



**INSTITUT TEKNOLOGI INDONESIA**  
**RANCANG BANGUN ROBOT REHABILITASI *ANKLE* KAKI**  
**KANAN**

**SKRIPSI**

**ABDULLAH RESTU WAHYUDI**

**111200003**

**TEKNIK ELEKTRO**  
**TANGERANG SELATAN**  
**FEBRUARI 2024**



**INSTITUT TEKNOLOGI INDONESIA**

**RANCANG BANGUN ROBOT REHABILITASI *ANKLE* KAKI  
KANAN**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar**

**Sarjana Strata Satu (S-1)**

**ABDULLAH RESTU WAHYUDI**

**1112000003**

**TEKNIK ELEKTRO  
TANGERANG SELATAN  
FEBRUARI 2024**

## **HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS**

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,  
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk  
telah saya nyatakan dengan benar.**

**Nama : ABDULLAH RESTU WAHYUDI**

**NPM : 1112000003**

**Tanda Tangan :**

**Tanggal : 12 Februari 2024**

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :  
Nama : Abdullah Restu Wahyudi  
NPM : 1112000003  
Program Studi : Teknik Elektro  
Judul Skripsi : Rancang Bangun Robot Rehabilitasi *Ankle* Kaki Kanan

Telah berhasil dipertahankan dihadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Pada Program Studi Teknik Elektro Institut Teknologi Indonesia.

## DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Ir. Tris Dewi Indraswati, S.T., M.T. ( )  
Penguji 1 : Ir. Novy Hapsari, S.T., M.Sc ( )  
Penguji 2 : Ir. Parlindungan Pandapotan M, M.T. ( )  
Penguji 3 : Dra. Ir. Sri Yatmani, M.Si., IPM ( )

Ditetapkan di : Kampus Institut Teknologi Indonesia, Tangerang Selatan  
Tanggal : 12 Februari 2024

## KETUA PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

(Ir. Saharudin, S.T., M.Eng.Sc., IPM)

## KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan sebagai syarat untuk menyelesaikan Pendidikan Strata-1 (S-1) Program Studi Teknik Elektro Institut Teknologi Indonesia. Penulis menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan Tugas Akhir ini, sangatlah sulit bagi penulis untuk menyelesaikannya. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Dua orang paling berjasa dalam hidup penulis, orangtua tercinta Bapak'e Saring Wahyudi dan Simbok Supriyani yang senantiasa berkorban agar penulis dapat melanjutkan Pendidikan, serta memberikan doa, cinta, nasehat, dukungan serta semangat untuk penulis dalam mengerjakan Tugas Akhir ini. Semoga Allah senantiasa melimpahkan kesehatan dan rahmat untuk Ayah dan Ibu sehingga dapat menyaksikan kesuksesan penulis kelak;
2. *Thank you for myself who has gone through all the wounds, pain, survived so far, who has been strong, who has tried hard and never gave up until now* “walaupun ngeluh ya allah ya allah”. *Nothing ever falls. Never failed. The important thing is to keep trying and get up. Remember that all the difficulties you are going through will open up happiness in life. Don't give up anyway. Sorry for forcing you to keep going even though you are tired. It's okay. This will all have results. Spirit. Thank you for everything. Tomorrow we try again;*
3. Adik-adik tercinta Lintang Tyas Cahyani dan Tika Fadhillah yang telah membantu penulis menambah kerjaan selama masa perkuliahan, memberikan semangat, dukungan dan menambah beban tapi banyak juga bantunya sih;
4. Ibu Dr. Ir. Tris Dewi Indraswati, S.T., M.T sebagai dosen pembimbing akademik sekaligus pembimbing Tugas Akhir yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran untuk mengarahkan penulis dalam penyusunan Tugas Akhir ini;
5. Bapak Ir. Saharudin, S.T., M.Eng.Sc, IPM selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro dan Dosen Penelitian yang telah menyediakan waktu, tenaga pikiran untuk mengarahkan penulis dalam penyusunan tugas akhir ;
6. Kepada Dosen-dosen Teknik Elektro atas arahan mereka telah memberikan penulis wawasan berharga serta panduan yang sangat penulis hargai. Terima kasih atas waktu dan dedikasi yang diberikan untuk membantu penulis mencapai pencapaian ini;

7. Kepada Bebop yang telah menemani penulis dalam mengerjakan tugas akhir ini, memberi dukungan dan mendengarkan segala keluh kesah penulis dalam menyusun skripsi ini. Terimakasih banyak yaa manis<3;
8. Kepada teman mabar *magic chess*, yaitu: Tito si Kalkulus, Fizh si Salmon, Kurrochi#8 dan Russell si pengabdian KPPS yang telah bersedia mendengarkan segala keluhan, memberikan semangat, dan selalu menemani ketika penulis sakit yang sedang menyelesaikan Tugas Akhir ini. Yo lulus duluan yak;
9. Kepada WK *Project*, yaitu: bAldog, Om-Melin, Kundin, Kumis, Hilal;
10. Teman-teman seperjuangan Tugas Akhir: Mus, Nurwan, Onyon, Haris;
11. Teman-teman Program Studi Teknik Elektro Angkatan 2019, 2020, 2021 yang siap sedia membantu penulis dalam penyusunan Tugas Akhir ini;
12. Untuk semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu, yang secara langsung maupun tidak langsung telah membantu penulisan skripsi ini. Penulis telah berusaha sebaik mungkin dengan kemampuan yang ada dalam menyelesaikan skripsi ini untuk mendapatkan hasil yang sebaik-baiknya.

Akhir kata, penulis berharap Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Penulis juga mengucapkan permohonan maaf apabila terdapat kekeliruan dalam pengusunan Tugas Akhir. Semoga Tugas Akhir ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu dan menunjang kemajuan Teknik Elektro Institut Teknologi Indonesia.

Tangerang Selatan, 12 Februari 2024

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR /  
SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

---

---

Sebagai sivitas akademika Institut Teknologi Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Abdullah Restu Wahyudi

NPM : 1112000003

Program Studi : Teknik Elektro

Jenis karya : Tugas Akhir/Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Institut Teknologi Indonesia Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

**“Rancang Bangun Robot Rehabilitasi *Ankle* Kaki Kanan”**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Institut Teknologi Indonesia berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan Tugas Akhir/Skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di: Tangerang Selatan  
Pada Tanggal 12 Februari 2024  
Yang Menyatakan,

( Abdullah Restu Wahyudi )

## ABSTRAK

**Nama** : Abdullah Restu Wahyudi  
**Program Studi** : Teknik Elektro  
**Judul** : Rancang Bangun Robot Rehabilitasi *Ankle* Kaki Kanan  
**Dosen Pembimbing** : Dr. Ir. Tris Dewi Indraswati S.T., M.T.

Stroke, cedera kaki, dan pasca operasi sering mengakibatkan gangguan fungsi motorik pada gerakan berjalan sehingga memerlukan rehabilitasi kaki yang intensif. Terapi rehabilitasi kaki tradisional memiliki keterbatasan dalam frekuensi, durasi, dan konsistensi. Dalam rangka mengatasi kendala tersebut, penelitian ini bertujuan mengembangkan robot rehabilitasi *ankle* kaki kanan yang memungkinkan penyesuaian struktur robot sesuai dimensi kaki dan dapat digerakkan sesuai arahan terapis. Dengan menggunakan mikrokontroler OpenRB-150 dan aktuator *servo* Dynamixel AX-12a, robot dapat menggerakkan kaki pasien dalam gerakan *plantarflexion* dan *dorsiflexion* sesuai dengan data rehabilitasi yang diinputkan. Sistem ini dapat memberikan umpan balik nilai sudut dari *servo* dan nilai tekanan pada kaki pasien dari sensor FSR, melalui serial monitor Arduino IDE. Penggunaan data dari beberapa penelitian rehabilitasi *ankle* kaki meliputi data gerakan normal, gerakan pasien, dan metode rehabilitasi *ankle* kaki, digunakan untuk memastikan keakuratan gerakan yang direplikasi oleh robot. Hasil pengujian menunjukkan bahwa *servo* mampu menggerakkan kaki dalam rentang sudut 261°-216° atau sebesar 45° yang menunjukkan gerakan tetap dalam batas wajar tanpa memaksa kaki pada sudut yang ekstrim. Gerakan robot masih dibatasi oleh desain robot yang terlalu datar, belum memperhitungkan faktor dinamika kaki, dan material pembuatnya yang kaku. Gerakan robot sangat dipengaruhi oleh panjang struktur penyangga dan kesesuaian daya baterai dengan *servo*. Dengan demikian, robot rehabilitasi *ankle* kaki kanan ini dapat dijadikan dasar pengembangan alat bantu proses rehabilitasi untuk memfasilitasi pemulihan fungsi motorik secara efektif.

**Kata Kunci** : *Ankle*, Rehabilitasi Kaki, Robot Rehabilitasi *Ankle*, Sensor FSR, Dynamixel AX12-a

## ABSTRACT

*Strokes, leg injuries, and post-operation often result in motor dysfunction in walking movements requiring intensive foot rehabilitation. Traditional foot rehabilitation therapies have limitations in frequency, duration, and consistency. In order to overcome the constraints, the research aims to develop a right-legg rehabilitation robot that allows adapting the structure of the robot to the dimensions of the leg and can be moved according to the therapist's instructions. Using the OpenRB-150 microcontroller and the Dynamixel AX-12a servo actuator, the robot can move the patient's legs in plantarflexion and dorsiflexion movements according to the rehabilitation data entered. The system can provide feedback on the angle values of the servo and the patient's foot pressure values from the FSR sensor, through the Arduino IDE series monitor. Using data from several ankle rehabilitation studies includes normal motion data, patient movements, and ankle rehab methods, used to ensure the accuracy of movements replicated by robots. The test results showed that the servo was able to move the legs in an angle range of 261°-216°*



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