

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Stroke adalah penyakit saraf yang disebabkan oleh terganggunya aliran darah ke otak yang dapat terjadi secara tiba-tiba dalam hitungan detik atau cepat dalam hitungan jam, dengan tanda dan gejala berhubungan dengan area yang terkena. Hal ini disebabkan oleh gangguan pada aliran pembuluh darah di otak (Avula et al., 2020). Menurut *Global Burden of Disease* (GBD), Stroke berada pada urutan ke 2 penyebab utama kematian diseluruh dunia dan urutan ketiga penyebab kematian jika digabungkan dengan kecacatan pada tahun 2017 (Feigin et al., 2021). Sejak tahun 1990-an, stroke menjadi peringkat ke 4 penyebab utama kematian di Indonesia (Bachtiar et al., 2023). Salah satu penyebab paling umum dari stroke adalah kelumpuhan pada anggota tubuh. Sebagian besar ada lumpuh total, dan ada yang lumpuh sebagian badan seperti bagian ekstremitas atas ataupun bawah.

Dengan meningkatnya jumlah penderita stroke maka perlu dilakukan upaya untuk memulihkan fungsi gerak anggota tubuh ke kondisi normal yang disebut dengan rehabilitasi. Upaya rehabilitasi yang dilakukan untuk menjalani proses pemulihan biasanya dilakukan oleh fisioterapis dengan alat konvensional yang dilakukan dengan menopang tubuh pasien. Contoh alat rehabilitasi konvensional yaitu *Parallel Bars*. Namun, alat rehabilitasi tersebut sangat bergantung pada fisioterapis sehingga memiliki keterbatasan waktu, tenaga dan ketepatan maka hal ini bisa menghambat proses rehabilitasi pasien.

Dalam dunia medis, penggunaan robotika dapat meningkatkan efektivitas program rehabilitasi pasien. Salah satu robot yang dapat membantu rehabilitasi dengan gerakan yang akurat, waktu yang efisien adalah *exoskeleton* bagian ektrimitas bawah. Robot *exoskeleton* dapat menghasilkan gerakan yang akurat dan bersifat *autonomous* dengan diprogram serta waktu yang dapat diubah sesuai dengan kondisi pasien serta membuat interaksi lebih antara pasien dan robot untuk meningkatkan kekuatan otot serta merangsang saraf selama pemulihan pasien.

Dengan peran *assistive technology* dalam dunia robotika, maka akan lebih efisien jika *exoskeleton* dapat merehabilitasi bagian ekstremitas bawah pasien melalui pikiran atau gelombang otak. Hal tersebut dapat lebih mempermudah pasien untuk memulihkan gerakan sesuai dengan pemikirannya. Sehingga dalam hal ini, penelitian ini akan merancang kendali *exoskeleton* dengan menggunakan gelombang otak manusia dengan menggunakan kendali PID dan algoritma *machine learning* yang telah dibuat pada penelitian sebelumnya (Mansur, 2024) dengan keluaran pergerakan yang berbeda. Perangkat yang dipakai sebagai sensor gelombang otak yaitu *NeuroSky Mindwave Mobile 2* yang mengeluarkan data EEG (*Electroencephalograph*).

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini yaitu :

1. Bagaimana merancang desain *exoskeleton* yang sesuai dengan anatomi dan pergerakan tubuh manusia pada ekstremitas bawah yang terintegrasi dengan kursi?
2. Bagaimana membuat sistem akuisisi data yang dapat meningkatkan akurasi pembacaan sensor gelombang otak?
3. Bagaimana merancang sistem kendali untuk meningkatkan stabilisasi pergerakan *exoskeleton* pada ekstremitas bawah?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini :

1. Merancang *exoskeleton* yang sesuai dengan anatomi dan pergerakan tubuh manusia pada ekstremitas bawah yang terintegrasi dengan kursi.
2. Merancang sistem akuisisi data untuk meningkatkan akurasi pembacaan sensor gelombang otak manusia.
3. Merancang sistem kendali untuk meningkatkan stabilisasi pergerakan *exoskeleton* pada ekstremitas bawah.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa manfaat sebagai berikut :

1. **Bagi penulis** : Penelitian ini menjadi bentuk kontribusi yang signifikan dalam literatur ilmiah dan teknologi rehabilitasi serta meningkatkan potensi diri dalam peneliti.
2. **Bagi kampus** : Penelitian ini dapat dikenal sebagai pusat pengembangan teknologi canggih dan inovatif dan dapat meningkatkan reputasi kampus di kancan nasional maupun internasional.
3. **Kontribusi dalam bidang Kesehatan** : Penelitian ini dapat memiliki banyak kontribusi dalam memulihkan pergerakan sendi pada pasien yang mengalami cedera saraf atau gangguan motorik dengan mendapatkan alat bantu yang responsif terhadap perintah gelombang otak.
4. **Kontribusi dalam Pengembangan Teknologi Robotika** : Penelitian ini dapat mendorong inovasi lebih lanjut, khususnya teknologi neurorehabilitasi serta menciptakan teknologi yang dapat diintegrasikan ke dalam berbagai terapi dan alat rehabilitasi lainnya.

1.5 Batasan Masalah

Adapun Batasan masalah pada penelitian ini, yaitu :

1. *Exoskeleton* hanya dapat dipakai pada orang yang memiliki penyakit stroke ekstremitas bawah bagian kaki kiri.
2. Spesifikasi motor yang dipakai bagian lutut (*knee*) memiliki torsi sebesar 70 Kgf.cm dan bagian tumit (*ankle*) sebesar 30 Kgf.cm.
3. Sudut pergerakan pada kendali *exoskeleton* sebesar 20° untuk bagian lutut (*knee*) dan 25° untuk bagian tumit (*ankle*).
4. Pemakaian *exoskeleton* bagian ekstremitas bawah dikhususkan bagi orang yang memiliki tinggi 160-165 cm dan berat 40-43 Kg.
5. Penelitian ini berupa rancang bangun dan tidak mengkaji mengenai hasil akurasi dari pengambilan data.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terkait

(Fernandes et al., 2018, sebagaimana dikutip dalam Abriansyah, 2022) 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, sistem mampu mengukur tingkat aktivitas 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*. Pada penelitian tersebut menggunakan sebuah sistem pemantauan pengguna perangkat EEG berbasis IoT. Sedangkan penulis menggunakan perangkat EEG sebagai parameter untuk menggerakkan robot *exoskeleton*.

(K. Permana, S. K. Wijaya, 2023, sebagaimana dikutip dalam Abriansyah, 2022) membahas tentang penggunaan EEG dengan antarmuka BCI untuk mengendalikan kursi roda. Tujuan penelitian ini adalah agar pengguna dapat mengoperasikan kursi roda secara otomatis menggunakan aktivitas gelombang otak. Sinyal yang direkam oleh perangkat EEG diklasifikasikan menjadi tiga parameter melalui antarmuka BCI menggunakan MATLAB. Parameter tersebut kemudian digunakan untuk memberikan perintah yang sesuai dengan keinginan pengguna terhadap gerakan kursi roda. Dalam penelitian tersebut, pengguna EEG memanfaatkan tiga parameter untuk mengontrol kursi roda, sedangkan penelitian ini menggunakan 10 parameter EEG untuk mengendalikan *exoskeleton*.

(Abriansyah, 2022) membahas tentang pengendalian robot *humanoid* dengan menggunakan gelombang otak. Tujuan dari penelitian tersebut adalah untuk menggerakkan robot *humanoid* dengan gelombang otak menggunakan *neurosky mindwave* yang menggunakan *mind dongle* untuk dapat berkomunikasi dengan komputer. 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. Pada penelitian ini, penulis menggunakan metode yang berbeda dalam mengendalikan robot *exoskeleton* yaitu klasifikasi *K-Nearest Neighbor* untuk memproses pembacaan gelombang otak manusia. Sensor gelombang otak yang dipakai pada penelitian ini yaitu *Neurosky Mindwave Mobile 2* yang menggunakan komunikasi *bluetooth* untuk menghubungkannya dengan komputer.

(Mansur, 2024) membahas tentang pengendalian robot *humanoid* dengan menggunakan gelombang otak. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menggerakkan robot *humanoid* dengan gelombang otak menggunakan *Neurosky Mindwave* yang masih menggunakan mind dongle untuk dapat berkomunikasi dengan komputer. Adapun metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah klasifikasi *K-Nearest Neighbor* untuk memproses gelombang otak dalam mengendalikan robot *humanoid*. Pada penelitian ini, penulis menggunakan *Neurosky Mindwave Mobile 2* yang menggunakan komunikasi *bluetooth* untuk merekam gelombang otak manusia. Metode yang digunakan sama tetapi terdapat pengembangan dalam mencari nilai *centroid*. Keluaran dari *machine learning* tersebut yaitu menggerakkan robot *exoskeleton* dengan sistem kendali untuk menghasilkan pergerakan yang stabil.

(Halim, 2018) membahas tentang pengendalian robot *humanoid* menggunakan gerakan manusia melalui mimik wajah dengan menggunakan sensor *Kinnect* sebagai robot belajar. Pada penelitian tersebut, sensor kinnect berfungsi untuk mengukur jarak terhadap tubuh manusia dan mengenali bagian-bagian tubuh tertentu kemudian data tersebut diolah melalui komputer untuk melakukan isyarat perintah gerak. Isyarat tersebut dikirim ke Arduino untuk menggerakkan robot dengan menggunakan komunikasi nirkabel menggunakan transmitter RF 433 MH. Pada penelitian kali ini membahas tentang menggerakkan robot *exoskeleton* dengan menggunakan sensor gelombang otak yaitu *Neurosky Mindwave Mobile 2* yang dapat terhubung ke komputer dengan menggunakan komunikasi *bluetooth*. Sensor tersebut berfungsi menggerakkan robot *exoskeleton* dengan memproses data EEG sebagai isyarat perintah.

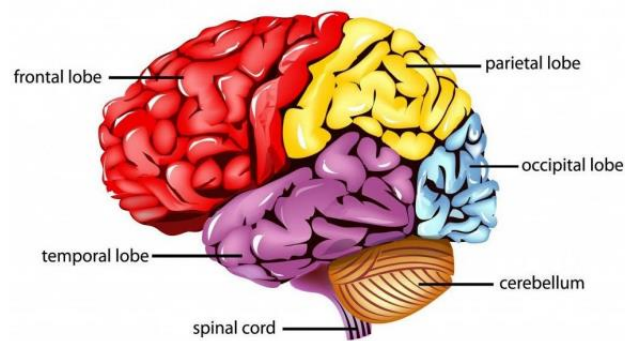
(Vinoj et al., 2019) membahas tentang menggerakkan *exoskeleton* dengan menggunakan gelombang otak. Pada penelitian ini menggunakan sensor gelombang otak yang memiliki 16 elektroda dengan 14 digunakan untuk membaca gelombang otak dan 2 elektroda bertindak sebagai referensi. *Exoskeleton* yang dirancang memiliki 7 bagian yaitu *gluteal region*, *hip joint*, *thigh region*, *knee joint*, *leg region*, *ankle joint*, *foot region*. Untuk meningkatkan kinerja otak, penelitian ini menggunakan teknik SSVEP (*Steady State Visual Evoked Potential*) untuk stimulasi otak. Stimulasi visual diberikan dengan menyegarkan tampilan LED pada rentang frekuensi 6 hingga 40 Hz. Enam frekuensi berbeda digunakan untuk enam perintah yang berbeda yaitu *sitting*, *standing*, *forward*, *backward*, *turn right* dan *turn left*. Kemudian hasil dari SSVEP dapat dilihat melalui BCI (*Brain Computer Interface*) dalam bentuk gelombang. Pada penelitian kali ini menggunakan sensor gelombang otak yang memiliki *single electrode* (1 elektroda) yang diletakkan bagian *frontal lobe*. Untuk metode yang digunakan yaitu KNN (*K-Nearest Neighbor*) untuk menggerakkan *exoskeleton*. Untuk meningkatkan kinerja otak, dilakukan pengambilan data dengan metode pembacaan teks dan video.

2.2 Gelombang Otak Manusia

Gelombang otak merupakan pola aktivitas listrik yang berisolasi di otak dengan berukuran jutaan volt. Untuk merekam aktivitas sinyal listrik dari otak menggunakan perangkat EEG yang berbentuk *headset* dan memiliki beberapa elektroda atau sensor yang dirancang agar bisa dipasang dipermukaan kepala manusia. Rekaman EEG diperoleh dengan meletakkan elektroda di kulit kepala dan daun telinga. Biasanya untuk mendapatkan sinyal listrik yang bagus, kulit kepala dilakukan sedikit abrasi kemudian gel konduktif diletakkan. Berbagai pola gelombang otak sangat unik untuk setiap orang (Priyanka A. Abhang, 2016).

Otak manusia diperkirakan terdiri dari 100 miliar neuron, dengan masing-masing neuron memiliki sekitar 10.000 koneksi ke neuron lain. Jaringan neuron yang besar dan aktif ini dapat dibagi menjadi banyak sub-jaringan. Arus ionik yang ada didalam sub-jaringan ini mengakibatkan perubahan potensial *ekstraseluler local (neuron)* (Müller-Putz, 2020).

Otak manusia terbagi menjadi lima lobus yang berbeda, yaitu *frontal lobe*, *parietal lobe*, *occipital lobe*, *temporal lobe*, dan *cerebellum* (otak kecil). Lobus-lobus ini adalah sumber potensial listrik yang dihasilkan berdasarkan aktivitas manusia. Ketika medan listrik yang dihasilkan oleh aktivasi neuron bergerak, maka tegangan listriknya menurun dan melewati setiap penghalang (Dura mater, tengkorak, kulit) antara korteks dan kulit kepala, yang kemudian direkam sebagai EEG (Kotte & Kumar Dabbakuti, 2020).



Gambar 1. Elemen otak manusia

(Kotte & Kumar Dabbakuti, 2020)

Proses perekaman EEG bersifat *non-invasif*, bebas masalah, dan tidak menimbulkan rasa sakit bagi pasien. Sinyal EEG terkait dengan perilaku aktivitas manusia seperti bersemangat, rileks, mengantuk, tertidur, tidur nyenyak, koma, dan sebagainya. Aktivitas-aktivitas ini tergolong ke dalam ritme yang berbeda dengan rentang frekuensi tertentu, seperti pada Tabel 1 (Kotte & Kumar Dabbakuti, 2020).

Tabel 1. Ritme gelombang otak manusia dengan rentang frekuensi yang berbeda (Kotte & Kumar Dabbakuti, 2020)

Tipe	Frekuensi	Aktivitas	Tempat
Gamma	20 – 60 Hz	Perhatian visual	<i>Occipital</i>
Beta	14 – 20 Hz	Aktivitas mental	<i>Parietal</i> dan <i>frontal</i>
Alpha	8 – 13 Hz	Stimulasi Sensorik	<i>Occipital</i> dan <i>parietal</i>
Theta	4 – 8 Hz	Stress emosional	<i>Temporal</i> dan <i>parietal</i>
Delta	Kurang dari 4 Hz	Selama tidur dan koma	Semuanya

2.3 Exoskeleton

Robot rehabilitasi merupakan robot yang langsung melayani manusia, memiliki prospek aplikasi yang luas dalam terapi rehabilitasi dengan persyaratan profesional yang tinggi. Oleh karena itu, sangat penting untuk mengembangkan robot rehabilitasi yang canggih. *Exoskeleton* robot rehabilitasi ekstremitas bawah, yang merupakan salah satu kelas utama robot rehabilitasi, terhubung dengan tubuh manusia dengan cara yang dapat dikenakan dan dapat mengendalikan pergerakan semua sendi selama proses pelatihan (Shi et al., 2019).

Robot *exoskeleton* adalah teknologi komprehensif yang mengintegrasikan sensor, kontrol, informasi, dan ilmu komputer untuk menyediakan perangkat mekanik yang dapat dikenakan. Berdasarkan aplikasinya, robot-robot ini dibagi menjadi dua jenis, yaitu untuk aplikasi berbasis *treadmill* dan aplikasi *overground*. Pasien dapat menerima pelatihan pola jalan dari robot eksoskeleton berbasis *treadmill* di *treadmill*. Robot *exoskeleton overground* membantu pasien dalam mendapatkan kembali pola jalan di permukaan tanah (Shi et al., 2019).



Gambar 2. Robot *exoskeleton* berbasis *treadmill*

(Shi et al., 2019)



Gambar 3. Robot *exoskeleton overground*

(Shi et al., 2019)

2.4 Kendali PID

Sistem kendali PID (*Proportional Integral Derivative*) merupakan teknik kontrol yang biasa digunakan dalam kestabilan rekayasa kontrol dengan terdiri atas 3 macam penguat kendali yang dikombinasikan yaitu *Proportional*, *Integral*, *Derivative*. Kontrol PID bekerja dengan mekanisme sistem *closed loop* untuk mendapatkan nilai dari *feedback* dengan mengoreksi antara nilai kesalahan suatu masukan dengan nilai penyimpangannya. Pada umumnya, setiap penguat PID dapat digunakan secara bersamaan ataupun secara terpisah karena setiap kontrol penguat memiliki fungsinya tersendiri diantaranya penguat *proportional* dapat mempercepat *rise time*, penguat *integral* dapat memperkecil kesalahan (*error*) hingga mencapai *setpoint* dan penguat *derivative* dapat mengurangi *overshoot* ataupun *undershoot* (Irhas et al., 2020). PID sudah banyak digunakan seperti kestabilan kecepatan suatu objek ataupun kestabilan posisi pergerakan.

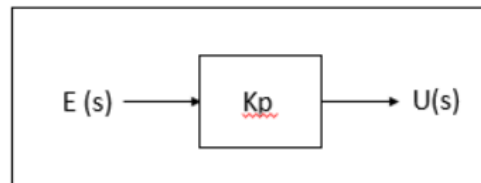
Persamaan nilai keluaran pada kendali PID dapat dirumuskan pada persamaan 1.

$$U(t) = K_p \cdot e(t) + K_i \cdot \int e(t) dt + K_d \frac{d}{dt} e(t) \quad (1)$$

Pada persamaan 1 dijelaskan bahwa nilai $U(t)$ merupakan penjumlahan dari penguat *proportional* (K_p), penguat *integral* (K_i) dan penguat *derivative* (K_d) yang masing-masing dipengaruhi oleh *error* (e) dan waktu (t) tertentu (Irhas et al., 2020).

1. Kontrol *Proportional* (P)

Kontrol *proportional* adalah jenis kontrol yang mampu mempercepat waktu kenaikan (*rise time*) dan mengurangi kesalahan pada suatu sistem (*plant*). Pada prinsipnya, kontrol ini berfungsi sebagai penguat yang dapat diatur. Hal ini memungkinkan output yang dihasilkan berbanding lurus dengan nilai konstanta pengali yang dikalikan dengan kesalahan dari penggerak (Irhas et al., 2020).



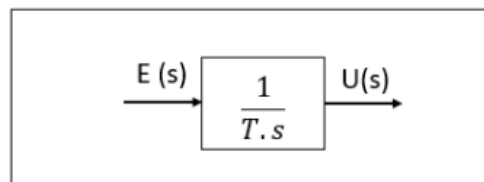
Gambar 4. Diagram blok kontrol *proportional*

(Irhas et al., 2020)

$$U(t) = K_p \cdot e(t) \quad (2)$$

2. Kontrol *Integral* (I)

Kontrol *integral* adalah pengontrol yang berfungsi mengurangi nilai *overshoot* dan mempercepat pencapaian keadaan *steady-state*. Kontrol *integral* sering dikombinasikan dengan kontrol lain karena tidak dapat bekerja secara mandiri, dan perannya sebagai penyeimbang membuat sistem kontrol yang ditambahkan dengan elemen *integral* mampu mencapai respons yang diharapkan (Irhas et al., 2020).



Gambar 5. Diagram blok kontrol *integral*

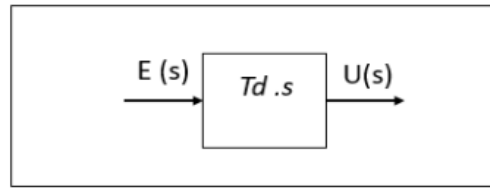
(Irhas et al., 2020)

$$U(t) = K_i \cdot \int e(t) dt \quad (3)$$

3. Kontrol *Derivatif* (D)

Kontrol *derivative* adalah jenis kontrol yang memiliki sifat seperti *diferensial*, sehingga mampu memprediksi kesalahan (*error*) yang akan terjadi berdasarkan nilai kesalahan sebelumnya dan menghasilkan output yang lebih stabil. Kontrol

ini dapat digunakan secara bersamaan dengan kontrol *integral* (I) maupun kontrol *proportional-integral* (PI) (Irhas et al., 2020).



Gambar 6. Diagram blok kontrol *derivative*

(Irhas et al., 2020)

$$U(t) = K_d \frac{d}{dt} e(t) \quad (4)$$

Dalam sistem kendali PID untuk memperoleh nilai respon yang sesuai dengan *setpoint* yaitu dengan menggunakan metode *tuning*, baik secara manual maupun otomatis dengan menggunakan metode berikut.

a. Metode *Root Locus*

Metode *Root Locus* adalah teknik *tuning* untuk kontrol PID yang menggunakan diagram *Root Locus* untuk menentukan nilai *root* transien, seperti % *Overshoot* dan *settling time*, agar sesuai dengan kriteria yang diinginkan, yang ditunjukkan oleh titik minat atau *Interest Point* (Q). Metode ini juga dikenal sebagai "metode kedudukan akar" karena memberikan gambaran kualitatif tentang performa sistem kendali dan menjadi alat yang efektif dalam menyelesaikan masalah kontrol, khususnya pada sistem orde tinggi. Selain itu, metode ini dapat digunakan untuk memperkirakan stabilitas sistem (Irhas et al., 2020).

b. Metode *Fuzzy Logic*

Metode *Fuzzy Logic Controller* adalah salah satu pendekatan baru dalam dunia kontrol yang diperkenalkan pada tahun 1965 oleh Prof. Lotfi A. Zadeh dari Universitas California, AS. Metode ini biasanya diterapkan pada *plant* tanpa menggunakan model matematika formal, untuk menghasilkan performa sistem yang optimal dengan memecah persamaan non-linear. *Fuzzy Logic* mengakui adanya nilai yang samar antara benar dan salah, dengan nilai yang berada di antara 0 dan 1, berbeda dari logika klasik yang hanya mengenal dua nilai pasti: YA dan TIDAK. Hal ini menyebabkan beberapa orang

menganggap metode *Fuzzy Logic* mirip dengan logika klasik, meskipun sebenarnya keduanya memiliki perbedaan mendasar (Irhas et al., 2020).

c. Metode Algoritma genetik (GA)

Metode algoritma genetika adalah salah satu teknik *tuning* yang digunakan untuk mendapatkan nilai optimal dari permasalahan yang bersifat *non-linier*. Metode ini telah diterapkan di berbagai bidang, termasuk bioinformatika, ilmu komputer, teknik, ekonomi, dan matematika. Dalam konteks kontrol PID menggunakan *tuning* GA, proses dimulai dengan inisialisasi populasi. Selanjutnya, populasi akan menjalani proses *crossover* dan mutasi. Setelah itu, dilakukan pengukuran kecepatan motor DC untuk memperoleh nilai K_p , K_i , dan K_d yang optimal (Irhas et al., 2020).

d. Metode Zeigler Nichols

Metode Zeigler-Nichols adalah salah satu metode *tuning* yang digunakan untuk menentukan nilai *Proportional gain* (K_p), *Integral Time* (K_i), dan *Derivative Time* (K_d) pada kontrol PID. Metode ini diperkenalkan pada tahun 1942. Dalam penentuan nilai-nilai *proportional*, *integral*, dan *derivative* dengan menggunakan metode Zeigler-Nichols, terdapat dua pendekatan yaitu metode osilasi (siklus kontinu) dan metode kurva reaksi, di mana lonjakan kurva sistem diatur agar mencapai maksimum 25% (Irhas et al., 2020).

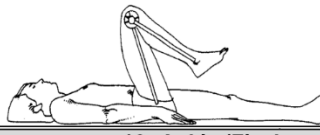
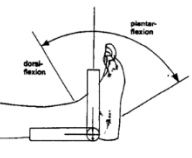
2.5 Range of Motion (ROM)

Range Of Motion (ROM) merupakan suatu gerakan yang dapat dilakukan oleh sendi yang bersangkutan dengan keadaan normal. ROM berfungsi untuk menunjukkan kelainan batas gerak sendi abnormal (Yuharti, 2016).

ROM adalah seberapa besar gerakan yang dapat terjadi pada suatu sendi. Posisi anatomis adalah posisi awal untuk mengukur semua ROM kecuali rotasi. *Range of motion* (ROM) merupakan teknik dasar yang digunakan untuk menilai luas gerak sendi. Teknik ini memungkinkan otot untuk berkontraksi dan meregang, sehingga setiap sendi dapat bergerak sepenuhnya sesuai dengan gerakan normal, baik secara aktif maupun pasif. Tujuan ROM untuk menjaga dan memelihara kekuatan otot, mempertahankan kelenturan sendi, merangsang aliran darah dan mencegah kelainan bentuk (Kurnia, 2015).

ROM dapat diklasifikasikan menjadi 3 berdasarkan jenis pergerakannya, yaitu ROM dinamis, ROM statis-aktif, dan ROM statis-pasif (Kurnia, 2015).

1. ROM dinamis adalah kemampuan sendi untuk melakukan pergerakan dinamis/kinetik (Kurnia, 2015).
2. ROM statis-aktif/ROM aktif adalah kemampuan sendi untuk mempertahankan posisi pada pergerakan melalui bantuan otot antagonis dan agonis. Seperti, mengangkat dan menjaga tangan agar tetap tinggi tanpa ada dukungan dari luar/bertumpu (Kurnia, 2015).
3. ROM statis-pasif/ROM pasif adalah kemampuan untuk mempertahankan pergerakan melalui bantuan berat badan, tumpuan atau alat lain (Kurnia, 2015).

10. Knee (flexion)		
	Left 150°	Right 150°
	Degrees	Degrees
16. Ankle (Flexion – Extension)		
	Left	
	Plantar 40°	Dorsal 20°
	Degrees	Degrees
	Right	
	Plantar 40°	Dorsal 20°
	Degrees	Degrees

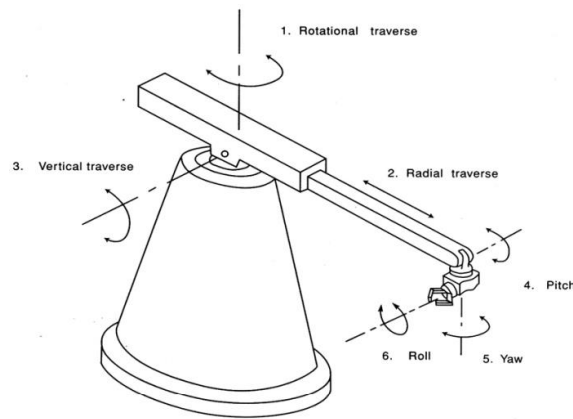
Gambar 7. ROM lutut dan tumit

(Kurnia, 2015)

2.6 Degree of Freedom

Derajat kebebasan (*Degrees of Freedom*) adalah jumlah sendi (*joint*) yang memberikan kebebasan bergerak bagi robot. Sendi dalam robot dapat dikatakan derajat kebebasan jika *joint output* bergerak terhadap *joint input* berdasarkan arah pergerakannya yaitu rotasi ataupun translasi (*linear*). Secara umum, untuk menggerakkan lengan robot sepenuhnya, dibutuhkan 6 derajat kebebasan. Meskipun 6 derajat kebebasan diperlukan untuk mencapai fleksibilitas maksimal, sebagian besar robot hanya menggunakan 3 hingga 5 derajat kebebasan. Semakin

banyak derajat kebebasan yang dimiliki robot, semakin kompleks gerakan yang bisa dilakukan, dan semakin rumit pula pemrogramannya (Siswaja, 2008).



Gambar 8. Enam derajat kebebasan utama pada robot

(Siswaja, 2008)

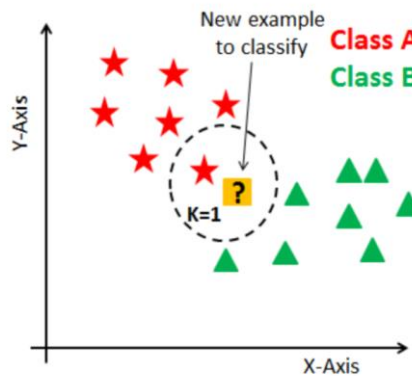
Untuk menentukan lokasi suatu titik di ruang, kita perlu menetapkan tiga koordinat (seperti koordinat x , y , dan z pada tiga sumbu Kartesius). Tiga koordinat ini diperlukan dan cukup untuk mendefinisikan secara lengkap lokasi titik tersebut. Ketiga koordinat tersebut selalu diperlukan meskipun sistem koordinat yang berbeda dapat digunakan. Namun, dua atau empat koordinat tidak cukup memungkinkan. Dua koordinat tidak cukup untuk menentukan titik di ruang dan empat koordinat bisa berlebihan karena memberikan terlalu banyak informasi. Robot dengan 6 DOF dapat menempatkan objek di lokasi dan orientasi apa pun yang diinginkan. Jika robot hanya memiliki derajat kebebasan yang lebih sedikit, kita tidak bisa sembarangan menentukan lokasi dan orientasinya. 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. Berbeda dengan robot yang memiliki 5 derajat kebebasan, yang bisa berputar pada tiga sumbu tetapi hanya bergerak di sumbu x dan y bisa mengorientasikan sesuai keinginan, namun pemosisian objek hanya terbatas pada sumbu x dan y , tidak dengan z (Nikku, 2011).

2.7 Machine Learning

Machine Learning (ML) merupakan bidang studi yang fokus kepada desain dan analisis algoritma sehingga memungkinkan komputer untuk dapat belajar. Menurut Samuel, ML berisi sebuah algoritma yang bersifat *generic* (umum) dimana algoritma tersebut dapat menghasilkan sesuatu yang menarik atau bermanfaat dari sejumlah data tanpa harus menulis kode yang spesifik. Pada intinya, algoritma yang generik tersebut ketika diberikan sejumlah data maka ia dapat membangun sebuah aturan atau model atau inferensi dari data tersebut (Id, 2021). Sebagai contoh sebuah algoritma untuk mengklasifikasikan suatu data berdasarkan kelas dari tetangga terdekatnya. Biasanya, lebih dari satu tetangga yang dipertimbangkan, sehingga teknik ini lebih umum disebut sebagai *K-Nearest Neighbor* (KNN) *Classification* (Delany, 2021).

K-Nearest Neighbor (KNN) adalah metode yang digunakan untuk mengklasifikasikan objek berdasarkan data pembelajaran yang paling dekat dengan objek tersebut dengan membandingkan data sebelumnya dan data saat ini. Dalam proses pembelajarannya, KNN menghitung jarak tetangga terdekat dengan menerapkan rumus jarak Euclidean. Namun, dalam metode lainnya, optimasi dilakukan pada rumus jarak tersebut dengan membandingkannya dengan metode serupa untuk mendapatkan hasil yang optimal (Arif Ridho Lubis, 2020). KNN 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 (Chikam Muhammad, 2020).

Di KNN, K adalah jumlah tetangga terdekat. Jumlah tetangga adalah faktor penentu inti. K umumnya angka ganjil jika jumlah kelasnya adalah 2. Ketika K = 1, maka algoritma tersebut dikenal sebagai algoritma tetangga terdekat. Ini adalah kasus paling sederhana. Misalkan PI adalah inti berupa label yang perlu diprediksi. Pertama, menemukan satu titik terdekat ke PI dan kemudian mengklasifikasikan poin dengan suara terbanyak dari tetangganya (Ferdina Kusumah, 2021).



Gambar 9. Cara kerja KNN

(Ferdina Kusumah, 2021)

Setiap objek memberikan suara untuk kelas mereka dan kelas dengan suara terbanyak diambil sebagai prediksi. Untuk menemukan titik serupa yang terdekat, kita dapat menemukan jarak antara titik menggunakan ukuran jarak seperti jarak *euclidean* yang terdapat pada Persamaan 5.

$$euc = \sqrt{\sum_{i=1}^n (pi^2 + qi^2)^2} \quad (5)$$

Keterangan :

pi = *sample* data

qi = data uji

i = variable data

n = dimensi data

2.8 NeuroSky Mindwave Mobile 2

NeuroSky Mindwave Mobile 2 merupakan suatu perangkat EEG (*Electroencephalograph*) yang memiliki sensor kontak tunggal yang dipasang pada dahi (atas alis) sebelah kiri dan daun telinga. Perangkat ini menangkap delapan spektrum sinyal EEG yaitu *delta*, *theta*, *high-alpha*, *low-alpha*, *high-beta*, *low-beta*, *high-gamma* dan *mid-gamma*, *attention* dan *meditation*. Data *attention* menandakan tingkat fokus dan konsentrasi pengguna dan data *meditation* menandakan tingkat relaksasi pikiran pengguna (Neurosky, 2009). Selain itu,

perangkat ini dapat dihubungkan secara langsung dengan mengaktifkan *blueetooth* pada perangkat lain. Berbeda dengan *Neurosky Mindwave Mobile* yang digunakan pada penelitian sebelumnya (Mansur, 2024) yang masih menggunakan *mind dongle* untuk menghubungkan ke perangkat lain.



Gambar 10. *Neurosky Mindwave Mobile 2*

(Neurosky, 2009)