

or 45° which indicates a steady movement within reasonable limits without forcing the leg at extreme angles. The movement of the robot is still limited by the robots' design that is too flat, not taking into account the dynamic factors of the legs, and the rigid material of its maker. The robot's movement is heavily influenced by the length of the suspension structure and the compatibility of the battery with the servo. Thus, the right ankle rehabilitation robot can be used as a basis for the development of a rehabilitation process assistant to facilitate the restoration of motor functions effectively.

**Keywords:** *Ankle, Foot Rehabilitation, Ankle Rehabilitation Robot, FSR Sensor, Dynamixel AX12-a*

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS .....</b>	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN.....</b>	<b>iii</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>iv</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR / SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS .....</b>	<b>vi</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xiv</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>2</b>
1.1 Latar Belakang .....	2
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Batasan Masalah .....	4
1.4 Tujuan Penelitian .....	4
1.5 Metodologi Penelitian .....	4
1.6 Sistematika Penulisan .....	5
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>7</b>
2.1 <i>Ankle</i> Kaki.....	7
2.2 Anatomi dan Biomekanika <i>Ankle</i> Kaki.....	7
2.3 Peran <i>Ankle</i> Terhadap Pola Berjalan.....	9
2.4 Cedera Pergelangan Kaki.....	10
2.5 Stroke .....	11
2.6 Rehabilitasi Kaki.....	12
2.7 Robot Rehabilitasi Kaki .....	12
2.8 Arduino IDE.....	14
2.9 Penentuan Aktuator Robot Rehabilitasi <i>Ankle</i> Kaki .....	15
2.10 <i>Servo</i> Dynamixel AX-12A.....	18
2.11 Mikrokontroler OpenRB-150.....	22
2.12 Sensor FSR.....	24
2.13 Bahan PLA+.....	26

2.14 Baterai Lithium Ion 18650.....	27
<b>BAB III RANCANG BANGUN ROBOT REHABILITASI <i>ANKLE</i> KAKI KANAN</b>	<b>28</b>
.....	
3.1 Pendekatan Fungsional .....	28
3.1.1 Diagram Blok .....	28
3.2 Pendekatan Struktural .....	29
3.3 Perancangan <i>Hardware</i> .....	30
3.4 Perhitungan Daya Penggerak pada Robot Rehabilitasi <i>Ankle</i> Kaki.....	32
3.5 Perancangan Perangkat Lunak atau <i>Software</i> .....	33
3.6 Cara Kerja Robot Rehabilitasi <i>Ankle</i> Kaki .....	35
3.7 Manufaktur Prototipe .....	36
<b>BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISIS DATA.....</b>	<b>39</b>
4.1 Pengujian Mikrokontroler OpenRB-150.....	39
4.1.1 Tujuan Pengujian .....	39
4.1.2 Langkah Pengujian.....	39
4.1.3 Hasil Pengujian dan Analisis Mikrokontroler OpenRB-150 .....	40
4.2 Pengujian Pembacaan Data Sensor FSR ( <i>Force Sensing Resistor</i> ) 402 .....	42
4.2.1 Tujuan Pengujian .....	42
4.2.2 Langkah Pengujian.....	42
4.2.3 Hasil Pengujian dan Analisis Pembacaan Data Sensor FSR 402.....	43
4.3 Pengujian Motor <i>Servo</i> Dynamixel AX-12a.....	48
4.3.1 Tujuan Pengujian .....	48
4.3.2 Langkah Pengujian.....	49
4.3.3 Hasil Pengujian dan Analisis Koneksi Jaringan <i>Servo</i> dan OpenRB... 49	
4.3.4 Hasil Pengujian dan Analisis Percobaan 1 <i>Servo</i> Menggerakkan Alas Robot.....	50
4.3.5 Hasil Pengujian dan Analisis Kemampuan 1 <i>Servo</i> Menggerakkan Alas Robot dengan Beban Kaki .....	51
4.3.6 Hasil Pengujian dan Analisis Kemampuan 2 <i>Servo</i> dengan Beban Kaki .....	54
4.4 Pengujian Sistem Secara Keseluruhan.....	55
4.4.1 Tujuan Pengujian .....	55
4.4.2 Langkah Pengujian.....	55

4.4.3 Hasil Pengujian dan Analisis Sistem Secara Keseluruhan.....	56
<b>BAB V KESIMPULAN .....</b>	<b>59</b>
5.1 Kesimpulan .....	59
5.2 Saran.....	60
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>61</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>63</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Anatomi ankle kaki .....	7
Gambar 2.2 Biomekanika ankle kaki.....	8
Gambar 2.3 <i>Gaitcycle</i> kaki .....	9
Gambar 2.4 Cedera pergelangan kaki.....	10
Gambar 2.5 Jenis utama stroke .....	11
Gambar 2.6 Passive <i>Ankle</i> Foot Orthosis (PAFO).....	13
Gambar 2.7 Robot rehabilitasi Lokomat dan LEXO Locomotion.....	13
Gambar 2.8 Terapi menggunakan VR dan <i>Biofeedback</i> .....	13
Gambar 2.9 Gambar penerapan FES .....	14
Gambar 2.10 Logo Arduino IDE .....	14
Gambar 2.11 Tampilan <i>software</i> Arduino IDE .....	15
Gambar 2.12 <i>Servo</i> Dynamixel AX-12a.....	18
Gambar 2.13 Konstruksi <i>servo</i> Dynamixel AX-12a.....	20
Gambar 2.14 Rangkaian komunikasi TTL pada Dynamixel AX-12a .....	21
Gambar 2.15 Mikrokontroler OpenRB-150 .....	22
Gambar 2.16 <i>Datasheet</i> OpenRB-150 .....	23
Gambar 2.17 Sensor FSR 402.....	24
Gambar 2.18 Hubungan resistansi dengan tegangan .....	25
Gambar 2.19 Bahan PLA+.....	26
Gambar 2.20 Baterai Lithium Ion 18650.....	27
Gambar 3.1 Diagram blok sistem .....	29
Gambar 3.2 Rancangan robot rehabilitasi <i>ankle</i> kaki kanan .....	30
Gambar 3.3 Rangkaian keseluruhan sistem.....	31
Gambar 3.4 <i>Flowchart</i> sistem.....	34
Gambar 3.5 Cara kerja robot rehabilitasi <i>ankle</i> kaki .....	35
Gambar 3.6 Ilustrasi robot rehabilitasi <i>ankle</i> kaki .....	36
Gambar 3.7 Ilustrasi alas robot rehabilitasi <i>ankle</i> kaki.....	36
Gambar 3.8 Ilustrasi batang kerangka robot.....	37
Gambar 3.9 Ilustrasi box kontroller .....	37
Gambar 4.1 Rangkaian pengujian OpenRB-150 .....	40
Gambar 4.2 Kondisi pin <i>low</i> .....	41
Gambar 4.3 Kondisi pin <i>high</i> .....	41

Gambar 4.4 Metode pengambilan data sensor FSR.....	43
Gambar 4.5 Grafik pembacaan sensor FSR pada setiap beban .....	47
Gambar 4.6 Pengujian koneksi <i>servo</i> dengan mikrokontroler.....	50
Gambar 4.7 Pengujian <i>servo</i> mengangkat alas robot.....	50
Gambar 4.8 Pengujian kemampuan 1 <i>servo</i> menggerakkan kaki .....	52
Gambar 4.9 Metode dengan robot berada 5-10 cm diatas tanah .....	53
Gambar 4.10 Percobaan menggerakkan <i>ankle</i> kaki dengan 2 <i>servo</i> .....	54
Gambar 4.11 Tampilan serial monitor dengan percobaan 2 <i>servo</i> .....	55
Gambar 4.12 Pengujian keseluruhan robot rehabilitasi ankle kaki kanan .....	56
Gambar 4.13 Pengujian sistem secara keseluruhan .....	57

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Pola gerak berjalan orang normal .....	15
Tabel 2.2 Spesifikasi utama <i>servo</i> .....	17
Tabel 3.1 Tabel komponen-komponen yang dibutuhkan .....	31
Tabel 4.2 Tabel pegujian sensor FSR pada tiap beban .....	44
Tabel 4.3 Hasil pengujian data sensor FSR 402 pada OpenRB-150 .....	46
Tabel 4.4 Data pengujian <i>servo</i> tanpa menggunakan beban kaki.....	51
Tabel 4.5 Pengujian 1 <i>servo</i> menggerakkan kaki .....	53
Tabel 4.6 Data pengujian sistem secara keseluruhan .....	57

## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

*Ankle*, yang menghubungkan bagian bawah tulang kaki dengan tulang kaki, memiliki dua komponen utama: bagian atas dan bawahnya. *Ankle* dianggap sebagai sendi kritis dalam gerakan berjalan manusia. Komponen atas terdiri dari tiga tulang utama - tulang kering (*tibia*), tulang betis (*fibula*), dan tulang pergelangan kaki (*talus*) yang saling terhubung. Di bagian bawah, tulang pergelangan kaki menghubungkan tulang pergelangan kaki (*talus*) ke tumit (*kalkaneus*) melalui sendi subtalar. *Ankle* memiliki peran penting dalam mempertahankan keseimbangan tubuh selama berjalan. Selain itu, selama aktivitas berjalan, *ankle* mendukung berat badan, mengatur langkah, mempengaruhi kecepatan, dan irama gerakan.

Stroke atau *Cerebrovaskular Diseases* (CVD) adalah kondisi yang melibatkan gangguan perdarahan di otak, menyebabkan gangguan fungsi neurologis atau perdarahan otak. Stroke merupakan penyebab utama kematian dan kecacatan global (Qingming Qu et al., 2021). Stroke mengganggu fungsi motorik, menghambat gerakan tubuh, dan bisa menyebabkan kecacatan pada anggota tubuh. Selain gangguan gerakan, stroke juga dapat memicu gangguan sensorik, kehilangan ingatan, dan ketidakstabilan emosi. Prevalensi stroke di Indonesia pada tahun 2018 mencapai 10,9% atau sekitar 2.120.362 orang, menurut Kementerian Kesehatan RI. Menurut World Health Organization (WHO), sekitar 15 juta orang mengalami stroke setiap tahunnya, dengan sepertiganya mengalami kecacatan permanen.

Cedera sendi kaki sering terjadi saat melakukan latihan fisik. Cedera pergelangan kaki bisa terjadi ketika terjadi peregangan yang tiba-tiba ke arah *lateral* atau *medial*, mengakibatkan kerusakan pada ligamen pergelangan kaki. Proses penyembuhan pada cedera sendi kaki memerlukan waktu yang cukup lama dan pemulihan setelah cedera bisa menyebabkan gangguan berjalan karena kerusakan ligamen. Karena itu, rehabilitasi bagi pasien dengan disabilitas setelah stroke atau cedera sendi kaki menjadi sangat penting.

Perawatan kesehatan memegang peranan utama dalam memelihara kesehatan melalui diagnosis, pencegahan, dan penanganan gangguan fisik dan mental. Fisioterapi, sebagai salah satu bentuk terapi fisik, menggunakan kekuatan mekanik dan gerakan untuk memulihkan gangguan dan meningkatkan mobilitas serta fungsi tubuh. Gangguan



gerakan tubuh dapat disebabkan oleh cedera akibat kecelakaan, gangguan saraf, operasi, dan stroke.

*Ankle* kaki memiliki peran penting dalam siklus berjalan (*Gaitcycle*) dan pemulihannya memiliki nilai signifikan bagi individu pasca stroke atau operasi. *Ankle* kaki bertanggung jawab sebagai penopang berat badan dan penggerak utama saat berjalan, serta menjaga stabilitas tubuh. Pasca stroke atau operasi, kesembuhan *ankle* kaki menjadi kunci dalam memulihkan fungsi berjalan yang normal. Dengan rehabilitasi dan terapi fisik yang tepat, individu tersebut dapat membangun kembali kekuatan, fleksibilitas, dan koordinasi pada *ankle* kaki yang terdampak. Kesembuhan *ankle* kaki juga mengurangi risiko jatuh, meningkatkan kualitas hidup, serta meningkatkan kemandirian dalam aktivitas sehari-hari.

Rehabilitasi fisik bertujuan untuk memperbaiki atau mengembalikan fungsi tubuh yang terganggu akibat cedera atau penyakit. Rehabilitasi kaki menjadi bagian penting dalam proses ini, terutama dalam kasus kaki yang cacat atau lemah. Terapi fisik manual sering kali tidak memberikan hasil yang memuaskan, dan dibutuhkan kerja sama intensif antara terapis dan pasien. Penggunaan teknologi robotika dalam rehabilitasi memberikan solusi baru yang memberikan pengukuran yang akurat, dapat diterapkan pada berbagai gangguan motorik, dan mampu memberikan pelatihan dengan intensitas tinggi.

Dari uraian permasalahan tersebut, fokus dari penelitian tugas akhir ini adalah pengembangan sebuah perangkat yang mampu membantu pemulihan fungsi tubuh yang terganggu akibat cedera atau penyakit melalui penggunaan teknologi robotik. Perangkat ini dirancang menggunakan bahan PLA+ dengan *infill* untuk memperkuat struktur perangkat. Penggunaan aktuator robot pada perangkat ini menggunakan *servo* Dynamixel AX-12A yang memiliki torsi sebesar 1,5 N.m dengan rentang sudut gerak 0-300 derajat.

Tujuan dari penerapan *servo* ini pada robot rehabilitasi karena dapat mengirimkan umpan balik sudut yang menggerakkan kaki pasien sesuai dengan rekomendasi praktisi atau ahli rehabilitasi. Dengan demikian, alat yang dikembangkan ini diharapkan mampu memfasilitasi pemulihan pasien dengan memberikan gerakan yang tepat sesuai dengan pedoman rehabilitasi yang disarankan.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan pemaparan yang telah disampaikan pada bagian latar belakang, maka dapat dirumuskan permasalahan yang akan diatasi dalam tugas akhir ini sebagai berikut:

1. Memahami apa dan peran robot rehabilitasi.
2. Memahami analisis gaya berjalan atau *Gaitcycle*.
3. Bagaimana menggerakkan robot menggunakan struktur mekanik.
4. Bagaimana cara merancang dan membangun robot rehabilitasi *ankle* kaki kanan bawah yang efektif dan efisien dalam membantu proses rehabilitasi.
5. Bagaimana robot dapat menerima masukan dari data pasien dan berfungsi sebagaimana mestinya.

### 1.3 Batasan Masalah

Untuk menjadikan fokus tugas akhir ini lebih spesifik dan terarah, maka pembahasan masalah dalam tugas akhir ini akan dibatasi sebagai berikut:

1. Robot ini hanya dibuat berdasarkan 1 data *inputan* yang telah ditentukan nilainya dari penelitian sebelumnya.
2. Robot ini dibuat hanya pada bagian kaki kanan bawah dengan model yang telah disesuaikan berdasarkan pasien.
3. Tugas akhir ini tidak akan membahas aspek medis dalam proses rehabilitasi, namun hanya berfokus pada teknologi dan desain robot.
4. Tugas akhir ini hanya akan membahas aspek teknis dalam merancang dan membangun robot rehabilitasi tungkai kaki kanan bawah, seperti desain mekanik, kontrol gerakan robot, dan *hardware*-nya.

### 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari tugas akhir ini adalah merancang bangun suatu robot rehabilitasi *ankle* kaki kanan bawah yang dapat membantu proses rehabilitasi berupa pelatihan yang sudah ditentukan dari *generate* data pola gerak jalan orang normal dengan pola gerak jalan pasien.

### 1.5 Metodologi Penelitian

Dalam penelitian tugas akhir ini, metodologi yang akan diterapkan akan meliputi hal-hal sebagai berikut:

1. Studi pustaka, yaitu dengan mempelajari literatur yang berkaitan dengan rancang bangun produk yang akan dibuat.
2. Studi observasi, yaitu dengan melihat langsung/survey kondisi yang ada di lapangan.

3. Perancangan struktur robot rehabilitasi kaki.
4. Perancangan sistem elektronika dalam sistem robot rehabilitasi kaki.
5. Implementasi dan instalasi rancangan struktur robot rehabilitasi.
6. Validasi rancangan dan pelatihan sistem elektronika.
7. Pembuatan perangkat lunak untuk sistem robot rehabilitasi kaki.
8. Integrasi sistem elektronika, struktur dan perangkat lunak sistem robot rehabilitasi.
9. Pengujian dan evaluasi sistem robot rehabilitasi kaki.
10. Penyusunan laporan Tugas Akhir dengan pembimbing.

## 1.6 Sistematika Penulisan

Untuk menyusun tugas akhir ini, penulisan dibagi menjadi subtopik pembahasan, seperti yang ditunjukkan di bawah ini:

### Bab I Pendahuluan

Bab ini memberikan pendahuluan singkat yang menjelaskan latar belakang, perumusan masalah, tujuan, batasan, dan sistematika penulisan.

### Bab II Tinjauan Pustaka

Bab ini membahas teori – teori yang menunjang dan berkaitan dengan penyelesaian Tugas Akhir, antara lain penjelasan mengenai *ankle* kaki, peran *ankle* terhadap pola berjalan, cedera pergelangan kaki, stroke, rehabilitasi kaki, robot rehabilitasi kaki, Arduino IDE, penentuan aktuator robot, *servo* Dynamixel AX-12a, Mikrokontroler OpenRB-150, Sensor FSR 402, bahan PLA+ dan baterai Lithium Ion 18650.

### Bab III Rancang Bangun Robot Rehabilitasi *Ankle* Kaki Kanan

Pada bab ini akan dibahas mengenai pendekatan fungsional, pendekatan struktural, perancangan *hardware*, perancangan perangkat lunak, perhitungan daya penggerak pada robot, cara kerja robot rehabilitasi *ankle* kaki, manufaktur robot.

### Bab IV Pengujian Dan Analisa Data

Bagian ini membahas prosedur pengujian, serta analisis data hasil pengujian terhadap sistem keseluruhan dan bagian-bagiannya. Hasil dan analisis ini digunakan untuk menentukan tingkat keberhasilan alat yang dibuat.

## BAB V Penutup

Bagian ini menggabungkan temuan dari uji coba ke dalam suatu simpulan yang dihasilkan dari riset yang dilaksanakan, sekaligus memberikan rekomendasi untuk tahap pengembangan berikutnya.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

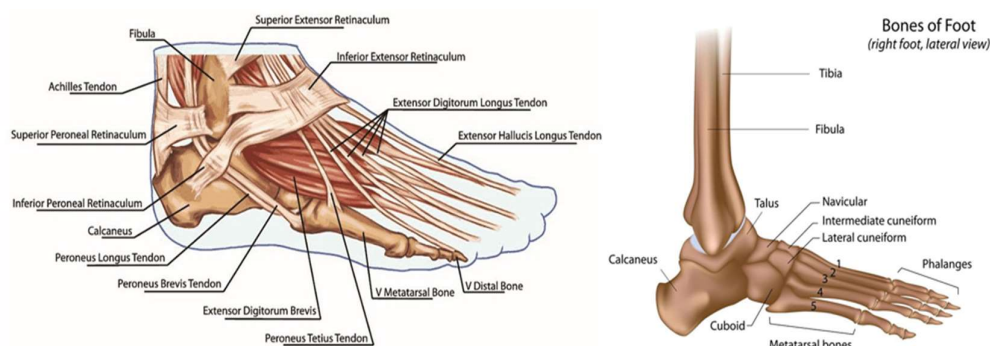
### 2.1 *Ankle Kaki*

Pergelangan kaki atau *ankle*, dalam terminologi medis, merupakan elemen integral dari sistem muskuloskeletal manusia. Fungsinya sebagai sendi krusial menghubungkan tulang-tulang tungkai bawah dan kaki, memfasilitasi berbagai aktivitas fisik seperti berjalan, berlari, melompat, dan lainnya (Leardini et al., 2007).

Kompleks pergelangan kaki terbagi menjadi dua bagian penting yaitu pergelangan kaki atas dan bawah, masing-masing memiliki struktur dan fungsi yang unik dan spesifik. Menurut literatur anatomi dan biomekanika, struktur ini berperan penting dalam gerakan dan stabilitas pergelangan kaki (Stefanyshyn et al., 2006).

### 2.2 Anatomi dan Biomekanika *Ankle Kaki*

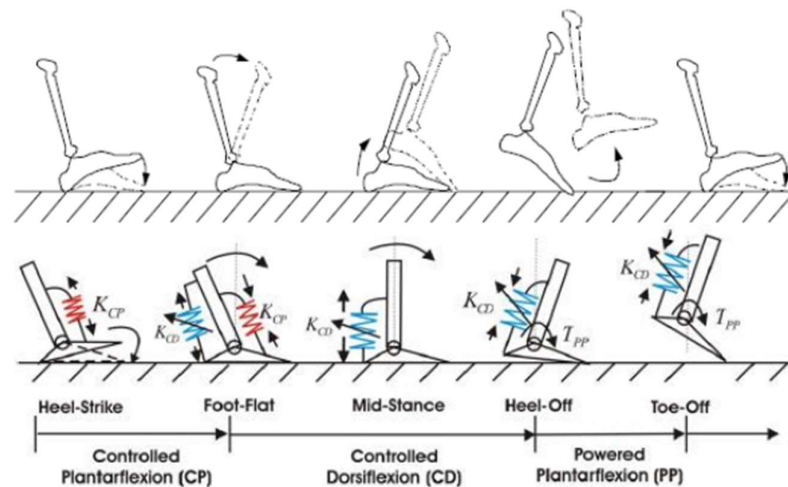
Pergelangan kaki, yang merupakan titik pertemuan antara tulang-tulang tungkai bawah dan bagian kaki, memiliki peran sentral dalam menjalankan gerakan sehari-hari seperti berjalan, berlari, dan melompat. Anatomi pergelangan kaki melibatkan tiga tulang utama: *tibia*, *fibula*, dan *talus*. Dalam konteks biomekanika, pergerakan pada pergelangan kaki memungkinkan gerakan *dorsoflexi*, *plantarflexi*, inversi, dan eversi yang penting dalam aktivitas berjalan dan berlari. *Tibia* adalah tulang utama tungkai bawah dan menopang sebagian besar berat badan, sedangkan *fibula* adalah tulang kecil yang memberikan stabilitas dan bertindak sebagai penstabil *tibia*. Keduanya berartikulasi dengan *talus* dan membentuk sendi pergelangan kaki bagian atas.



Gambar 2.1 Anatomi *ankle* kaki

Sumber : (Fatin Nurjauhara, 2023)

Tidak hanya sebagai titik pertemuan tulang, pergelangan kaki juga didukung oleh jaringan ligamen dan tendon yang kuat. Ligamen menjaga stabilitas sendi, sementara tendon memungkinkan gerakan. Contoh utamanya adalah tendon *achilles* yang memungkinkan gerakan *plantarflexion* saat berjalan atau berlari. Pada bagian bawah pergelangan kaki, sendi subtalar memungkinkan gerakan inversi dan eversi yang memungkinkan adaptasi kaki pada berbagai permukaan serta menjaga keseimbangan.



Gambar 2.2 Biomekanika *ankle* kaki

Sumber : (Mohammed Ismael, 2023)

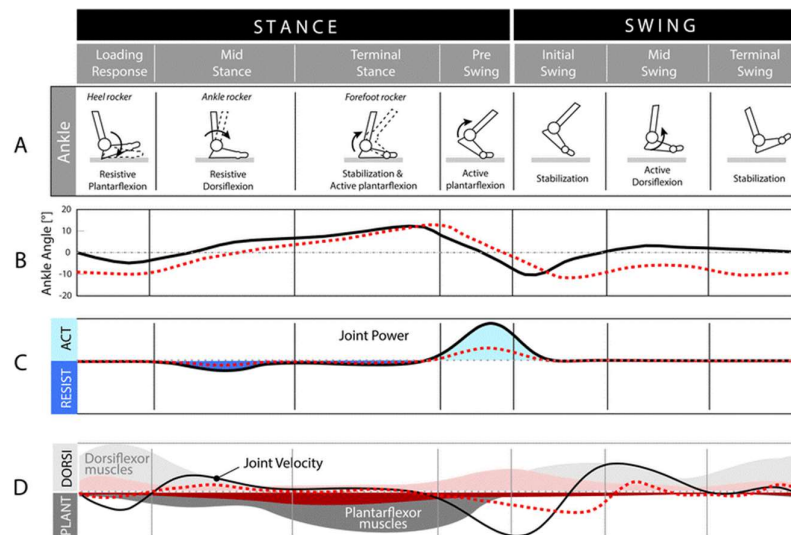
Dalam aspek biomekanika pergerakan, gambar 2.2 merupakan gerakan pergelangan kaki yang memainkan peran penting dalam siklus berjalan, termasuk fase kontak awal, *midstance*, dan *toe off*. Selain itu, pergelangan kaki memiliki peran dalam menyerap guncangan saat berjalan atau berlari, dengan kemampuan menyerap beban hingga beberapa kali berat badan melalui bantalan dari tulang rawan dan otot-otot pergelangan kaki (McKeon et al., 2015). Kerjasama antara struktur tulang, ligamen, tendon, dan otot di pergelangan kaki penting dalam mendukung efisiensi dan efektivitas dalam berbagai aktivitas sehari-hari.

Pengoptimalan yang dilakukan pada robot rehabilitasi *ankle* kaki yaitu dengan membantu pasien menggerakkan kakinya sesuai dengan gerakan normal dengan data-data rehabilitasi yang telah digenerate. Robot dirancang menggunakan bahan *pla+* yang ringan dan kuat, Dynamixel AX-12a, OpenRB-150, Baterai Li-ion 11,1 V.

## 2.3 Peran *Ankle* Terhadap Pola Berjalan

Dalam konteks gerakan berjalan (*gait*), pergelangan kaki memegang peran krusial. *Gait* sendiri merujuk pada pola berjalan yang khas bagi setiap individu, yang dipengaruhi oleh berbagai faktor termasuk anatomi, usia, dan kondisi kesehatan.

*Ankle* atau pergelangan kaki berperan sebagai titik pivot yang penting dalam gerakan *plantarflexion* dan *dorsiflexion*, yang memiliki signifikansi pada fase dorongan (*push-off phase*) dan pendekatan awal (*initial contact phase*) dari *gait*. Pada fase dorongan, otot-otot pergelangan kaki seperti gastrocnemius dan soleus berkontraksi untuk menghasilkan gerakan *plantarflexion*, yang mendukung proses mendorong tubuh ke depan. Sementara itu, selama pendekatan awal, pergelangan kaki bergerak ke *dorsiflexion* untuk mempersiapkan kaki dalam menerima beban tubuh.



Gambar 2.3 *Gaitcycle* kaki  
Sumber : (Fady Alnajjar, 2020)

Gambar 2.3 dapat menggambarkan dengan jelas gerakan yang terjadi pada pergelangan kaki selama fase *gait*. Di samping itu, sendi subtalar yang terdapat di pergelangan kaki bawah mendukung gerakan inversi dan eversi, memungkinkan kaki beradaptasi dengan permukaan yang tidak rata serta membantu menjaga keseimbangan ketika berjalan.

Tidak hanya itu, pergelangan kaki juga berperan penting dalam menjaga postur tubuh dan keseimbangan, terutama saat melakukan *gait* tunggal (*single-limb stance*) di mana satu kaki menopang seluruh berat tubuh. Komponen-komponen seperti ligamen,