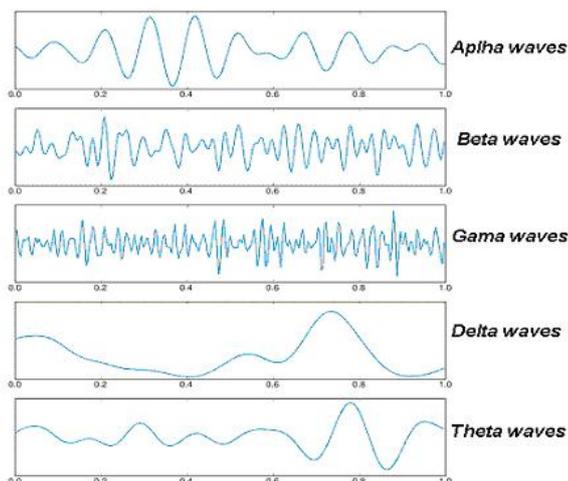
### Landasan Teori

#### 1. Osilasi Gelombang Otak

Gelombang yang dihasilkan otak saat melakukan sebuah aktivitas memiliki rentang frekuensi 0,5 Hz sampai dengan 50 Hz. Gelombang otak manusia memiliki rentang frekuensi dan amplitude berbeda-beda. Gelombang otak secara umum dibagi menjadi lima jenis gelombang yakni gelombang alpha, beta, theta, delta dan gamma. Masing-masing jenis gelombang menunjukkan aktivitas yang berbeda pada otak [9]. Perbedaan masing-masing gelombang otak dapat dilihat pada Tabel 1 dan Gambar 1.

Tabel 1. Jenis dan frekuensi Gelombang Otak [9]

Jenis Gelombang	Frekuensi	Kondisi Mental
Delta	0,5 – 4 Hz	Kondisi tertidur lelap tanpa bermimpi ( <i>Deep sleep</i> ). Fase istirahat bagi tubuh
Theta	4 – 8 Hz	Kondisi meditasi, intuisi, dan fantasi.
Alpha	8 – 15 Hz	Kondisi relaksasi dan terjaga.
Beta	15 – 32 Hz	Kondisi fokus, berfikir, dan konsentrasi. Fase produktivitas bagi tubuh.
Gamma	32 – 50 Hz	Kondisi aktivitas mental yang tinggi seperti ketakutan, panik, pertandingan



Gambar 1. Jenis Gelombang Otak [10]

Pemberian aktivitas pada saat proses EEG akan mempengaruhi gelombang otak yang terbentuk. Dalam penelitian ini gelombang otak yang digunakan adalah

gelombang beta, hal ini terkait dengan tujuan penelitian untuk mendapatkan tanggapan aspek kognitif dari otak. Gelombang Beta memiliki ciri frekuensi 13 hingga 30 *cycle per second* (cps) atau setara dengan 13 hingga 30 *Hertz* (Hz). Gelombang beta bertujuan untuk membantu manusia untuk menjaga fokus pada saat melakukan aktivitas yang membutuhkan konsentrasi. Oleh karena itu gelombang beta biasa disebut dengan gelombang konsentrasi.

#### 2. Elektroensefalogram (EEG)

Penggunaan EEG untuk identifikasi berkembang seiring dengan pesatnya perkembangan ilmu pengetahuan di bidang biomedis [2], [3], [8], [11]–[21], sedangkan penggunaan EEG untuk otentikasi keamanan mengalami kemajuan akibat perkembangan pengolahan citra pada bidang biometrika [5].

Azhari memberikan penjelasan bahwa Elektroensefalogram merupakan bagian dari studi bidang biomedis terutama *neuro-science* terkait aktivitas otak yang menghasilkan sinyal elektromagnetik dan memiliki kaitan terhadap fungsi fisik tubuh manusia. Salah satu tujuan yang dihasilkan dari bidang biomedis adalah untuk menghasilkan otentifikasi dan identifikasi dari individu [1], [3].

Remijin memaparkan bahwa Elektroensefalogram merupakan suatu kegiatan merekam aktivitas otak dengan cara menempatkan beberapa elektroda diatas permukaan kepala dan mengukur potensial keluaran yang diperoleh dari berbagai keadaan kesadaran seperti tidur, terjaga, fokus dan koma [22].

Jayarathne, Cohen, dan Amarakeerthi dalam penelitiannya terkait pengembangan EEG berbasis sistem otentikasi biometrik, menjelaskan cara kerja EEG yakni dengan cara mengawasi (*monitoring*) rekaman aktivitas otak. Keadaan otak harus berada pada kondisi aktif saat direkam. Pemberian rangsangan (stimulus) tertentu akan menghasilkan respon yang berbeda dari sinyal EEG. Hal ini diakibatkan karena kondisi mental otak yang berbeda saat pemberian rangsangan [11].

#### 3. Tugas Kognitif (*Cognitive Task*)

Perkembangan teknologi biometrika kognitif (*cognitive biometrics*) yang dikembangkan berdasarkan penggabungan persepsi manusia dan karakteristik psikologis serta database pada komputer melalui antarmuka *brain-machine* [5]. Teknologi ini berperan sebagai pemicu untuk memperoleh tanggapan spesifik otak manusia berdasarkan persepsi psikologis (*perceptual psychology*) manusia.

Untuk dapat memperoleh rangsangan kognitif dari otak maka diperlukan stimulus berupa tugas kognitif (*cognitive task*) yang dapat membantu untuk menangkap hasil yang akurat dan lengkap dari proses kognitif dan keputusan otak [2].

Penerapan tugas kognitif (*cognitive task*) pada studi dan penelitian bidang biomedis telah banyak dilakukan [3], [23]–[28]. Berdasarkan hasil ekstraksi ciri, gelombang otak yang diperoleh dari penerapan tugas kognitif akan memiliki pengaruh terhadap hasil yang berbeda-beda

tergantung pada penerapan teknik pengambilan dan stimulus yang diberikan.

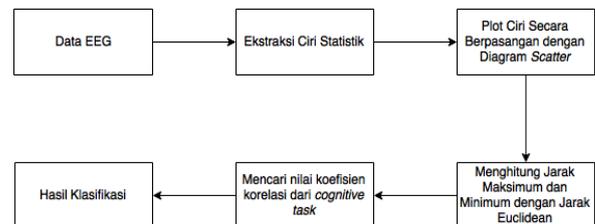
Azhari memaparkan bahwa *cognitive task* dapat digolongkan dalam tiga buah kategori berdasarkan teknik penerapan tugas kognitif pada saat penangkapan gelombang otak, yakni relaksasi, motorik, dan gabungan relaksasi dan motorik. Pengaruh yang signifikan dari *cognitive task* ditunjukkan berdasarkan korelasi antar kategori dengan tingkat akurasi hasil ekstraksi ciri gelombang otak [2].

Pada penelitian ini *cognitive task* yang digunakan beraskan dari penelitian terdahulu [2], [3], [23], [24], [29] yang didasarkan pada persepsi psikologis untuk mendapatkan respon imajinatif dan kognitif dari otak. Keseluruhan *task* diambil sebanyak dua kali dan dilakukan selama 20 detik. *Cognitive task* yang digunakan antara lain:

1. Bernafas (*breathing*)  
 Subjek menutup mata dan fokus ke pernapasan selama 20 detik tanpa sedikit pun menggerakkan anggota badan.
2. Identifikasi warna (*color*)  
 Subjek diberikan tugas untuk melihat warna yang muncul pada layar kemudian subjek diminta untuk mengingat warna tersebut dan menerapkan kembali pada kolom warna pada layar, tugas ini berlangsung selama 20 detik tanpa bersuara.
3. Simulasi menggerakkan jari (*finger*)  
 Subjek diminta untuk menutup mata dan fokus melakukan simulasi seolah-olah menggerakkan jari tanpa sedikit pun menggerakkan jari selama 20 detik.
4. Simulasi olahraga (*sport*)  
 Subjek membayangkan dalam pikiran, suatu pergerakan olahraga yang sedang dipilih, selama 20 detik tanpa sedikit pun menggerakkan anggota badan.
5. Simulasi bernyanyi (*sing*)  
 Subjek membayangkan selama 20 detik lagu atau suara dengan lirik, seolah-olah bernyanyi, tanpa sedikitpun mengeluarkan suara dan menggerakkan anggota badan.
6. Imajinasi wajah (*face*)  
 Subjek membayangkan selama 20 detik wajah seseorang secara detail, tanpa mengeluarkan suara dan menggerakkan anggota badan.
7. Imajinasi obyek (*object*)  
 Subjek diberikan waktu untuk melihat benda secara detail kemudian subjek diminta untuk menutup mata dan fokus membayangkan detail benda tersebut selama 20 detik tanpa sedikit pun menggerakkan anggota badan.
8. Berhitung matematika (*math*)  
 Subjek diberikan soal perhitungan perkalian dua bilangan yang sederhana, dan menyelesaikan soal tersebut tanpa bersuara. Misal: 26 x 14. waktu yang diberikan sama yakni 20 detik.
9. Simulasi mengingat *password* (*pass-thought*)  
 Subjek membayangkan suatu kata atau kalimat dan dapat pula berupa angka selama 10 detik.

#### 4. Ekstraksi Ciri Statistika (*Statistical Feature Extraction*)

Ekstraksi ciri merupakan bagian fundamental dari proses pengolahan sinyal. Ekstraksi akan melakukan proses pemisahan dari sinyal yang bertujuan untuk menghasilkan karakteristik atau ciri khas pembeda dari biometrika suatu objek dengan objek yang lain [4]. Pada proses ini sinyal yang telah diperoleh akan diubah ke dalam representasi matematika yang diperlukan. Alur penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Blok Diagram Penelitian.

Pada penelitian ini, ekstraksi fitur berdasarkan domain waktu menggunakan pendekatan statistik untuk mendapatkan ciri dari sinyal EEG yang diperoleh. Beberapa ciri yang digunakan berdasarkan pendekatan statistik yakni rata-rata, deviasi standar, skewness, kurtosis, dan entropi.

Rata-rata mengukur rata-rata dari distribusi data, deviasi standar mengukur variasi dari distribusi data, skewness mengukur tingkat asimetris dari distribusi data, kurtosis mengukur seberapa datar atau tinggi distribusi data terhadap distribusi normal, dan entropi digunakan untuk mengukur keacakan dari distribusi data.

Bila rata-rata ( $\bar{x}$ ), deviasi standar ( $\sigma$ ), skewness ( $s$ ), kurtosis ( $k$ ), entropi (jumlah data adalah  $N$  dan  $x_i$  adalah data piksel ke- $i$  maka momen warna secara berurutan dapat dihitung dengan persamaan (1-5).

$$\text{rata-rata} = \bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^N x_i \quad (1)$$

$$\text{deviasi standar} = \sigma = \sqrt{\frac{1}{(N-1)} \sum_{i=0}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad (2)$$

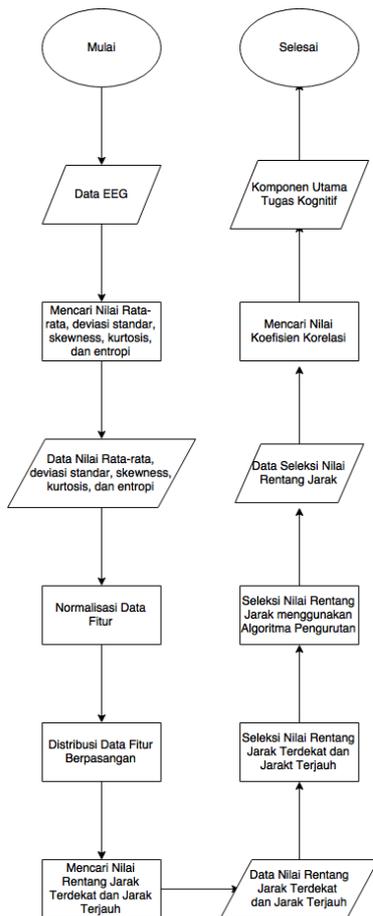
$$\text{skewness} = s = \frac{\sum_{i=0}^N (x_i - \bar{x})^3}{(N\sigma^3)} \quad (3)$$

$$\text{kurtosis} = k = \frac{\sum_{i=0}^N (x_i - \bar{x})^4}{(N\sigma^4)} \quad (4)$$

$$\text{entropi} = H = E[-\log_2 P(x)] = - \sum_{i=0}^N P(x) \log_2 P(x) \text{ bits} \quad (5)$$

Pada Gambar 3 dapat dilihat diagram alir data (*data flow diagram*) penelitian yang memberikan gambaran lebih rinci terhadap proses ekstraksi ciri sinyal EEG. Pada diagram alir data tersebut menjelaskan proses secara umum. Pada sistem ekstraksi ciri masukan yang diperlukan adalah data sinyal EEG dan keluarannya

adalah hasil klasifikasi dari data sinyal EEG berdasarkan tugas kognitif yang diberikan.



Gambar 3. Diagram Alir Data Ekstraksi Ciri

### 5. Jarak Euclidean (*Euclidean Distance*)

Pada sistem biometrika, penentuan tingkat kesamaan (*similarity degree*) dua vektor ciri dapat menggunakan metrika pencocokan. Penentuan tingkat kesamaan pada metrika kecocokan dapat menggunakan jarak euclidean untuk mengenali atau mengklasifikasi suatu vektor ciri. Tingkat kesamaan berupa suatu skor dan berdasarkan skor tersebut dua vektor dapat dikatakan mirip atau tidak [3]–[5], [21].

Pada penelitian ini akan digunakan perhitungan jarak euclidean untuk mengukur jarak terdekat (*minimum*) dan jarak terjauh (*maximum*) antara dua buah vektor fitur. Jarak *euclidean* akan menghitung akar dari kuadrat perbedaan dua vektor. Rumus dari jarak Euclidean  $d_{ij}$  dapat dilihat pada persamaan (6).

$$d_{ij} = \sqrt{\sum_{k=1}^n (x_{ik} - x_{jk})^2 + (y_{ik} - y_{jk})^2} \quad (6)$$

dimana data  $x$  pertama akan dikurangi dengan data  $x$  kedua lalu dikuadratkan dan data  $y$  pertama akan dikurangi data  $y$  kedua lalu dikuadratkan kemudian hasil kuadrat data  $x$  ditambahkan dengan hasil kuadrat data  $y$  selanjutnya akan dilakukan akar hasil penjumlahan data  $(x,y)$ .

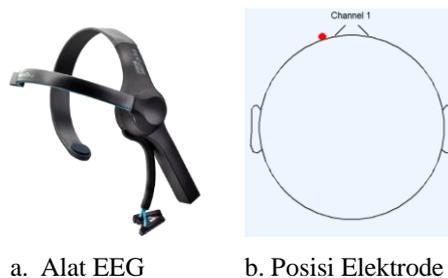
### 6. Koefisien korelasi (*correlation coefficient*)

Untuk menunjukkan hubungan antara satu variabel dengan variabel yang lain digunakan perhitungan koefisien korelasi. Koefisien korelasi memiliki variasi nilai antara -1 hingga +1. Semakin besar nilai koefisien korelasi maka semakin kuat hubungan antara dua variabel tersebut. Sedangkan semakin kecil nilai koefisien maka semakin lemah hubungan antara dua variabel. Perhitungan koefisien korelasi menggunakan persamaan (7).

$$\rho(A, B) = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N \left( \frac{A_i - \mu_A}{\sigma_A} \right) \left( \frac{B_i - \mu_B}{\sigma_B} \right) \quad (7)$$

### Metodologi

Pada penelitian ini dilakukan percobaan pada tiga orang partisipan yang terdiri dari satu laki-laki dan dua perempuan. Semua partisipan berada pada kondisi mental yang baik dan tidak mengalami gangguan otak. Keseluruhan percobaan dilakukan dalam kondisi tenang, diam, dan suasana tenang. Pada penelitian ini digunakan alat *Neurosky Mindset EEG Headset* dengan jumlah sensor sebanyak satu buah elektrode berada pada posisi Fp1. Alat EEG dan posisi penempatan elektrode dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Alat EEG dan posisi elektrode [10]

### Pengolahan Awal Sinyal (*Pre-processing*)

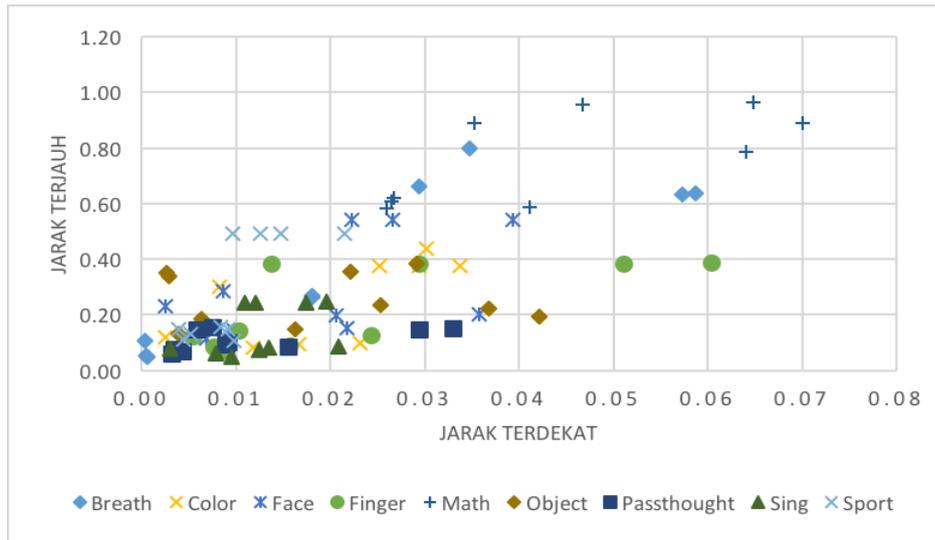
Data EEG yang telah diterima melalui EEG selanjutnya dikumpulkan dan dilakukan pengolahan awal sinyal untuk menghilangkan artefak dan melakukan seleksi pada frekuensi sinyal beta 15-32 Hz. Pada saat pengumpulan data EEG, setiap sinyal yang diperoleh dipisahkan berdasarkan tugas kognitif yang diberikan dan waktu pengambilan data. Pada penelitian ini terdapat dua kali waktu pengambilan data (*session*). Masing-masing sesi memiliki panjang data sebanyak 2.560 data dan frekuensi data sampel sebanyak 128 data per detik.

### Ekstraksi Ciri

Data EEG yang telah dikumpulkan selanjutnya akan dilakukan ekstraksi untuk mendapatkan fitur atau ciri dari masing-masing sinyal yang telah diperoleh. Ekstraksi ciri dilakukan dengan menggunakan pendekatan statistik. Diantara fitur yang diperoleh dari pendekatan statistik adalah rata-rata, deviasi standar, skewness, kurtosis, dan entropi.

### Analisis Distribusi

Untuk tahap pertama, proses yang akan dilakukan adalah melakukan analisis rentang jarak terdekat (*minimum*) dan rentang jarak terjauh (*maximum*) dengan melakukan distribusi pada data sinyal. Distribusi



Gambar 5. Distribusi jarak menggunakan jarak Euclidean

dilakukan secara berpasangan untuk masing-masing fitur atau ciri yang telah diperoleh dari hasil ekstraksi. Distribusi dilakukan dengan memisahkan dua variable berdasarkan pemberian tugas kognitif dan waktu pengambilan data sinyal. Terdapat 10 variabel berpasangan yang diperoleh berdasarkan distribusi data.

Untuk mendapatkan perbandingan nilai dengan skala yang sama, pada tahap kedua akan dilakukan perbandingan antar variabel dengan melakukan normalisasi pada data fitur.

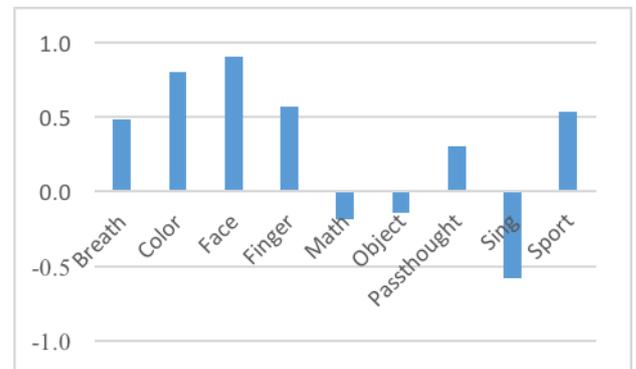
Selanjutnya dilakukan seleksi data terhadap komponen-komponen yang memiliki nilai yang lebih besar. Hasil seleksi data kemudian diurutkan berdasarkan algoritma pengurutan (*sorting*). Komponen-komponen dengan nilai yang terbesar yang akan diambil. Proses selanjutnya komponen-komponen dengan nilai yang terbesar akan dijadikan komponen utama. Pada tahap terakhir akan dilakukan perhitungan koefisien korelasi untuk menentukan besar pengaruh dari masing-masing tugas kognitif yang dilakukan.

Pada Gambar 5 menunjukkan hasil persebaran data distribusi sinyal EEG berdasarkan jarak terdekat dan jarak terjauh yang diperoleh menggunakan perhitungan jarak Euclidean. Dari hasil perbandingan jarak terdekat dan jarak terjauh dapat dilihat bahwa semakin dekat komponen dari sumbu x maka semakin jauh jarak antar komponen dengan sumbu y. Sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa semakin jauh jarak antar komponen maka semakin kuat pengaruh tugas (*tasking*) terhadap terbentuknya ciri dari individu, sedangkan semakin jauh jarak antar komponen maka semakin kecil pengaruh tugas terhadap terbentuknya ciri dari individu.

Setelah dilakukan persebaran data distribusi sinyal EEG, langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan nilai koefisien korelasi untuk melihat seberapa besar pengaruh masing-masing tugas kognitif dalam membentuk ciri individu. Koefisien korelasi dilakukan pada tiap tugas kognitif dan selanjutnya diurutkan berdasarkan nilai besaran sesuai dengan algoritma pengurutan. Hasil pengurutan nilai koefisien korelasi berdasarkan nilai jarak terdekat dan jarak terjauh dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Koefisien korelasi komponen

Komponen	Koefisien Korelasi
Breath	0.486599993
Color	0.801158755
Face	0.90668092
Finger	0.571182614
Math	-0.185471599
Object	-0.143886317
Passthought	0.302618788
Sing	-0.582768464
Sport	0.536086621



Gambar 6. Hasil Perhitungan Nilai Koefisien Korelasi

### 3. Kesimpulan

Hasil distribusi data sinyal EEG berdasarkan pengukuran jarak terdekat dan jarak terjauh diperoleh komponen-komponen yang memiliki nilai yang besar. Komponen dengan nilai besar selanjutnya akan dijadikan komponen utama untuk tugas yang dominan dan mempengaruhi terbentuknya ciri dari individu. Dari distribusi jarak terdapat tiga komponen dari tugas yang terindikasi memiliki pengaruh dominan terhadap terbentuknya ciri dari individu yakni komponen tugas membayangkan wajah (*face*) dengan koefisien korelasi sebesar 0,9067,

komponen mengidentifikasi warna (*color*) dengan koefisien korelasi sebesar 0,8012, dan komponen tugas simulasi menggerakkan jari (*finger*) dengan koefisien korelasi sebesar 0,5712.

#### 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, pp. 389–393.
- [2] A. Azhari, A. Susanto, and I. Soesanti, "Studi Perbandingan: Cognitive Task Berdasarkan Hasil Ekstraksi Ciri Gelombang Otak.pdf," presented at the Seminar Nasional Teknologi Informasi dan Multimedia, Yogyakarta, 2015, vol. 3.1, p. 7.
- [3] A. Azhari, "Ekstraksi Ciri Gelombang Otak Menggunakan Alat Neurosky Mindset Berbasis Korelasi Silang.pdf," Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 2015.
- [4] D. Putra, *Pengolahan Citra Digital*. Penerbit Andi, 2010.
- [5] D. Putra, *Sistem Biometrika*. Andi Offset, 2009.
- [6] D. Putra and K. Gede, "Sistem Verifikasi Biometrika Telapak Tangan dengan Metode Dimensi Fraktal dan Lacunarity," *Maj. Ilm. Teknol. Elektro*, vol. 8, no. 2, 2012.
- [7] J. Klonovs, C. K. Petersen, H. Olesen, and A. Hammershøj, "Development of a Mobile EEG-Based Feature Extraction and Classification System for Biometric Authentication.pdf," Aalborg University Copenhagen, 2012.
- [8] E. Yulianto, "Spesifikasi Ciri Sinyal EEG Untuk Perintah Pergerakan Motorik Berbasis Gelombang Singkat Khusus Berdasarkan Hasil Ekstraksi Ciri," Universitas Gadjah Mada, 2013.
- [9] C. F. H. Putra, "Analisis Citra Otak Pada Color-Task Dan Word-Task Dalam Stroop Task Dengan Menggunakan Electroencephalography (EEG)," Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 2014.
- [10] N. Inc., *Brainwave Signal (EEG) of Neurosky, Inc.* Neurosky, Inc., 2009.
- [11] I. Jayarathne, M. Cohen, and S. Amarakeerthi, "BrainID: Development of an EEG-based biometric authentication system," in *Information Technology, Electronics and Mobile Communication Conference (IEMCON), 2016 IEEE 7th Annual*, 2016, pp. 1–6.
- [12] P. Ackermann, C. Kohlschein, J. Á. Bitsch, K. Wehrle, and S. Jeschke, "EEG-based automatic emotion recognition: Feature extraction, selection and classification methods," in *e-Health Networking, Applications and Services (Healthcom), 2016 IEEE 18th International Conference on*, 2016, pp. 1–6.
- [13] A. A. Ghodake and S. D. Shelke, "Brain controlled home automation system," in *Intelligent Systems and Control (ISCO), 2016 10th International Conference on*, 2016, pp. 1–4.
- [14] Z. Pang, J. Li, H. Ji, and M. Li, "A new approach for EEG feature extraction for detecting error-related potentials," in *Progress in Electromagnetic Research Symposium (PIERS), 2016*, pp. 3595–3597.
- [15] J. Katona, I. Farkas, T. Ujbanyi, P. Dukan, and A. Kovari, "Evaluation of the NeuroSky MindFlex EEG headset brain waves data," in *Applied Machine Intelligence and Informatics (SAMI), 2014 IEEE 12th International Symposium on*, 2014, pp. 91–94.
- [16] B. Trowbridge, C. Rodriguez, J. Prine, M. Holzemer, J. McCormack, and R. Integlia, "Gaming, fitness, and relaxation," in *Games Entertainment Media Conference (GEM), 2015 IEEE*, 2015, pp. 1–1.
- [17] M. Varela, "Raw EEG signal processing for BCI control based on voluntary eye blinks," in *2015 IEEE Thirty Fifth Central American and Panama Convention (CONCAPAN XXXV)*, 2015, pp. 1–6.
- [18] Y. Yoshimura *et al.*, "The Brain's Response to the Human Voice Depends on the Incidence of Autistic Traits in the General Population," *PLoS ONE*, vol. 8, no. 11, p. e80126, Nov. 2013.
- [19] D. Bright, A. Nair, D. Salvekar, and S. Bhisikar, "EEG-based brain controlled prosthetic arm," in *Advances in Signal Processing (CASP), Conference on*, 2016, pp. 479–483.
- [20] A. Patil, C. Deshmukh, and A. R. Panat, "Feature extraction of EEG for emotion recognition using Hjorth features and higher order crossings," in *Advances in Signal Processing (CASP), Conference on*, 2016, pp. 429–434.
- [21] M. Diykh, Y. Li, and P. Wen, "EEG Sleep Stages Classification Based on Time Domain Features and Structural Graph Similarity," *IEEE Trans. Neural Syst. Rehabil. Eng.*, vol. 24, no. 11, pp. 1159–1168, Nov. 2016.
- [22] G. B. Remijn, E. Hasuo, H. Fujihira, and S. Morimoto, "An introduction to the measurement of auditory event-related potentials (ERPs)," *Acoust. Sci. Technol.*, vol. 35, no. 5, pp. 229–242, 2014.
- [23] B. Johnson, T. Maillart, and J. Chuang, "My thoughts are not your thoughts," 2014, pp. 1329–1338.
- [24] R. Zafar, A. S. Malik, H. U. Amin, N. Kamel, S. Dass, and R. F. Ahmad, "EEG spectral analysis during complex cognitive task at occipital," in *Biomedical Engineering and Sciences (IECBES), 2014 IEEE Conference on*, 2014, pp. 907–910.
- [25] J. Zhang, Z. Yin, and R. Wang, "Pattern Classification of Instantaneous Cognitive Task-load Through GMM Clustering, Laplacian Eigenmap and Ensemble SVMs," *IEEE/ACM Trans. Comput. Biol. Bioinform.*, pp. 1–1, 2016.
- [26] Y. Zhong and Z. Jianhua, "Recognition of Cognitive Task Load levels using single channel EEG and Stacked Denoising Autoencoder.pdf," in *Proceedings of the 35th Chinese Control Conference*, 2016, pp. 3907–3912.
- [27] S. Datta, P. Rakshit, A. Konar, and A. K. Nagar, "Selecting the optimal EEG electrode positions for a cognitive task using an artificial bee colony with adaptive scale factor optimization algorithm," in *2014 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC)*, 2014, pp. 2748–2755.
- [28] R. F. Ahmad, A. S. Malik, N. Kamel, F. Reza, and A. H. A. Karim, "Simultaneous EEG-fMRI data acquisition during cognitive task," in *Intelligent and Advanced Systems (ICIAS), 2014 5th International Conference on*, 2014, pp. 1–4.
- [29] A. Saha, A. Konar, P. Das, B. S. Bhattacharya, and A. K. Nagar, "Data-point and feature selection of motor imagery EEG signals for neural classification of cognitive tasks in car-driving," in *2015 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN)*, 2015, pp. 1–8.

#### Biodata Penulis

**Ahmad Azhari S.Kom., M.Eng.**, memperoleh gelar Sarjana Komputer (S.Kom), Jurusan Teknik Informatika Universitas Islam Indonesia Yogyakarta, lulus tahun 2011. Memperoleh gelar Master of Engineering (M.Eng) pada Program Pasca Sarjana Magister Teknik Informatika Universitas Gajah Mada Yogyakarta, lulus tahun 2015. Saat ini menjadi Dosen di Universitas Ahmad Dahlan Yogyakarta.