

## OPTIMASI SPATIAL SELECTION UNTUK SELEKSI KANAL EEG DENGAN PARTICLE SWARM OPTIMIZATION

### SPATIAL SELECTION OPTIMIZATION FOR EEG CHANNEL SELECTION USING PARTICLE SWARM OPTIMIZATION

Fadly Muhammad Kamil<sup>1</sup>, Hilman Fauzi Tresna Sania Putra<sup>2</sup>, Nur Ibrahim<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Universitas Telkom, Bandung

fadlymuhkamil@student.telkomuniversity.ac.id<sup>1</sup>, hilmanfauzitsp@telkomuniversity.ac.id<sup>2</sup>,  
nuribrahim@telkomuniversity.ac.id<sup>3</sup>

---

#### Abstrak

Elektroensefalogram (EEG) adalah sebuah alat untuk mencatat aktivitas gelombang otak dalam kurun waktu tertentu yang terdiri dari beberapa kanal. EEG dapat digunakan untuk mendiagnosis penyakit epilepsi. Kanal EEG epilepsi dapat dianalisis melalui optimasi seleksi kanal pada sinyal EEG, yaitu menggunakan metode Spatial Selection (SS) dan Particle Swarm Optimization (PSO). Pada tugas akhir ini telah dibuat sistem untuk menyeleksi kanal EEG epilepsi dengan dan mengoptimasi kanal-kanal tersebut. Sebelum melakukan seleksi dan optimasi kanal, terlebih dahulu dilakukan klasifikasi menggunakan K-Nearest Neighbor (K-NN) untuk mendapatkan nilai K terbaik dari data yang menjadi input pada sistem seleksi dan optimasi kanal. Seleksi kanal EEG epilepsi ini menggunakan metode Spatial Selection dan proses optimasinya menggunakan metode Particle Swarm Optimization. Dari hasil Spatial selection didapatkan kanal-kanal yang kemudian dapat dioptimasi menggunakan PSO untuk mendapatkan kanal-kanal aktif yang paling optimal serta meningkatkan akurasi dari kanal-kanal tersebut. Hasil pengujian menunjukkan bahwa akurasi tertinggi dari optimasi kanal EEG setelah dilakukan seleksi kanal adalah 100% dengan menggunakan 5 dataset. Masing-masing dataset terdiri 6 data latih (3 bayi dan 3 remaja) dan 4 data uji (2 bayi dan 2 remaja). Jumlah kanal yang didapatkan juga mengalami pengerucutan dari semula yang berjumlah 23 kanal menjadi 7 kanal aktif yang paling optimal.

Kata kunci : EEG, Epilepsi, K-NN, Spatial Selection, PSO.

---

#### Abstract

Electroencephalogram (EEG) is a tool to record brain wave activity over a certain period of time which consists of several channels. EEG can be used to diagnose epilepsy. Epileptic EEG channels can be analyzed by optimizing channel selection on the EEG signal, using Spatial Selection (SS) and Particle Swarm Optimization (PSO) methods. In this final project, a system has been created to select epilepsy EEG channels with and optimize these channels. Before selecting and optimizing the channel, the classification is done using K-Nearest Neighbor (K-NN) to get the best K value from the data that is the input to the channel selection and optimization system. The epilepsy EEG channel selection uses the Spatial Selection method and the optimization process uses the Particle Swarm Optimization method. From the results of Spatial selection, we get channels which can then be optimized using PSO to get the most optimal active channels and increase the accuracy of these channels. The test results show that the highest accuracy of EEG channel optimization after channel selection is 100% using 5 datasets. Each dataset consists of 6 training data (3 infants and 3 adolescents) and 4 test data (2 infants and 2 adolescents). The number of channels obtained also experienced a reduction from the original 23 channels to 7 active channels which were the most optimal.

Keywords: EEG, Epilepsy, K-NN, Spatial Selection, PSO.

---

#### 1. Pendahuluan

Elektroensefalogram (EEG) adalah alat yang digunakan untuk merekam gelombang sinyal otak dalam kondisi tertentu. Alat ini memungkinkan pendeteksian lokasi dan besarnya aktivitas otak yang terlibat dalam berbagai jenis fungsi kognitif [1]. Penggunaan analisis EEG yang terhubung dengan komputer dapat membantu untuk mengetahui kondisi kesehatan seseorang. Dari analisis yang terkomputasi ini, dapat diperoleh data berupa sinyal aktivitas pada otak. [2].

Gelombang sinyal EEG dapat diketahui dengan menggunakan elektroda yang dilekatkan pada kepala. Variasi dari sinyal EEG yang terkait dengan amplitudo dan frekuensi dapat mempengaruhi kegiatan diagnostik [3]. Oleh karena itu, dapat diketahui bahwa karakteristik dari aktivitas EEG ini dapat berubah-ubah di berbagai situasi, utamanya pada saat sadar, istirahat, tidur, dan mimpi, dimana terjadi perubahan gelombang otak baik frekuensi maupun amplitudonya. EEG juga seringkali digunakan di bidang neurologi, utamanya untuk mendiagnosis penyakit otak, seperti epilepsi [1][3].

Epilepsi adalah gangguan sistem saraf pusat yang disebabkan oleh letusan pelepasan muatan listrik sel saraf secara berulang-ulang, dengan gejala penurunan kesadaran, gangguan motorik, sensorik dan mental, dengan atau tanpa kejang [4]. Pada hasil penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Patrick Kwan, menunjukkan bahwa kasus epilepsi di negara maju terjadi 49/1000 dari jumlah populasi, dengan insiden 25-50/100.000 populasi/tahun, sedangkan di negara berkembang 14-57/1000 populasi, insiden 30-115/100.000 populasi/tahun [5].

Diagnosis epilepsi dapat dilakukan menggunakan EEG dengan metode seperti Entropi Permutasi, K-Means Clustering, dan Multilayer Perceptron yang diimplementasikan dalam perangkat lunak pendeteksi penyakit epilepsi [19]. Epilepsi juga dapat dideteksi melalui sinyal EEG dengan metode Singular Spectrum Analysis (SSA), Power Spectral Density (PSD), dan Convolution Neural Network (CNN) sebagai sistem deteksi EEG secara otomatis [20]. Hasil dari sinyal EEG epilepsi yang telah diketahui dapat dioptimasi menggunakan metode Particle Swarm Optimization (PSO). Hal ini dikarenakan PSO merupakan salah satu metode optimasi yang lebih baik dari metode algoritma genetik [21]. PSO juga merupakan metode optimasi yang baik untuk menemukan titik optimal pada kanal sinyal EEG karena proses optimasinya yang berkelanjutan dan memungkinkan variasi yang banyak untuk multi target [6].

Pada tugas akhir ini, penulis melakukan penelitian yang hanya terfokus pada optimasi spatial selection menggunakan metode Particle Swarm Optimization (PSO), untuk mengetahui efektivitas metode-metode tersebut pada data sinyal EEG. Dikarenakan metode spatial selection yang digabungkan dengan PSO merupakan penelitian yang masih sedikit dilakukan, sehingga penulis tidak memberikan komparasi dengan penelitian lainnya.

## **2. Dasar Teori**

### **2.1 Otak Manusia**

Sebagai pemegang peranan yang sangat penting dari bagian tubuh manusia otak tersusun dari jaringan serta bagian-bagian yang rumit serta kompleks namun secara umum terbagi atas 3, yaitu [8].

#### **2.1.1 Otak Besar**

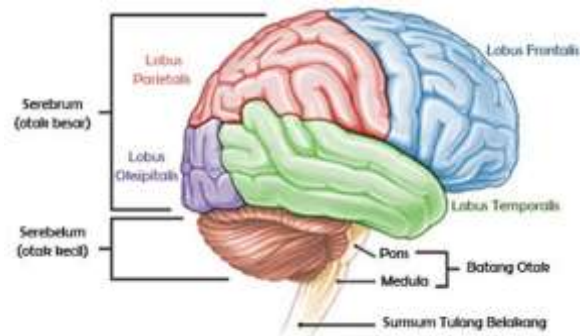
Bagian otak ini terbagi atas dua bagian yaitu kiri dan kanan, bagian otak inilah yang merupakan bagian otak terbesar dibanding bagian otak lainnya. Bagian kiri berfungsi untuk mengatur tubuh bagian kanan dan otak kanan berfungsi untuk mengatur bagian tubuh sebelah kiri, dari kedua bagian otak tersebut terbagi atas empat bagian lagi yaitu frontal, parietal, occipital, dan temporal [8].

#### **2.1.2 Otak Kecil**

Otak kecil merupakan bagian otak yang berada di bawah occipital otak besar, tepatnya dibagian belakan kepala dan berhubungan dengan leher bagian atas. Berhubungan dengan gerakan manusia, seperti pergerakan keseharian sampai kinerja otot-otot tubuh manusia. Dapat dibayangkan ketika kinerja otak kecil tidak maksimal tidak akan ada koordinasi yang baik dalam pergerakan manusia dalam menjalankan rutinitasnya sehari-hari [9]. Bagian otak ini sangat penting dalam kemampuan seseorang untuk melakukan tindakan cepat dan berulang seperti salah satu contohnya bermain game [10].

#### **2.1.3 Batang Otak**

Batang otak terletak di bagian leher atas dan memanjang hingga ke sumsum tulang belakang manusia. Bagian ini berfungsi untuk mengatur kinerja dasar manusia seperti, bernafas, proses denyut jantung, proses kinerja ginjal, dan hal hal vital lainnya. Ketika batang otak mengalami kerusakan seseorang dapat dikatakan mati biologis karena sudah tidak dapat bergerak sebagaimana manusia normal lainnya.



Gambar 1. Bagian otak manusia [14]

## 2.2 Epilepsi

Epilepsi adalah suatu gangguan pada sistem saraf otak manusia karena terjadinya aktivitas yang berlebihan dari sekelompok sel neuron pada otak sehingga menyebabkan berbagai reaksi pada tubuh manusia mulai dari bengong sesaat, kesemutan, gangguan kesadaran, kejang – kejang dan atau kontraksi otot. Epilepsi sering juga disebut ayan atau sawan [11]. Di dalam otak manusia terdapat neuron atau sel-sel saraf yang merupakan bagian dari sistem saraf. Tiap sel saraf saling berkomunikasi dengan menggunakan impuls listrik. Pada kasus epilepsi, kejang terjadi ketika impuls listrik tersebut dihasilkan secara berlebihan sehingga menyebabkan perilaku atau gerakan tubuh yang tidak terkendali [12]. Pada tugas akhir ini data yang diambil merupakan data sinyal Elektroensefalografi (EEG) manusia yang menderita penyakit epilepsi dari Temple University Hospital.

## 2.3 Brain Computer Interface (BCI)

Brain Computer Interface (BCI) adalah sistem yang memungkinkan manusia untuk memanfaatkan sinyal yang dibangkitkan oleh otak untuk mengirim perintah ke komputer atau mesin. Tujuan sistem ini adalah untuk membantu manusia yang memiliki kelainan fisiologi atau cacat fisik yang berhubungan dengan sistem saraf motorik. Dengan kata lain, teknologi BCI merupakan teknik pengendalian suatu perangkat dengan menggunakan pikiran.

Pada awal pendesainan BCI, sistem ini diharapkan dapat digunakan untuk sarana komunikasi bagi penderita lumpuh total, untuk rehabilitasi, dan bisa juga dimanfaatkan untuk teknik kendali dalam game komputer. Sebuah sistem BCI terdiri dari pengukuran sinyal otak, dan kemudian dilakukan sistem pengolahan sinyal otak tersebut untuk mendeteksi pola-pola unik yang akan diterjemahkan menjadi perintah, seperti pola otak saat rileks [21].

## 2.4 Elektroensefalogram (EEG)

Elektroensefalogram (EEG) adalah sebuah alat untuk mencatat aktivitas gelombang otak dalam kurun waktu tertentu. Penggunaan analisis EEG yang terkomputasi menghasilkan informasi aktivitas otak yang dapat digunakan untuk mendiagnosa penyakit epilepsi, alzheimer, dan sebagainya [1].

### 2.4.1 Sinyal EEG

Sinyal EEG dapat diketahui dengan menggunakan elektroda yang dilekatkan pada kepala. Tegangan sinyalnya berkisar 2 sampai 200  $\mu\text{V}$ , tetapi umumnya 50  $\mu\text{V}$ . Frekuensinya bervariasi tergantung pada tingkah laku. Daerah frekuensi EEG yang normal rata-rata dari 0,1 Hz hingga 100 Hz, tetapi biasanya antara 0,5 Hz hingga 70 Hz. Variasi dari sinyal EEG yang terkait dengan frekuensi dan amplitudo mempengaruhi diagnostik. Daerah frekuensi EEG dapat diklasifikasikan menjadi lima bagian untuk analisis EEG, yaitu Delta ( $\delta$ ) pada 0,5 – 4 Hz, Theta ( $\theta$ ) pada 4 – 8 Hz, Alpha ( $\alpha$ ) pada 8 – 13 Hz, Beta ( $\beta$ ) pada 13 – 22 Hz, dan Gamma ( $\gamma$ ) pada 22 – 30 Hz [3].

### 2.4.2 Karakteristik Sinyal EEG

#### 1. Non-linearity

Otak adalah sistem non-linear yang sangat kompleks di mana perilaku chaotic ansambel saraf dapat dideteksi.

#### 2. Non-stationarity

Non-stationary berasal dari perubahan terus menerus pada sinyal yang digunakan dalam waktu yang lama dalam sesi perekaman. Kondisi mental dan emosional melalui sesi yang berbeda juga dapat mempengaruhi variabilitas sinyal EEG yang dihasilkan. Sehingga tingkat kelelahan dan konsentrasi otak dianggap sebagai bagian dari faktor non-stationary internal.

#### 3. Noise

Kontributor yang dihadapkan pada teknologi BCI dapat menyebabkan masalah non-stasioner. Termasuk sinyal yang tidak diinginkan yang disebabkan oleh perubahan penempatan elektroda dan kebisingan pada lingkungan.

### 2.4.3 Kanal EEG

EEG direkam secara serempak dari sebuah susunan yang terdiri atas banyak elektroda. Elektroda dihubungkan untuk memisahkan amplifier dan sistem penulisan. Mesin EEG komersial dapat memiliki sampai 32 kanal, walaupun 8 atau 16 kanal lebih umum. Satu pasang dari elektroda biasanya membentuk satu kanal dimana alat perekam EEG sangat bergantung pada hal ini dan EEG dapat membentuk 8 – 40 kanal yang terekam secara paralel. Ini disebut alat perekam EEG multichannel [3].

Pada tugas akhir ini, sinyal EEG direkam menggunakan beberapa generasi teknologi perekaman NicoleTM EEG yang tergabung dalam Natus Medical. Sinyal mentah yang diperoleh dari penelitian terdiri dari rekaman yang bervariasi antara 20 dan 120 data saluran dengan minimum 250 Hz menggunakan A/D konverter 16 bit. Data disimpan dalam bentuk yang paten yang telah diekspor ke dalam bentuk EDF menggunakan NicVue v5.71.4.2530. File EDF ini berisikan header dengan informasi metadata yang terdistribusi ke dalam 23 fields yang berisikan informasi pasien dan kondisi sinyal, seperti amplitudo maksimum dari sinyal yang telah disimpan di setiap kanal [7].



Gambar 2. Elektroensefalogram (EEG) [23]

## 2.5 Seleksi Kanal EEG

Pengambilan data sinyal otak menggunakan alat EEG cenderung memakai biaya yang lebih rendah, sehingga penelitian sinyal otak menggunakan EEG semakin banyak dilakukan dan terus berkembang. Hal ini juga berdampak pada algoritma seleksi kanal pada sinyal EEG. Dalam pengambilan data sinyal EEG, umumnya sinyal yang diperoleh berbentuk multikanal. Sehingga diperlukan seleksi kanal untuk menentukan kanal terbaik pada sinyal tersebut yang dapat digunakan untuk penelitian lebih lanjut [15]. Salah satu cara untuk melakukan seleksi kanal pada sinyal EEG yaitu dengan menggunakan metode spatial selection.

### 2.5.1 Spatial Selection

Spatial selection adalah sebuah metode penyeleksian kanal pada sinyal EEG untuk mencari kanal terbaik. Seleksi kanal EEG ini bertujuan untuk mengetahui seberapa banyak kanal yang aktif beserta dengan akurasi. Metode ini dapat membedakan kelas-kelas secara efektif dengan mengekstraksi fitur-fitur yang terdapat pada sinyal EEG [22]. Algoritma di dalamnya sensitif terhadap outlier karena melibatkan estimasi matriks kovarians [22]. Metode ini juga sensitif terhadap noise sehingga kanal yang mengandung noise dapat dianggap sebagai kanal aktif [16]. Oleh karena itu dapat dilakukan optimasi lebih lanjut pada kanal sinyal EEG tersebut dengan salah satu cara menggunakan PSO.

## 2.6 Particle Swarm Optimization (PSO)

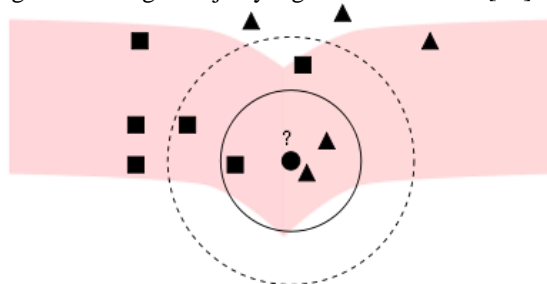
Particle Swarm Optimization adalah bentuk algoritma yang dikembangkan oleh James Kennedy dan Russell Eberhart pada tahun 1995. Algoritma ini diinspirasi oleh perilaku sosial sekelompok kawanan seperti burung, ikan, semut, rayap yang memiliki kecerdasan masing-masing dan kecerdasan kelompok. Kasarnya, perilaku dari masing-masing kawanan seperti burung, ikan ataupun kumpulan partikel, pasti akan melewati suatu keadaan ketika mereka dapat mengingat kembali posisi, kondisi, maupun keadaan terbaik dari masing-masing obyek tersebut. Apabila salah satu anggota kawanan mendapatkan posisi terbaik yang paling mendekati dengan sumber makanan contohnya, maka otomatis anggota kawanan lainnya akan mengikuti dan mendekati posisi terbaik tersebut. Penting untuk menyebutkan bahwa PSO tidak menggunakan Gradient

Descent, sehingga dapat digunakan untuk masalah non linier dan tidak mengharuskan masalah tersebut harus dapat dibedakan [6][13].

Dalam algoritma PSO, setiap kali suatu partikel mendapatkan posisi terbaik yang diperolehnya, maka inilah yang disebut kecerdasan personal, atau Pbest. Ketika informasi mengenai posisi terbaik ini sampai pada partikel lainnya, dan partikel lainnya mengikutinya, maka hal ini disebut kecerdasan kelompok, atau Gbest. Algoritma PSO memungkinkan kondisi suatu kelompok partikel bergerak secara acak dari posisi awalnya kemudian secara terpisah mencari posisi terbaik yang dapat dicapai oleh masing-masing partikel tersebut, dan melaporkannya pada semua anggota kelompok. Rumusan dari permasalahan ini adalah

**2.7 K-Nearest Neighbor (K-NN)**

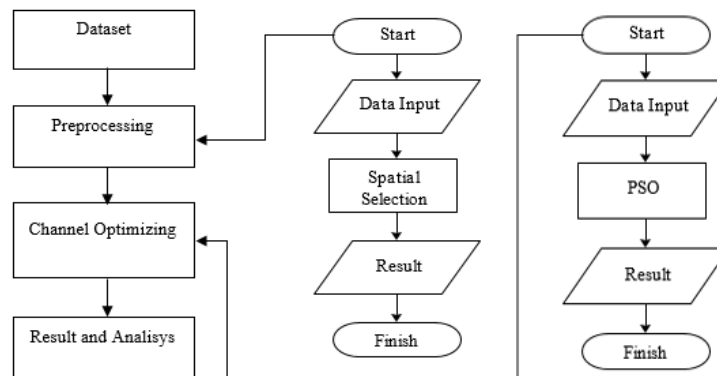
Algoritma K-NN merupakan sebuah metode untuk melakukan klasifikasi terhadap suatu objek berdasarkan data pembelajaran dan data latih yang jaraknya paling mendekati dengan objek tersebut. Data ini dipresentasikan dengan ukuran jarak, sehingga kemudian dapat diolah kedalam bentuk matematis. Data latih dengan jarak terdekat akan diurutkan sampai jarak yang terjauh. Data dapat berbeda satu sama lain ataupun ada yang sejenis dengan jumlah terbanyak di antara K terdekat adalah data yang sesuai dengan objek yang diklasifikasikan [18].



Gambar 3. Model k-nearest neighbor [18]

Pada gambar yang diperlihatkan diatas, dimisalkan  $k = 3$  dapat dilihat dari 3 tetangga terdekat, data latih dengan ciri segi tiga memiliki jumlah yang paling banyak. Maka data uji dapat diklasifikasikan ke dalam data latih segi tiga. Perhitungan K-NN yang paling sering digunakan adalah *Euclidian Distance*.

**3. Pembahasan**



Gambar 4. Diagram alir keseluruhan sistem

**3.1 Desain Sistem**

Pada gambar 4 menunjukkan diagram alir dari desain sistem. Data sinyal EEG yang ada mengalami preprocessing yang dalam proses ini, data masukan akan diseleksi menggunakan metode spatial selection. Data keluaran dari spatial selection akan dioptimasi menggunakan PSO untuk menentukan kanal yang paling optimal pada sinyal EEG. Setelah mendapatkan data, kemudian dilakukan pengujian dengan data target yang merepresentasikan kanal optimal dari setiap data data. Hasil dari pengujian tersebut menjadi bahan untuk proses komparasi berupa skema kanal dari kanal sebelum dan sesudah dioptimasi, dari hasil ini selanjutnya akan dilakukan analisis.



### 3.1.1 Sinyal EEG

Sinyal EEG sebagai input yang akan diolah terdiri dari 5 data data. Format data mentah yang akan diolah tersebut adalah European Data Format (EDF) dan akan dikonversi ke dalam bentuk (.mat). Dataset didapatkan dari Temple archive.physionet.org. Dataset yang digunakan merupakan tipe data sinyal EEG epilepsi dengan skema penempatan elektroda sistem EEG 23 kanal.

### 3.1.2 Preprocessing

Tahap preprocessing berisi proses seleksi kanal data mentah menggunakan spatial selection dari sinyal EEG. Preprocessing merupakan proses menyeleksi kanal terbaik dari 23 kanal yang ada untuk menentukan kanal-kanal yang paling optimal dari seluruh kanal yang ada. Selanjutnya kanal yang telah didapatkan akan dioptimasi menggunakan particle swarm optimization (PSO).

### 3.1.3 Optimasi Seleksi Kanal

Dalam tahap ini, pengolahan data akan terdiri dari data hasil proses spatial selection dan metode Particle Swarm Optimization (PSO). Sinyal EEG dalam tahap Preprocessing yang terdiri dari multikanal akan diseleksi menggunakan metode spatial selection. Penyeleksian ini bertujuan untuk mengambil kanal sinyal dari data sinyal EEG sesuai dengan yang dibutuhkan. Setelah melakukan penyeleksian kanal, selanjutnya dilakukan optimasi menggunakan metode PSO untuk mengetahui kanal yang paling optimal pada sinyal EEG. Setelah proses ini berjalan, maka keluarannya adalah data hasil dari kanal sinyal EEG yang telah dioptimasi.

### 3.1.4 Klasifikasi

Sinyal EEG yang telah terekstraksi kemudian masuk pada tahap klasifikasi. menggunakan metode K-Nearest Neighbor (K-NN). K-Nearest Neighbor merupakan metode pengukuran kemiripan yang terbilang sederhana. K-nearest neighbor bekerja berdasarkan jarak minimum dari data baru ke data training samples untuk menentukan nilai K pada 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. Jenis jarak yang diuji adalah euclidean. Dipilihnya nilai K yang ganjil agar mengurangi kesalahan algoritma jika peluang kemiripannya sama.

Klasifikasi K-NN yang digunakan untuk data latih dimulai dengan masukan data hasil ekstraksi ciri, kemudian proses menentukan nilai K yang akan digunakan. Selanjutnya menentukan jarak dari K-NN yang akan digunakan. Setelah itu dilakukan proses pelatihan data yang diambil dari folder data untuk segera diolah. Proses terakhir dilakukan pengujian data yang akan dibandingkan dengan database yang telah dibuat sebelumnya. Dengan melakukan penyesuaian data yang ada, akan diketahui hasil tingkat akurasi K-NN dalam mengklasifikasikan sinyal. Dari hasil yang didapat inilah, kesimpulan, tujuan, dan rumusan masalah dari tugas akhir ini dapat diperlihatkan.

## 3.2 Hasil Simulasi

### 3.2.1 Pengujian Iterasi

Pengujian Iterasi merupakan pengujian yang dilakukan untuk mengetahui iterasi minimum dengan hasil paling optimal berdasarkan nilai akurasi pengujian. Parameter yang digunakan pada pengujian ini adalah 5 sampel data, nilai swarm 50, dan nilai K adalah 5.

Tabel 1. Hasil pengujian iterasi

No. Data	Jumlah Iterasi	Optimal pada Iterasi ke-	Jumlah Swarm	Akurasi Pengujian (%)	Waktu Komputasi (s)
1	40	39	50	100	31.20
2	10	1	50	75	9.41
3	40	38	50	100	30.39
4	70	63	50	100	50.95
5	60	44	50	100	43.56

Hasil akurasi terbaik dengan jumlah iterasi dan waktu komputasi minimum terdapat pada iterasi 39 pada jumlah iterasi 40 untuk sampel pertama, iterasi 1 pada jumlah iterasi 10 untuk sampel kedua, iterasi 38 pada jumlah iterasi 40 untuk sampel ketiga, iterasi 63 pada jumlah iterasi 70 untuk sampel keempat, dan iterasi 44 pada jumlah iterasi 60 untuk sampel kelima. Dari pengujian iterasi ini dapat dilihat bahwa data kedua dapat dikatakan tidak relevan dengan pengujian ini karena memiliki nilai yang konstan pada 75 % pada semua jumlah iterasi yang

diujikan. Selanjutnya jumlah iterasi yang telah didapatkan pada pengujian ini akan digunakan pada pengujian swarm dan pengujian nilai K.

### 3.2.2 Pengujian Swarm

Pengujian swarm merupakan pengujian yang dilakukan untuk mengetahui jumlah swarm minimum dengan hasil paling optimal berdasarkan nilai akurasi pengujian. Parameter yang digunakan pada pengujian ini adalah nilai iterasi optimal yang didapatkan pada pengujian iterasi dari setiap sampel dengan nilai K adalah 5.

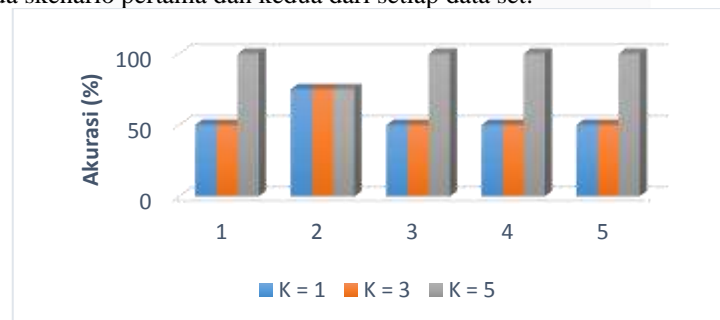
Tabel 2. Hasil pengujian *swarm*

No. Data	Jumlah Swarm	Jumlah Iterasi	Akurasi Pengujian (%)	Waktu Komputasi (s)
1	20	40	100	12.54
2	20	10	75	6.33
3	20	40	100	13.30
4	20	70	100	24.78
5	20	60	100	19.25

Hasil akurasi terbaik dengan jumlah swarm dan waktu komputasi minimum terdapat pada jumlah swarm 20 pada semua sampel. Pada pengujian swarm juga ini dapat dilihat bahwa data sampel kedua dapat dikatakan tidak relevan dengan pengujian ini karena memiliki nilai yang konstan pada 75 % dari semua jumlah iterasi yang diujikan. Selanjutnya jumlah swarm yang telah didapatkan pada pengujian ini akan digunakan pada pengujian nilai K bersama dengan nilai jumlah iterasi yang telah didapatkan pada pengujian sebelumnya.

### 3.2.3 Pengujian Nilai K

Pengujian nilai K merupakan pengujian yang dilakukan untuk mengetahui nilai K dengan hasil paling optimal berdasarkan nilai akurasi pengujian yang menggunakan nilai K 1,3, dan 5. Parameter yang digunakan pada pengujian ini adalah nilai iterasi dan nilai swarm optimal yang didapatkan pada skenario pertama dan kedua dari setiap data set.



Gambar 5. Diagram balok perbandingan pengujian nilai K

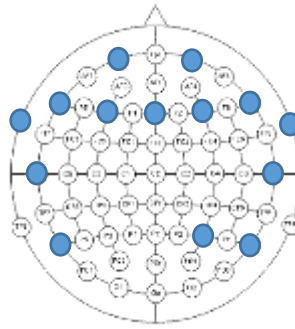
Dari perbandingan ketiga nilai K di atas, hasil akurasi terbaik ada pada nilai K = 5 untuk semua sampel dengan tingkat akurasi 100%, terkecuali pada sampel kedua yang dapat dikatakan tidak relevan untuk pengujian ini. Seluruh hasil terbaik dari ketiga pengujian di atas selanjutnya akan digunakan ke dalam pengujian terakhir yaitu optimasi kanal EEG

### 3.2.4 Seleksi dan Optimasi Kanal EEG

Sistematika dari pengujian ini diawali dengan EEG 23 kanal. Selanjutnya kanal-kanal tersebut diseleksi terlebih dahulu menggunakan spatial selection untuk menemukan kanal aktif serta akurasi awal pada EEG tersebut. Langkah terakhir jika telah ditemukan kanal-kanal yang aktif beserta akurasinya, kemudian dilakukan optimasi kanal menggunakan metode PSO untuk mengetahui kanal yang paling optimal serta peningkatan akurasi jika ada.

#### 3.2.4.1 Seleksi Kanal EEG

Seleksi kanal EEG bertujuan untuk mengetahui seberapa banyak kanal yang aktif beserta dengan akurasinya. Pada seleksi kanal ini menggunakan metode spatial selection. Hasil dari seleksi kanal ini nantinya akan disandingkan dengan metode PSO untuk mengetahui peningkatan akurasi serta jumlah kanal optimal yang tersedia.



Gambar 6. EEG setelah diseleksi menggunakan spatial selection

Dari seleksi kanal menggunakan spatial selection, dapat dilihat bahwa terdapat 14 kanal aktif yang ditemukan pada EEG tersebut. Dan untuk tingkat akurasi berada pada angka 50%.

#### 3.2.4.2 Optimasi Kanal EEG

Setelah melalui tahap seleksi kanal, langkah terakhir adalah mengoptimasi kanal-kanal tersebut untuk mencari kanal yang paling optimal. Proses ini juga bertujuan untuk mengetahui peningkatan akurasi dari sebelum dan sesudah dilakukan optimasi. Untuk optimasi kanal EEG kali ini menggunakan metode PSO.



Gambar 7. EEG setelah dioptimasi menggunakan PSO

Setelah proses optimasi dilakukan, dapat dilihat hasil seperti gambar di atas. Kanal EEG yang semula berjumlah 14 kanal aktif setelah diseleksi, mengalami pengerucutan menjadi 7 kanal yang optimal. Dari sisi akurasi juga mengalami peningkatan yang semula 50% sebelum dioptimasi, menjadi 100% setelah dioptimasi.

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan pada keempat pengujian di atas, didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada pengujian iterasi, hasil akurasi terbaik dengan jumlah iterasi minimum terdapat pada iterasi ke-38 dengan akurasi sebesar 100%.
2. Untuk pengujian nilai jumlah swarm, hasil akurasi terbaik dengan jumlah swarm dan waktu komputasi minimum terdapat pada jumlah swarm 20, dengan angka tingkat akurasi sebesar 100%.
3. Pada pengujian nilai K, dari perbandingan ketiga nilai K (1, 3, dan 5), hasil akurasi terbaik ada pada nilai K = 5 dengan angka tingkat akurasi sebesar 100%.
4. Sistem seleksi kanal EEG pada penelitian ini yang menggunakan metode spatial selection, terbukti dapat menyeleksi kanal EEG dengan baik. Hal tersebut dapat dilihat dari pengerucutan jumlah kanal yang sebelum diseleksi berjumlah 23 kanal hingga setelah diseleksi menggunakan spatial selection menjadi 14 kanal yang aktif. Tingkat akurasi rata-rata dari kanal yang telah diseleksi adalah sebesar 50%.
5. Untuk sistem optimasi kanal pada pengujian ini menggunakan metode particle swarm optimization (PSO) juga terbukti berhasil mengoptimasi kanal EEG. Hal tersebut terbukti dari jumlah kanal sebanyak 14 kanal aktif dengan rata-rata tingkat akurasi 50% hasil seleksi kanal menggunakan spatial selection, menjadi 7 kanal yang optimal dengan rata-rata tingkat akurasi sebesar 100% setelah dioptimasi menggunakan PSO.



## Referensi

- [1] D. Kartika, "Info Biaya Pemeriksaan Electroencefalografi (EEG) di Rumah Sakit," 2017. [Online]. Available: <https://harga.web.id/info-biayapemeriksaan-electroencefalografi-eeg-di-rumah-sakit.info>. [Diakses Senin September 2019].
- [2] I. Wijayanto, A. Rizal, and S. Hadiyoso, "Multilevel Wavelet Packet Entropy and Support Vector Machine for Epileptic EEG Classification," *2018 4th Int. Conf. Sci. Technol.*, vol. 1, pp. 9–14, 2018.
- [3] N. Nawir, "ELECTROENCEPHALOGRAM," 2011. [Online]. Available: [www.unhas.ac.id](http://www.unhas.ac.id)
- [4] D. T. Wahyuni, "RESIKO KEJANG BERULANG PADA An.P DENGAN ETOF (EPILEPSY TREGERED OF FEVER) DI IRNA CEMPAKA RUMAH SAKIT UMUM DAERAH dr.R.GOETENG TAROENADIBRATA PURBALINGGA," 2014. [Online]. Available: <http://repository.ump.ac.id/2331/>
- [5] Sinta, "Epilepsi," [Online]. Available: [https://sinta.unud.ac.id/uploads/dokumen\\_dir/dfb7c7ae0e309c5065e8c979cf2aca51.pdf](https://sinta.unud.ac.id/uploads/dokumen_dir/dfb7c7ae0e309c5065e8c979cf2aca51.pdf)
- [6] I. Macedo, "Implementing the Particle Swarm Optimization (PSO) Algorithm in Python," 2018. [Online]. Available: <https://medium.com/analytics-vidhya/implementing-particle-swarm-optimization-pso-algorithm-in-python-9efc2eb179a6>
- [7] A. Harati, S. López, I. Obeid, and J. Picone, "THE TUH EEG CORPUS : A Big Data Resource for Automated EEG Interpretation," *Signal Process. Med. Biol. Symp.*, 2014.
- [8] R. Sternberg, *Cognitive Psychology*, Belmont, California: Thomson Wadsworth, 2006.
- [9] J. Aminoff dan M. D. Michael, *ELECTRODIAGNOSIS IN CLINICAL NEUROLOGY* Fourth Edition., United States of America: Churchill Livingstone, 1999.
- [10] "Brain Wave Signal" neuro sky, 2009
- [11] S. Gumilar, "Tanda - tanda penyakit epilepsi," 2012. [Online]. Available: <http://penyakitayan.com/tanda-tanda-penyakit-epilepsi/>.
- [12] D. Marianti, "Pengertian epilepsi," 2016. [Online]. Available: <http://www.alodokter.com/epilepsi>.
- [13] M. A. Bobihu, "OPTIMASI POTENSIAL PASANGAN MENGGUNAKAN ALGORITMA PARTICLE SWARM OPTIMIZATION (PSO) DAN PENGARUHNYA TERHADAP BILANGAN OKUPASI NEUTRON PADA ISOTOP Tin," 2014.
- [14] Otak Manusia, [Online]. Available: <https://a51.blogspot.com/2019/01/seputar-organ-otak-dan-segala-kemampuan.html>. [Diakses Kamis September 2019].
- [15] T. Alotaiby, F. E. A. El-Samie, S. A. Alshebeili, I. Ahmad, "A Review of Channel Selection Algorithms for EEG Signal Processing," *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, 2015.
- [16] H. Fauzi, M. I. Shapii, R. Yusof, G. B. Remijn, N. A. Setiawan, Z. Ibrahim, "The Design of Spatial Selection Using CUR Decomposition to Improve Common Spatial Pattern for Multitrial EEG Classification," *Asian Simulation Conference: Modeling, Design and Simulation of Systems*, pp 428-442, 2017.
- [17] T. Y. Akasyah, "Brain Computing: Penggunaan Gelombang Otak dalam Teknologi Kesehatan," 2014. [Online]. Available: <https://www.itb.ac.id/news/read/4402/home/brain-computing-penggunaan-gelombang-otak-dalam-teknologi-kesehatan>.
- [18] H. Ahmad, W. Inung dan H. Sugondo, "Analisis Perbandingan Pola Sinyal Alfa an Beta EEG untuk Klasifikasi Kondisi Rileks pada Perokok Aktif dengan Menggunakan K-Nearest Neighbor," *Telkom University*, 2017.
- [19] N. B. Aji, H. Tjandrasa, "KLASIFIKASI EEG EPILEPSI MENGGUNAKAN SINGULAR SPECTRUM ANALYSIS, POWER SPECTRAL DENSITY DAN CONVOLUTION NEURAL NETWORK," *JUTI: Jurnal Ilmiah Teknologi Informasi - Volume 15, Nomor 2*, 2017.
- [20] S. B. Sakur, H. Tjandrasa, "KLASIFIKASI AKTIVITAS MENTAL BERDASARKAN DATA EEG MENGGUNAKAN METODE HIBRIDNEURAL NETWORK DAN FUZZY PARTICLE SWARM OPTIMIZATION DENGAN CROSSMUTATED OPERATION," *JUTI: Jurnal Ilmiah Teknologi Informasi – Volume 14, Nomor 1*, 2016.
- [22] X. Yong, R. K. Ward, G. E. Birch, "Robust Common Special Patterns for EEG Signal Preprocessing," *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc*, 2008.
- [23] T. Freeman, "EEG can look deep into the brain" 2019. [Online]. Available: <https://physicsworld.com/a/eeg-can-look-deep-into-the-brain>. [Diakses Kamis September 2019]