

**SKRIPSI**

**SISTEM KLASIFIKASI GELOMBANG OTAK BERBASIS K-  
NEAREST NEIGHBORS PADA KENDALI GERAK ROBOT  
HUMANOID**

**Disusun dan diajukan oleh :**

**IHSAN A MANSUR**

**D041181503**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK ELEKTRO**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**GOWA**

**2024**

**LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI**

**SISTEM KLASIFIKASI GELOMBANG OTAK BERBASIS K-NEAREST  
NEIGHBORS PADA KENDALI GERAK ROBOT HUMANOID**

Disusun dan diajukan oleh:

**IHSAN A MANSUR**

**D041 18 1503**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka penyelesaian studi Program Sarjana Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin  
Pada Tanggal 15 Juli 2024  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing I,

Pembimbing II,

Muh. Anshar, S.T., M.Sc (Research), Ph.D

Dr. A. Ejah Umraeni Salam, S.T., M.T.

NIP. 19770817200501 1 003

NIP. 19691026 199412 2 001

Ketua Departemen Teknik Elektro,



Dr. Eng. Ir. Dewiani, M.T.

NIP. 19691026 199412 2 001

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Ihsan A Mansur  
NIM : D041181503  
Program Studi : Teknik Elektro  
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul:

### SISTEM KLASIFIKASI GELOMBANG OTAK BERBASIS K-NEAREST NEIGHBORS PADA KENDALI GERAK ROBOT HUMANOID

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambil alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitnya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklasifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 16 Agustus 2024

Menyatakan



Ihsan A Mansur

## ABSTRAK

**IHSAN A MANSUR.** *Sistem Klasifikasi Gelombang Otak Berbasis K-Nearest Neighbor Pada Kendali Gerak Robot Humanoid* (dibimbing oleh Muh Anshar dan A. Ejah Umraeni Salam)

Peningkatan teknologi dalam bidang robotika telah memajukan industri dan masyarakat modern secara luas. Pemanfaatan robotika dalam kehidupan sehari-hari memberikan manfaat yang besar, mulai dari penggunaan robot sebagai pelayan hingga aplikasi dalam dunia medis. Salah satu kemajuan signifikan dalam teknologi ini adalah penggunaan neurosains, pengolahan sinyal, pembelajaran mesin, dan robotika untuk mengendalikan gerakan robot melalui sinyal otak manusia. Walaupun setiap individu memiliki pola gelombang otak yang unik, teknologi ini menggunakan teknik pengolahan sinyal dan pembelajaran mesin untuk mengklasifikasikan pola tersebut agar dapat dipahami oleh sistem. Meskipun demikian, pengendalian berbasis gelombang otak ini sering menghadapi tantangan seperti waktu respon yang lambat dan kurangnya akurasi klasifikasi, yang terdokumentasi dalam penelitian sebelumnya. Untuk mengatasi ini, penelitian ini mengusulkan model yang memperbaiki waktu dan akurasi dengan menambahkan sistem klasifikasi *k-nearest neighbor*. Dua jenis pengujian akan dilakukan dalam penelitian ini yaitu pengujian waktu untuk gerakan ke depan, ke belakang, ke kanan, dan ke kiri, serta pengujian akurasi klasifikasi dengan subjek memikirkan arah gerakan robot secara berulang selama 20 kali untuk empat arah yang berbeda. Dari pengujian tersebut didapatkan hasil berupa, pada pengukuran waktu untuk arah gerak ke depan, ke belakang, ke kanan, dan ke kiri didapatkan 45 detik, 1 menit 13 detik, 1 menit 12 detik, dan 57 detik lebih cepat dari penelitian sebelumnya dengan akurasi meningkat sebanyak 26,66%.

Kata Kunci: gelombang otak, *k-nearest neighbor*, robot

## ABSTRACT

**IHSAN A MANSUR.** *Brain Wave Classification System Based on K-Nearest Neighbor for Humanoid Robot Motion Control* (Supervised by Muh Anshar dan A. Ejah Umraeni Salam)

The advancement of technology in robotics has greatly propelled both industries and modern society at large. The utilization of robotics in daily life brings significant benefits, ranging from using robots as assistants to applications in the medical field. One notable advancement in this technology is the integration of neurosciences, signal processing, machine learning, and robotics to control robot movements through human brain signals. Despite each individual having a unique brain wave pattern, this technology employs signal processing techniques and machine learning to classify these patterns for system interpretation. However, brainwave-based control often faces challenges such as slow response times and classification inaccuracies, as documented in previous studies. To address this, the research proposes a model that enhances both response time and accuracy by incorporating a k-nearest neighbor classification system. Two types of tests will be conducted in this study: timing tests for forward, backward, right, and left movements, and accuracy tests for classification, where subjects will repeatedly consider robot movement directions for four different directions over 20 iterations. From these tests, the results show improvements. In the timing measurements for forward, backward, right, and left movements, times were recorded as 45 seconds, 1 minute 13 seconds, 1 minute 12 seconds, and 57 seconds faster than the previous study, with accuracy increasing by 26.66%.

Keyword: brain wave, *k-nearest neighbor*, robot

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	i
PERNYATAAN KEASLIAN .....	ii
ABSTRAK .....	iii
ABSTRACT .....	iv
DAFTAR ISI .....	v
DAFTAR GAMBAR .....	vii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR LAMPIRAN .....	x
KATA PENGANTAR.....	xi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar belakang .....	1
1.2 Rumusan masalah.....	2
1.3 Tujuan penelitian .....	2
1.4 Manfaat penelitian .....	3
1.5 Batasan masalah .....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	4
2.1 Gelombang Otak.....	4
2.2 <i>Degree of freedom</i> .....	6
2.3 K-Nearest Neighbor.....	7
2.4 Penelitian Terkait.....	10
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	13
3.1 Rancangan Penelitian .....	13
3.1.1 Perancangan Secara Umum .....	13
3.1.2 Perancangan Perangkat Keras.....	13
3.1.3 Perancangan Perangkat Lunak.....	15
3.2 Waktu dan Lokasi Penelitian .....	27
3.3 Alat dan Bahan .....	27
3.4 Variasi Pengujian .....	27
3.5 Prosedur Pengujian.....	28
3.5.1 Pengujian Waktu Proses Klasifikasi .....	28
3.5.2 Pengujian Ketepatan Klasifikasi.....	28

3.6 Tahapan Penelitian.....	28
<b>BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>30</b>
4.1 Hasil Pengujian Waktu Proses Klasifikasi.....	30
4.1.1 Hasil Pengujian Waktu Proses Klasifikasi Gerakan Ke Depan .....	30
4.1.2 Hasil Pengujian Waktu Proses Klasifikasi Gerakan Ke Belakang.....	31
4.1.3 Hasil Pengujian Waktu Proses Klasifikasi Gerakan Ke Kanan .....	31
4.1.4 Hasil Pengujian Waktu Proses Klasifikasi Gerakan Ke Kiri .....	32
4.2 Hasil Pengujian Ketepatan Klasifikasi .....	32
4.3 Analisis Metode K-Nearest Neighbor .....	34
4.3.1 Gelombang Otak Ketika Robot Bergerak Ke Depan.....	34
4.3.2 Gelombang Otak Ketika Robot Bergerak Ke Belakang .....	38
4.3.3 Gelombang Otak Ketika Robot Bergerak Ke Kanan.....	42
4.3.4 Gelombang Otak Ketika Robot Bergerak Ke Kiri.....	46
<b>BAB V PENUTUP.....</b>	<b>51</b>
5.1 Kesimpulan.....	51
5.2 Saran .....	51
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>52</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>54</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Cara kerja KNN.....	10
Gambar 2 Blok diagram perancangan secara umum.....	13
Gambar 3 Blok diagram perancangan perangkat keras.....	14
Gambar 4 Blok diagram perancangan perangkat lunak .....	15
Gambar 5 Alur kerja menentukan nilai centroid .....	17
Gambar 6 Program pengelompokan data.....	18
Gambar 7 Data mentah pada excel.....	19
Gambar 8 Program inisiasi nilai centroid.....	20
Gambar 9 Nilai centroid awal .....	20
Gambar 10 Program pengoptimalan nilai centroid .....	21
Gambar 11 Program euclidean distance.....	22
Gambar 12 Program mencari centroid dan menetapkan data poin .....	22
Gambar 13 Nilai centroid optimal.....	23
Gambar 14 Alur kerja Implementasi k-nearest neighbor .....	23
Gambar 15 Program mengirim data ke komputer.....	24
Gambar 16 Program menerima data dari mikrokontroler .....	24
Gambar 17 Hasil dari perhitungan euclidean distance.....	26
Gambar 18 Program menerima data dan menggerakkan robot.....	26
Gambar 19 Diagram alir tahapan penelitian .....	29
Gambar 20 Grafik gelombang otak delta ketika robot bergerak ke depan.....	35
Gambar 21 Grafik gelombang otak theta ketika robot bergerak ke depan.....	35
Gambar 22 Grafik gelombang otak low alpha ketika robot bergerak ke depan.....	35
Gambar 23 Grafik gelombang otak high alpha ketika robot bergerak ke depan .....	36
Gambar 24 Grafik gelombang otak low beta ketika robot bergerak ke depan.....	36
Gambar 25 Grafik gelombang otak high beta ketika robot bergerak ke depan.....	36
Gambar 26 Grafik gelombang otak low gamma ketika robot bergerak ke depan.....	37
Gambar 27 Grafik gelombang otak high gamma ketika robot bergerak ke depan .....	37
Gambar 28 Grafik gelombang otak attention ketika robot bergerak ke depan .....	37
Gambar 29 Grafik gelombang otak meditation ketika robot bergerak ke depan .....	38
Gambar 30 Grafik gelombang otak <i>delta</i> ketika robot bergerak ke belakang .....	39
Gambar 31 Grafik gelombang otak <i>theta</i> ketika robot bergerak ke belakang .....	39
Gambar 32 Grafik gelombang otak <i>low alpha</i> ketika robot bergerak ke belakang.....	39
Gambar 33 Grafik gelombang otak <i>high alpha</i> ketika robot bergerak ke belakang ...	40
Gambar 34 Grafik gelombang otak <i>low beta</i> ketika robot bergerak ke belakang.....	40
Gambar 35 Grafik gelombang otak <i>high beta</i> ketika robot bergerak ke belakang .....	40
Gambar 36 Grafik gelombang otak <i>low gamma</i> ketika robot bergerak ke belakang..	41
Gambar 37 Grafik gelombang otak <i>high gamma</i> ketika robot bergerak ke belakang.	41
Gambar 38 Grafik gelombang otak <i>attention</i> ketika robot bergerak ke belakang .....	41
Gambar 39 Grafik gelombang otak <i>meditation</i> ketika robot bergerak ke belakang ...	42



Gambar 40 Grafik gelombang otak <i>delta</i> ketika robot bergerak ke kanan .....	43
Gambar 41 Grafik gelombang otak <i>theta</i> ketika robot bergerak ke kanan .....	43
Gambar 42 Grafik gelombang otak <i>low alpha</i> ketika robot bergerak ke kanan .....	43
Gambar 43 Grafik gelombang otak <i>high alpha</i> ketika robot bergerak ke kanan .....	44
Gambar 44 Grafik gelombang otak <i>low beta</i> ketika robot bergerak ke kanan.....	44
Gambar 45 Grafik gelombang otak <i>high beta</i> ketika robot bergerak ke kanan .....	44
Gambar 46 Grafik gelombang otak <i>low gamma</i> ketika robot bergerak ke kanan.....	45
Gambar 47 Grafik gelombang otak <i>high gamma</i> ketika robot bergerak ke kanan .....	45
Gambar 48 Grafik gelombang otak <i>attention</i> ketika robot bergerak ke kanan .....	45
Gambar 49 Grafik gelombang otak <i>meditation</i> ketika robot bergerak ke kanan .....	46
Gambar 50 Grafik gelombang otak <i>delta</i> ketika robot bergerak ke kiri .....	47
Gambar 51 Grafik gelombang otak <i>theta</i> ketika robot bergerak ke kiri .....	47
Gambar 52 Grafik gelombang otak <i>low alpha</i> ketika robot bergerak ke kiri .....	47
Gambar 53 Grafik gelombang otak <i>high alpha</i> ketika robot bergerak ke kiri .....	48
Gambar 54 Grafik gelombang otak <i>low beta</i> ketika robot bergerak ke kiri.....	48
Gambar 55 Grafik gelombang otak <i>high beta</i> ketika robot bergerak ke kiri .....	48
Gambar 56 Grafik gelombang otak <i>low gamma</i> ketika robot bergerak ke kiri.....	49
Gambar 57 Grafik gelombang otak <i>high gamma</i> ketika robot bergerak ke kiri .....	49
Gambar 58 Grafik gelombang otak <i>attention</i> ketika robot bergerak ke kiri .....	49
Gambar 59 Grafik gelombang otak <i>delta</i> ketika robot bergerak ke kiri .....	50

## DAFTAR TABEL

Tabel 1 Alat dan Bahan .....	27
Tabel 2 Hasil pengujian waktu gerakan ke depan .....	30
Tabel 3 Hasil pengujian waktu gerakan ke belakang .....	31
Tabel 4 Hasil pengujian waktu gerakan ke kanan .....	31
Tabel 5 Hasil pengujian waktu gerakan ke kiri .....	32
Tabel 6 Hasil pengujian ketepatan .....	33
Tabel 7 Gelombang otak ketika robot bergerak ke depan .....	34
Tabel 8 Gelombang otak ketika robot bergerak ke belakang .....	38
Tabel 9 Gelombang otak ketika robot bergerak ke kanan .....	42
Tabel 10 Gelombang otak ketika robot bergerak ke kiri .....	46

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Grafik inisiasi <i>centroid</i> awal.....	54
Lampiran 2 Grafik pengoptimalan <i>centroid</i> .....	54
Lampiran 3 Grafik ketika ada data yang masuk.....	55
Lampiran 4 Pembacaan osiloskop ketika robot bergerak ke depan .....	55
Lampiran 5 Pembacaan osiloskop ketika robot bergerak ke belakang .....	56
Lampiran 6 Pembacaan osiloskop ketika robot bergerak ke kanan .....	56
Lampiran 7 Pembacaan osiloskop ketika robot bergerak ke kiri .....	57
Lampiran 8 Pseudocode Arduino .....	57
Lampiran 9 Pseudocode K Nearest Neighbor .....	61

## KATA PENGANTAR

Puji syukur alhamdulillah penulis panjatkan kehadiran Tuhan atas rahmat, taufik dan hidayah-Nya, sehingga penyusunan Skripsi ini dengan judul “Sistem Klasifikasi Gelombang Otak Berbasis K-Nearest Neighbor Pada Kendali Gerak Robot Humanoid” dapat diselesaikan dengan baik. Penulis menyadari bahwa selama proses penyusunan Skripsi ini mengalami beberapa kendala, namun berkat nasihat, bimbingan, bantuan dari berbagai pihak dan berkah dari Tuhan sehingga semua kendala yang ada dapat diatasi oleh penulis.

Dalam kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Keluarga yang selalu mendukung dan mendoakan penulis dalam menggapai cita-cita.
2. Bapak Muh Anshar, ST., M.Sc(Research), Ph.D selaku Dosen Pembimbing I dan Ibu Dr. A. Ejah Umraeni Salam, ST., MT. selaku Dosen Pembimbing II yang telah membantu penulis berupa arahan, bimbingan, masukan, ilmu, dan motivasi kepada penulis selama berjalannya pengerjaan Skripsi ini.
3. Prof Dr.-Ing Ir. Faizal Arya Samman, ST., MT., IPU, AseanEng, ACPE dan Ibu Ida Rachmaniar Sahali, ST., MT. selaku Dosen Penguji yang telah memberikan saran-saran untuk penulisan Skripsi ini.
4. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada seluruh dosen yang telah memberikan ilmunya selama studi, staf, dan keluarga besar Departemen Teknik Elektro Universitas Hasanuddin.
5. Rekan seperjuangan, mahasiswa Program Studi Teknik Elektro S1 Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Angkatan 2018 dengan bantuan, doa, support, dan pengalaman berharga selama masa perkuliahan.

Dengan segala kerendahan hati penulis menyadari terdapat kekurangan, untuk itu diharapkan kritik dan saran demi kesempurnaan skripsi ini. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih.

Gowa, 15 Juli 2024



Penulis

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar belakang**

Perkembangan teknologi di bidang robotika menunjang kemajuan industri dan masyarakat modern secara umum. Adanya robotika dalam kalangan masyarakat sangat membantu seperti adanya robot pelayan hingga penggunaan robotika dalam dunia medis. Dengan perkembangan teknologi yang begitu pesat merupakan hal yang menjadikan motor penggerak dalam majunya industri robotika. Perubahan ini berimbas pada mekanisme kendali yang digunakan pada robot. Mekanisme kendali gerak pada robot sebagian besar merupakan proses meniru atau imitasi dari pergerakan makhluk hidup terutama pergerakan manusia. Mengacu pada perkembangan teknologi yang menggabungkan neurosains, pengolahan sinyal, pembelajaran mesin, dan robotik untuk mengontrol gerakan robot multiplatform menggunakan sinyal gelombang otak manusia.

Sinyal gelombang otak memiliki tipikal dan karakteristik individu yang berbeda-beda, gelombang otak tidak bisa ditiru atau dibaca sehingga tidak mungkin memiliki kesamaan. Gelombang otak adalah pola aktivitas listrik yang dihasilkan oleh neuron-neuron dalam otak manusia. Pola ini dapat diukur menggunakan perangkat elektroensefalogram (EEG) dan menggambarkan keadaan mental dan emosional seseorang, seperti tingkat konsentrasi, relaksasi, atau bahkan keadaan emosi tertentu. Sinyal EEG yang dihasilkan oleh otak manusia dapat dijadikan sebagai input untuk mengendalikan gerakan robot pada berbagai platform. Ini melibatkan hubungan aktivitas otak manusia dengan gerakan fisik yang diinginkan pada berbagai jenis robot seperti robot beroda atau robot humanoid.

Dalam konteks ini, teknik pengolahan sinyal dan pembelajaran mesin digunakan untuk mengklasifikasikan pola gelombang otak dalam kategori yang dapat diinterpretasikan oleh sistem. Ini melibatkan identifikasi pola-pola tertentu dalam sinyal EEG yang mengindikasikan niat atau perintah tertentu dari individu. Algoritma *k-nearest neighbor* digunakan untuk

mengelompokkan data berdasarkan kemiripan atribut. Dalam konteks ini, *k-nearest neighbor* digunakan untuk mengklasifikasikan sinyal EEG ke dalam kategori-kategori yang sesuai dengan tujuan kontrol robot. Dimana setiap kelompoknya dapat mewakili dari perintah seperti bergerak maju, berhenti, atau putar ke kanan.

Dengan memadukan pembacaan EEG pada gelombang otak dan berbagai jenis gerakan robot dapat menciptakan antarmuka otak-robot yang inovatif. Tujuannya adalah untuk membuka potensi baru dalam kontrol robot dengan memanfaatkan gelombang otak manusia sebagai input kontrol.

## 1.2 Rumusan masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka dapat di rumuskan masalah sebagai berikut:

- a. Bagaimana memanfaatkan gelombang otak menjadi sistem kendali gerak robot ?
- b. Bagaimana mengimplementasikan metode *k-nearest neighbor* untuk mengklasifikasikan gerakan robot *humanoid* ?
- c. Bagaimana akurasi dan waktu yang dibutuhkan dari sistem klasifikasi *k-nearest neighbor* dalam mengendalikan robot *humanoid* ?

## 1.3 Tujuan penelitian

Tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah :

- a. Menganalisa kinerja pembelajaran robot dalam menunjukkan pengendalian gerakan berdasarkan gelombang otak manusia ketika mempertimbangkan arah gerakan yang diinginkan.
- b. Mengimplementasikan klasifikasi *k-nearest neighbor* yang bertujuan untuk menggerakkan robot *humanoid*.
- c. Menganalisis kinerja gerak robot pada waktu dan akurasi menggunakan *k-nearest neighbor*.

#### **1.4 Manfaat penelitian**

Manfaat dari penelitian ini adalah :

- a. Penggunaan gelombang otak sebagai metode kontrol memungkinkan operasi robot tanpa perlu sentuhan fisik atau perintah suara, sangat berguna dalam situasi dimana penggunaan tangan atau suara tidak mungkin dilakukan
- b. Sistem ini bisa membantu dalam bidang rehabilitasi, membantu pasien dengan gangguan motorik untuk mengoperasikan prostetik atau alat bantu lainnya menggunakan sinyal gelombang otak
- c. Menggunakan gelombang otak untuk mengontrol robot dapat memberikan wawasan baru tentang cara kerja otak manusia, terutama dalam hal pemrosesan dan transmisi sinyal.

#### **1.5 Batasan masalah**

Adapun batasan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Pengujian hanya dibatasi pada robot *humanoid*
- b. Gerakan robot hanya pada gerakan *upper limb* dengan tingkat *dof*.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Gelombang Otak

Ada lima gelombang otak utama yang dibedakan berdasarkan rentang frekuensinya yang berbeda. Rentang frekuensi ini, dari yang rendah hingga tinggi, berturut-turut disebut sebagai *alpha* ( $\alpha$ ), *theta* ( $\theta$ ), *beta* ( $\beta$ ), *delta* ( $\delta$ ), dan *gamma* ( $\gamma$ ) (Senai, 2013).

Gelombang *delta*, yang frekuensinya berkisar antara 0,5 hingga 4 Hz, umumnya dikaitkan dengan tidur dalam dan bisa juga terjadi saat seseorang terjaga. Sering terjadi kekeliruan di mana sinyal artefak dari otot leher dan rahang yang besar dianggap sebagai respons delta. Hal ini terjadi karena otot-otot tersebut letaknya dekat permukaan kulit sehingga menghasilkan sinyal yang kuat, sementara sinyal yang sebenarnya diminati berasal dari jauh di dalam otak dan menjadi sangat lemah ketika melewati tengkorak. Akan tetapi, dengan menerapkan teknik analisis sinyal dasar pada EEG, bisa dengan mudah dibedakan kapan respons disebabkan oleh gerakan berlebihan. (Senai, 2013).

Di sisi lain, Gelombang *theta* memiliki rentang frekuensi 4 hingga 7,5 Hz. Nama "theta" bisa jadi dipilih karena diduga berasal dari talamus. Gelombang ini muncul saat seseorang mulai merasa mengantuk. Gelombang Theta dihubungkan dengan akses ke pikiran bawah sadar, inspirasi kreatif, dan meditasi yang dalam. Gelombang theta seringkali muncul bersamaan dengan frekuensi lain dan berkaitan dengan tingkat kesadaran seseorang. Telah diketahui bahwa para penyembuh dan meditator yang berpengalaman seringkali memiliki gelombang alpha yang frekuensinya menurun secara bertahap seiring waktu. Gelombang theta sangat penting pada masa bayi dan anak-anak. Adanya gelombang theta dalam jumlah besar pada orang dewasa yang terjaga dapat menandakan adanya gangguan patologis. Perubahan ritme gelombang theta juga diteliti dalam studi tentang perkembangan dan emosi (Senai, 2013).

Gelombang *alpha* terdeteksi di bagian belakang kepala, terutama di wilayah oksipital otak, dan dapat diobservasi di seluruh lobus posterior otak. Frekuensi gelombang Alpha berkisar antara 8–13 Hz, biasanya muncul dalam



bentuk sinyal bulat atau sinusoidal. Namun, dalam beberapa kasus yang jarang terjadi, gelombang Alpha dapat muncul sebagai gelombang tajam, dengan komponen negatif yang tajam dan komponen positif yang bulat, serupa dengan gelombang mu rolandik ( $\mu$ ). Gelombang Alpha sering dianggap menandakan kesadaran yang santai tanpa perhatian atau konsentrasi yang aktif. Irama ini merupakan salah satu yang paling dominan dalam aktivitas otak dan mungkin memiliki jangkauan yang lebih luas dari yang diperkirakan sebelumnya. Puncaknya sering terlihat dalam rentang gelombang beta, bahkan hingga 20 Hz, menunjukkan karakteristik lebih mirip gelombang Alpha daripada Beta. Sering kali, respons pada 75 Hz terlihat dalam konteks Alpha. Kebanyakan subjek menghasilkan gelombang Alpha saat mata tertutup, sehingga dianggap sebagai pola menunggu atau scanning dari daerah visual otak. Gelombang ini berkurang atau hilang dengan membuka mata, mendengarkan suara yang tidak dikenal, kecemasan, atau dengan konsentrasi atau perhatian mental. Albert Einstein dikatakan mampu menyelesaikan masalah matematika kompleks dalam keadaan Alpha, meski gelombang beta dan theta juga sering hadir. Gelombang Alpha memiliki amplitudo yang lebih tinggi di area oksipital dengan amplitudo normal kurang dari 50  $\mu$ V. Asal usul dan signifikansi fisiologis gelombang Alpha masih belum sepenuhnya dipahami dan memerlukan penelitian lebih lanjut untuk memahami bagaimana fenomena ini berasal dari sel-sel kortikal (Senai, 2013).

Gelombang *beta* merupakan aktivitas listrik otak dengan rentang 14–26 Hz (dalam beberapa sumber tidak ada batas atas yang ditentukan). Gelombang Beta adalah ritme bangun otak yang umum, terkait dengan pemikiran aktif, perhatian yang fokus pada dunia luar, atau penyelesaian masalah konkrit, dan biasa ditemukan pada orang dewasa normal. Gelombang Beta tingkat tinggi bisa terjadi ketika seseorang dalam keadaan panik. Aktivitas beta ritmis utamanya terjadi di atas wilayah frontal dan sentral. Penting untuk dicatat bahwa ritme beta sentral terkait dengan ritme mu rolandik dan dapat dihambat oleh aktivitas motorik atau stimulasi taktil. Amplitudo ritme beta biasanya di bawah 30  $\mu$ V. Sama seperti ritme mu, gelombang beta juga bisa meningkat akibat cacat tulang dan di sekitar area tumor (Senai, 2013).

Frekuensi di atas 30 Hz, umumnya hingga 45 Hz, termasuk dalam rentang *gamma* (kadang disebut sebagai gelombang beta cepat). Meski amplitudo ritme ini sangat rendah dan jarang terjadi, deteksi ritme ini bisa digunakan untuk mengonfirmasi beberapa penyakit otak. Area dengan frekuensi EEG tinggi dan aliran darah otak tertinggi (serta asupan oksigen dan glukosa) berlokasi di wilayah frontosentral. Rentang gelombang *gamma* juga telah terbukti sebagai indikator yang baik untuk sinkronisasi terkait peristiwa (ERS) otak dan dapat digunakan untuk menunjukkan lokasi gerakan jari indeks kanan dan kiri, jari kaki kanan, dan area yang luas dan bilateral untuk gerakan lidah (Senai, 2013).

## ***2.2 Degree of freedom***

Dalam menentukan posisi suatu titik dalam ruang, seseorang memerlukan tiga koordinat, seperti koordinat  $x$ ,  $y$ , dan  $z$ , yang berada di sepanjang tiga sumbu Kartesius. Tiga koordinat ini diperlukan dan cukup untuk secara lengkap menetapkan lokasi sebuah titik. Walaupun ada berbagai sistem koordinat yang bisa digunakan untuk menyampaikan informasi ini, penggunaan sistem koordinat adalah esensial. Namun, penggunaan dua atau empat koordinat tidak praktis; dua koordinat tidak memadai untuk menentukan posisi dalam ruang, dan empat koordinat akan memberikan informasi berlebih. Sama halnya, dalam kasus sebuah perangkat tiga dimensi dengan tiga derajat kebebasan dalam ruang kerjanya, perangkat tersebut harus bisa ditempatkan di lokasi mana pun sesuai keinginan. Sebagai contoh, sebuah derek gantry yang beroperasi pada sumbu  $x$ ,  $y$ , dan  $z$  mampu memindahkan bola ke lokasi mana pun dalam ruang kerjanya sesuai arahan operator. Karenanya, robot memerlukan 6 derajat kebebasan untuk secara efektif menempatkan dan mengorientasikan objek dalam ruang kerjanya. Robot dengan 6 derajat kebebasan mampu menempatkan objek pada lokasi dan orientasi apa pun yang dikehendaki. Jika robot hanya memiliki derajat kebebasan yang lebih sedikit, kita tidak bisa sembarangan menentukan lokasi dan orientasinya; robot hanya bisa mencapai posisi dan orientasi yang diizinkan oleh jumlah sambungan yang terbatas. Misalnya, robot dengan 3 derajat kebebasan, yang hanya bergerak sepanjang sumbu  $x$ ,  $y$ , dan  $z$ , tidak memiliki kemampuan orientasi; robot hanya dapat mengambil dan memindahkan objek dalam ruang yang sejajar dengan sumbu referensinya, tanpa mengubah orientasi. Lain halnya

dengan robot yang memiliki 5 derajat kebebasan, yang bisa berputar pada tiga sumbu tetapi hanya bergerak di sumbu x dan y. Robot ini bisa mengorientasikan sesuai keinginan, namun pemosisian objek hanya terbatas pada sumbu x dan y, tidak pada sumbu z (Niku, 2011).

Derajat kebebasan mengacu pada jumlah parameter yang mengontrol kondisi fisik sebuah sistem. Hal ini sering digunakan untuk menggambarkan kemampuan gerak robot dalam ruang tiga dimensi, termasuk gerakan ke depan dan ke belakang, naik dan turun, serta ke kiri dan ke kanan. Jumlah derajat kebebasan ini penting dalam menentukan konfigurasi robot. Sebagai contoh, banyak aplikasi dasar membutuhkan gerakan di sepanjang tiga sumbu, yaitu x, y, dan z. Untuk aplikasi yang memerlukan tingkat kebebasan yang lebih tinggi, tambahan derajat kebebasan dapat diintegrasikan melalui pergelangan tangan, yang memberikan lebih banyak fleksibilitas pada efektor akhir. Tiga derajat kebebasan ini pada pergelangan tangan dikenal dengan nama euronautika: *pitch*, *yaw*, dan *roll* atau disebut juga *swivel*. Setiap sendi atau sumbu dalam konstruksi robot berkontribusi pada derajat kebebasan (DOF) yang dimilikinya. Setiap DOF ini bisa berupa gerakan geser, rotasi, atau dioperasikan oleh berbagai jenis aktuator lain. Total DOF pada sebuah manipulator robot menunjukkan berapa banyak gerakan independen yang bisa dilakukan oleh lengan robot tersebut. Umumnya, robot industri dilengkapi dengan 5 atau 6 derajat kebebasan (Dhingra, 2023).

### 2.3 K-Nearest Neighbor

Secara sederhana dapat dijelaskan bahwa *k-nearest neighbors* (K-NN) adalah salah satu algoritma *machine learning* untuk melakukan klasifikasi terhadap objek baru berdasarkan sejumlah *k* tetangga terdekatnya. Tujuan penggunaan K-NN adalah untuk memprediksi objek, apakah objek tersebut masuk dalam satu golongan tertentu atau golongan yang lain. Pada K-NN data akan dinyatakan dalam ruang vektor. Sesuai dengan namanya “*nearest neighbor*” K-NN menggunakan klasifikasi berdasarkan “kedekatan” dengan tetangga. Contoh mudahnya seperti ini, jika saya berada di lingkungan yang sekitarnya adalah

orang-orang kaya maka saya adalah orang kaya. Jika Eko berada di kampus maka Eko adalah mahasiswa (Primartha, 2018).

K-NN adalah algoritma pembelajaran mesin terawasi yang digunakan untuk klasifikasi dan regresi, memanipulasi data training serta mengklasifikasikan data testing berdasarkan mayoritas label kelas, dan termasuk dalam kelas *instance based learning* serta *lazy learning* (Prihambodo, 2023). Dengan penerapan *k-nearest neighbors*, merupakan salah satu pendekatan klasifikasi terhadap kumpulan data yang berfokus pada mayoritas kategori. Tujuannya adalah untuk mengategorikan objek baru dengan merujuk pada atribut dan contoh-contoh sampel dari data pelatihan. Dengan demikian, upaya ini bertujuan untuk mendekati akurasi yang lebih baik (Putra, 2022). *K-nearest neighbors* adalah suatu algoritma yang digunakan untuk mengklasifikasikan data dengan memanfaatkan data latih (*training record*) dari tetangga terdekat di mana  $k$  merupakan jumlah tetangga terdekat yang digunakan dalam proses klasifikasi. K-NN adalah jenis algoritma yang sederhana dibandingkan algoritma lain dalam *machine learning*. Prinsip kerjanya adalah dengan menghitung jarak perbedaan antara data uji dan data latih yang ada dalam sistem, kemudian mencari nilai terkecil atau paling mirip untuk mengklasifikasikan data tersebut (Muhammad, 2020). *Euclidean distance* merupakan jarak antara dua titik atau koordinat yang dihitung menggunakan rumus *Pythagoras*. Ini adalah panjang garis lurus yang menghubungkan dua titik dalam ruang, yang disebut titik  $a$  dan  $b$ . Garis ini, juga dikenal sebagai garis miring, terentang di antara sumbu  $x$  dan sumbu  $y$  dengan koordinat yang diberikan untuk titik  $a$  dan  $b$  (Prisca, 2018).

Algoritma ini bekerja dengan berdasarkan pada jarak terpendek dari sample uji ke sample latih untuk menentukan K-NNnya. Setelah mengumpulkan K-NN, kemudian diambil mayoritas dari K-NN untuk dijadikan prediksi dari sample uji. Dekat atau jauhnya tetangga biasanya dihitung berdasarkan jarak Euclidean. Model algoritma K-NN memiliki tahapan kerja, yaitu:

1. Menentukan parameter  $K$

Menentukan parameter  $K$  yang akan digunakan untuk membuat klasifikasi. Nilai  $k$  yang dipilih dapat mempengaruhi akurasi klasifikasi.

Nilai  $k$  yang terlalu kecil dapat menyebabkan *overfitting*, sedangkan nilai  $k$  yang terlalu besar dapat menyebabkan *underfitting*.

## 2. Menghitung jarak *Euclidean*

Melakukan pendekatan dengan euclidean distance yang merupakan salah satu cara untuk mengukur seberapa dekat data baru dengan data yang sudah ada. Euclidean distance merupakan metode pengukuran jarak yang sederhana dan mudah diterapkan, serta memiliki makna yang jelas. *Euclidean distance* merupakan jarak antara dua titik atau koordinat yang dihitung menggunakan rumus *Pythagoras*. Ini adalah panjang garis lurus yang menghubungkan dua titik dalam ruang, yang disebut titik  $a$  dan titik  $b$ . Garis ini, juga dikenal sebagai garis miring, terbentang di antara sumbu  $x$  dan sumbu  $y$  dengan koordinat yang diberikan untuk titik  $a$  dan titik  $b$ . Menggunakan perhitungan jarak *Euclidean distance*. Rumusnya adalah sebagai berikut :

$$euc = \sqrt{(\sum_{i=1}^n (p_i - q_i)^2)} \quad (1)$$

Dimana :

$P_i$  = *sample data / data training*

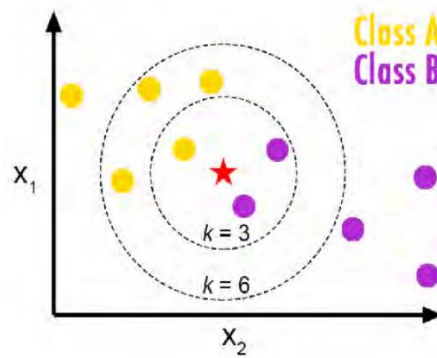
$P_i$  = *data uji / data testing*

$I$  = variabel data

$N$  = dimensi data

## 3. Menentukan kelompok klasifikasi

Pemilihan kelas data uji berdasarkan pada  $k$  tetangga terdekat. Untuk semua nilai yang didapatkan, diurutkan dari kecil ke besar. Kelas hasil prediksi adalah kelas dengan nilai *class majority* terbesar pada himpunan  $k$  jarak terdekat. Ilustrasi algoritma KNN ditunjukkan pada gambar



Gambar 1 Cara kerja KNN

Pada gambar telah ditunjukkan ilustrasi cara kerja KNN. Jika nilai  $k = 3$ , maka dari data merah adalah B, sedangkan jika nilai  $k = 6$  maka kelasnya A.

## 2.4 Penelitian Terkait

Pada penelitian “Smart Depth of Anesthesia Monitoring with EEG Sensors and Agent-based Technology” membahas tentang penggunaan perangkat EEG dalam memantau pasien secara online. Tujuan dari penelitian tersebut yaitu menciptakan sistem Smart Depth of Anesthesia Monitoring yang dimana mampu meningkatkan pemantauan secara masif dengan konsep Internet of Thing (IoT). Selain itu mampu mengukur tingkat aktifitas pasien secara personal. EEG dari per individu pasien akan dikirim ke database untuk ditampilkan ke aplikasi guna memantau pasien secara real time. Adapun sepuluh parameter yang digunakan yaitu *attention, meditation, delta, theta, low alpha, high alpha, low beta, high beta, low gamma*, dan *mid gamma* (Chrystinne Fernandes, dkk, 2017). Pada penelitian ini menggunakan sebuah sistem pemantauan pengguna perangkat EEG berbasis Iot. Sedangkan penulis menggunakan perangkat EEG yang dimana robot akan bergerak berdasarkan parameter dari perangkat EEG.

Pada penelitian “Controlled wheelchair based on brain computer interface using Neurosky Mindwave Mobile 2” menjelaskan terkait penggunaan EEG dengan antarmuka berbasis BCI untuk mengendalikan kursi roda. Tujuan dari penelitian tersebut yaitu pengguna dapat mengendalikan kursi roda secara otomatis dengan menggunakan otak pengguna. Sinyal yang terekam dari perangkat EEG akan diklasifikasikan menjadi 3 parameter dengan bantuan

antarmuka BCI menggunakan MATLAB. Dari parameter tersebut digunakan untuk membandingkan sebagai isyarat untuk aktuasi yang diinginkan pengguna terhadap kursiroda (K. Permana, dkk, 2019). Dalam penelitian tersebut, pengguna perangkat EEG menggunakan tiga parameter untuk mengendalikan kursi roda. Sedangkan penulis memanfaatkan perangkat EEG untuk mengendalikan robot Humanoid dengan menggunakan sepuluh parameter dengan klasifikasi gerakannya menggunakan Arduino IDE.

Pada penelitian “Kendali Robot Humanoid dengan Gelombang Otak Manusia” menjelaskan tentang pengendalian robot humanoid dengan menggunakan gelombang otak. Tujuan dari penelitian tersebut adalah untuk menggerakkan robot humanoid dengan gelombang otak menggunakan neurosky mindwave. Adapun metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan membandingkan nilai minimum dan maksimum dari masing-masing parameter. Sehingga diperoleh rata-rata tingkat akurasi dari penelitian ini sebesar 44% dan rata-rata kecepatan untuk robot bergerak sebesar 1 menit 42 detik (Abriyansyah, 2022). Oleh karena itu, pada penelitian kali ini, penulis menggunakan metode yang berbeda dalam mengendalikan robot *humanoid*. Penulis menggunakan metode klasifikasi *k-nearest neighbor* untuk memproses gelombang otak sehingga diharapkan tingkat akurasi dan kecepatan lebih baik dari penelitian sebelumnya.

Keuntungan menggunakan metode *K-nearest neighbor* adalah hasil persentase yang dapat dicapai dengan sangat baik, sehingga persentase yang dihasilkan dapat memberitahukan nilai akurasi yang tepat. Sebagai penunjang relevansi metode ini, berdasarkan penelitian sebelumnya metode klasifikasi menggunakan *K-Nearest neighbour* (K-NN) telah terbukti memberikan hasil evaluasi yang baik. Dalam jurnal “Application Of Machine Learning K-Nearest Neighbour Algorithm To Predict Diabetes” menyimpulkan bahwasanya metode *K-Nearest Neighbour* mempunyai hasil kinerja yang baik dalam memprediksi penyakit diabetes, dengan tingkat akurasi yang cukup tinggi sebesar 93,58% dan kemungkinan kesalahan prediksi yang cukup rendah yaitu sebesar 6,4% (J. B. Chandra and D. Nasien, 2023). Selain itu penelitian lainnya dengan judul “Application of K-Nearest Neighbor Algorithm on Classification of Disk Hernia and Spondylolisthesis in Vertebral Column” untuk klasifikasi penyakit Disk

Hernia dan Spondylolisthesis pada tulang belakang hanya menggunakan satu metode yaitu K-Nearest Neighbour (K-NN) tanpa evaluasi model dan hasilnya dengan akurasi 83%, metode K-NN terbukti baik untuk klasifikasi data mining. Kecepatan rata-rata proses klasifikasi (*running time*) kelas K-NN adalah 0,000212303 detik yang tergolong sangat cepat dalam melakukan proses klasifikasi (I. Handayani, 2019). Hasil penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai dasar penelitian lebih lanjut dalam mengendalikan robot *humanoid*.