



**PERANCANGAN DAN FABRIKASI SISTEM KENDALI ALAT  
BANTU FISIOTERAPI EKSTREMITAS BAWAH BERBASIS  
*VOICE COMMAND***

**SKRIPSI**

**MUHAMMAD FAZALIKAL HAFIZH**

**2010311009**

**UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL VETERAN JAKARTA**

**FAKULTAS TEKNIK**

**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK MESIN**

**2025**



**PERANCANGAN DAN FABRIKASI SISTEM KENDALI ALAT  
BANTU FISIOTERAPI EKSTREMITAS BAWAH BERBASIS  
*VOICE COMMAND***

**SKRIPSI**

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Gelar  
Sarjana Teknik**

**MUHAMMAD FAZALIKAL HAFIZH  
2010311009**

**UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL VETERAN JAKARTA  
FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI S1 TEKNIK MESIN**

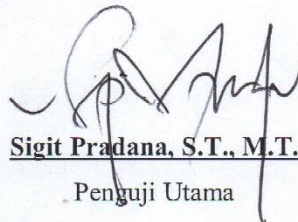
**2025**

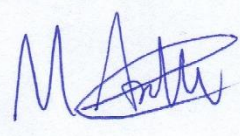
## LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

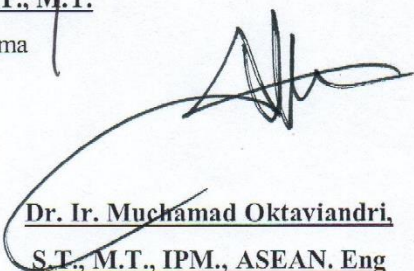
Skripsi ini diajukan oleh :

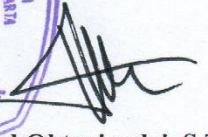
Nama : Muhammad Fazalikal Hafizh  
NIM : 2010311009  
Program Studi : S1 Teknik Mesin  
Judul Tugas Akhir : PERANCANGAN DAN FABRIKASI SISTEM  
KENDALI ALAT BANTU FISIOTERAPI  
EKSTREMITAS BAWAH BERBASIS

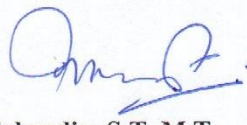
Telah berhasil dipertahankan dihadapan para penguji dan diterima sebagai bagian dari persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta.

  
Sigit Pradana, S.T., M.T.  
Penguji Utama

  
Muhammad Arifudin Lukmana, S.T.,  
M.T.  
Penguji Lembaga

  
Dr. Ir. Muchamad Oktaviandri,  
S.T., M.T., IPM., ASEAN. Eng  
Penguji III (Pembimbing I)

  
Dr. Ir. Muchamad Oktaviandri, S.T.,  
M.T., IPM., ASEAN. Eng  
Dekan Fakultas Teknik

  
Fahrudin, S.T, M.T  
Kepala Program Studi S1 Teknik  
Mesin

Ditetapkan di : Jakarta

Tanggal Ujian : 09 Januari 2025

## LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Muhammad Fazalikal Hafizh

NIM : 2010311009

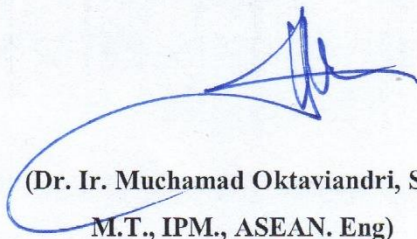
Program Studi : S1 Teknik Mesin

Judul Tugas Akhir : PERANCANGAN DAN FABRIKASI SISTEM  
KENDALI ALAT BANTU FISIOTERAPI  
EKSTREMITAS BAWAH BERBASIS

Telah dikoreksi dan diperbaiki oleh penulis sesuai dengan arahan dosen pembimbing dan diterima sebagai pernyataan untuk memperoleh gelar sarjana teknik pada program studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta

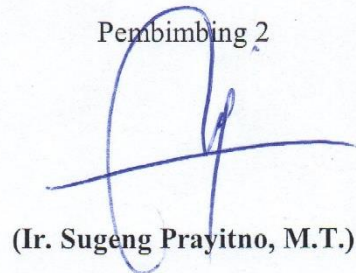
Menyetujui,

Pembimbing 1



(Dr. Ir. Muchamad Oktaviandri, S.T.,  
M.T., IPM., ASEAN. Eng)

Pembimbing 2

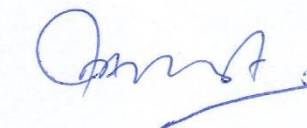


(Ir. Sugeng Prayitno, M.T.)

Jakarta, 09 Januari 2025

Mengetahui,

Kepala Program Studi S1 Teknik Mesin



(Fahrudin, S.T., M.T.)

## PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Muhammad Fazalikal Hafizh

NIM : 2010311009

Program Studi : S1 Teknik Mesin

Bilamana dikemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan saya ini, masa saya bersedia dituntut dan diproses sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Jakarta, 09 Januari 2025

Yang menyatakan,



(Muhmmad Fazalikal Hafizh)

**PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK  
KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai civitas Akademika Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Muhammad Fazalikal Hafizh

NIM : 2010311009

Program Studi : S1 Teknik Mesin

Jenis Karya : Tugash Akhir

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta Hak Bebas Royalti Non Ekklusif (*Non Exclusive Royalty Free Right*) atas tugas akhir saya berjudul :

**“PERANCANGAN DAN FABRIKASI SISTEM KENDALI ALAT BANTU  
FISIOTERAPI EKSTREMITAS BAWAH BERBASIS *VOICE COMMAND*”**

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti ini Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*data base*), merawat dan mempublikasikan tugas akhir ini selama mencantumkan nama peneliti sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik hak cipta.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan sebenar-benarnya.

Jakarta, 09 Januari 2025

Yang menyatakan,



(Muhammad Fazalikal Hafizh)

# PERANCANGAN DAN FABRIKASI SISTEM KENDALI ALAT BANTU FISIOTERAPI EKSTREMITAS BAWAH BERBASIS *VOICE COMMAND*

Muhammad Fazalikal Hafizh

## ABSTRAK

Gangguan sistem saraf motorik baik disebabkan dari kecelakaan ataupun stroke sangat berdampak pada kegiatan sehari-hari penderitanya. Untuk mendapatkan rehabilitasi yang intensif, pasien harus melakukan rehabilitasi di rumah sakit setiap harinya. Dengan memberikan pelatihan ROM (*Range of Motion*) non-aktif guna untuk melatih dan merangsang sistem saraf motorik secara mandiri. Pasien dapat dengan mudah melakukan rehabilitasi di rumah, tanpa harus ke rumah sakit. Alat bantu fisioterapi ekstremitas bawah dengan menggunakan sistem kendali berbasis *voice command* dapat menjadi solusi untuk penderita gangguan sistem saraf motorik. Metode pembuatan alat bantu fisioterapi ekstremitas bawah diawali dengan mengidentifikasi kebutuhan pengguna, perancangan dan pembuatan desain, kemudian diselesaikan dengan proses fabrikasi dan pengujian alat. Sistem kendali 2 DOF menggunakan perintah suara bergerak dengan baik dalam melakukan rehabilitasi. Alat bantu fisioterapi ekstremitas bawah mempunyai nilai tegangan maksimum sebesar 7,734 MPa, maksimum deformasi sebesar 0,31276 mm, dan nilai faktor keamanan sebesar 15. Hasil pengujian sistem kendali alat bantu fisioterapi ini yang dilakukan sebanyak 25 repetisi pada mode *knee* dan *ankle* menunjukkan persentase keberhasilan sistem kendali menggunakan perintah suara mencapai 100% pada setiap mode.

**Kata Kunci** : Fisioterapi, ROM, Sistem Kendali, *Voice Command*

# ***DESIGN AND FABRICATION OF A CONTROL SYSTEM FOR LOWER EXTREMITY PHYSIOTHERAPY ASSISTIVE DEVICE BASED ON VOICE COMMAND***

**Muhammad Fazalikal Hafizh**

## ***ABSTRACT***

*Motor nervous system disorders, whether caused by accidents or strokes, significantly impact the daily activities of affected individuals. To receive intensive rehabilitation, patients typically need to visit the hospital daily. By providing passive Range of Motion (ROM) training, which helps stimulate and train the motor nervous system, patients can perform rehabilitation independently at home without needing to go to the hospital. A lower extremity physiotherapy aid equipped with a voice-command-based control system offers a practical solution for individuals with motor nervous system disorders. The development of the lower extremity physiotherapy device begins with identifying user needs, followed by design and development, and concludes with fabrication and testing. The 2-DOF control system, operated through voice commands, performs effectively in rehabilitation exercises. The device demonstrates a maximum stress value of 7.734 MPa, a maximum deformation of 0.31276 mm, and a safety factor of 15. Testing of the control system was conducted over 25 repetitions in both knee and ankle modes, with the results showing a 100% success rate in recognizing and executing voice commands in each mode.*

***Keywords*** : *Physiotherapy, ROM, Control System, Voice Command*



## **KATA PENGANTAR**

Segala puji dan syukur penulis haturkan ke hadirat Allah SWT atas kelimpahan rahmat-Nya, yang telah memandu penulis dalam menyusun proposal ini hingga tuntas. Proposal ini dihasilkan sebagai langkah menuju pemenuhan syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik dari Jurusan Teknik Mesin. Penulisan ini tak lepas dari dukungan dan bantuan berharga dari berbagai pihak, baik dalam bentuk materi, spiritual, maupun informasi. Pada kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Dengan segala kerendahan hati, penulis mengucapkan rasa syukur yang mendalam kepada Allah SWT, Sang Maha Pencipta yang senantiasa melimpahkan rahmat, petunjuk, dan kelancaran dalam setiap perjalanan langkah penulis. Tanpa karunia-Nya, penulis tidak akan mampu menyelesaikan proposal penelitian ini.
2. Kedua orang tua penulis yaitu Bapak Mohammad Rozali dan Ibu Sulistyowati yang selalu melimpahkan doa, kasih sayang, dan dukungan tanpa henti kepada penulis. Doa dan dukungan kedua orang tualah yang menjadi kekuatan bagi penulis untuk terus berjuang dan meraih cita-cita.
3. Bapak Fahrudin, S.T., M.T, selaku Kepala Program Studi Sarjana Teknik Mesin di UPN Veteran Jakarta atas bimbingan dan dukungan.
4. Bapak Dr. Muchamad Oktaviandri, S.T., M.T., IPM., ASEAN Eng. sebagai dosen pembimbing yang telah memberikan panduan dan arahan berharga dalam penyusunan proposal ini.
5. Bapak Ir. Sugeng Prayitno, M.T., sebagai dosen pembimbing yang telah membantu penulis dalam penyusunan proposal ini.
6. Para dosen di Program Studi Teknik Mesin atas ilmu dan pengalaman yang telah diberikan selama proses perkuliahan.
7. Penulis juga ingin mengucapkan terima kasih kepada teman-teman satu angkatan Teknik Mesin 2020 terkhusus Suryo dan Albi yang senantiasa memberikan semangat dan dukungan positif kepada penulis. Terima kasih atas kebersamaan dan dukungannya selama ini.

8. Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada teman dan sahabat karip selama pelatihan PPKPI bernama Helmi, Webi, Hanif, dan Daniel yang sudah memberi dukungan selama masa penelitian ini berlangsung.

Penulis menyadari bahwa penulisan skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, segala kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan untuk penyempurnaan di masa yang akan datang. Semoga proposal ini tidak hanya menjadi bagian dari tugas akhir, namun juga memberikan manfaat bagi penulis dan pembaca.

Jakarta, Januari 2025

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI</b> .....	ii
<b>LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING</b> .....	iii
<b>PERNYATAAN ORISINALITAS</b> .....	iv
<b>PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS</b> .....	v
<b>ABSTRAK</b> .....	vi
<b>ABSTRACT</b> .....	vii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	viii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	x
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xiii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xv
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian .....	3
1.4 Batasan Masalah .....	3
1.5 Sistematika Penulisan .....	3
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	5
2.1 Kajian Pustaka .....	5
2.2 Dasar Teori .....	8
2.2.1 Rehabilitasi .....	8
2.2.2 ROM ( <i>Range of Motion</i> ) .....	8
2.2.3 Perintah Suara ( <i>Voice Command</i> ) .....	9
2.2.4 Sistem Kendali .....	9
2.2.5 Mikrokontroler .....	10
2.2.6 Arduino IDE .....	10
2.2.7 Perangkat Lunak CAD .....	11
2.2.8 Desain Morfologi .....	12

2.2.9	Antropometri .....	12
2.2.10	Momen Gaya .....	14
2.2.11	Analisis Statik.....	14
2.2.12	<i>Finite Element Analysis</i> (FEA).....	16
2.2.13	Konsep Perancangan Teknik .....	16
<b>BAB 3 METODE PENELITIAN .....</b>		<b>18</b>
3.1	Diagram Alir Penelitian .....	18
3.2	Studi Literatur.....	18
3.3	Identifikasi Kebutuhan Pengguna.....	19
3.4	Konseptual Desain .....	19
3.5	Konsep Desain .....	20
3.6	Perancangan dan Optimasi Desain .....	20
3.7	Analisis Desain .....	20
3.8	Perancangan Sistem Kendali .....	21
3.9	Fabrikasi.....	21
3.10	Pengujian Alat .....	22
3.10.1	Pengujian Sistem Aktuator.....	22
3.10.2	Pengujian Sistem Kendali Alat Bantu Fisioterapi .....	22
3.11	Perhitungan Total Biaya Produksi.....	22
<b>BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>		<b>24</b>
4.1	Identifikasi Kebutuhan Pengguna.....	24
4.2	Konseptual Desain .....	25
4.2.1	Identifikasi Kebutuhan Aktuator Sistem Kendali.....	25
4.2.2	Identifikasi Alternatif Desain .....	26
4.3	Konsep Desain .....	28
4.4	Perancangan dan Optimasi Desain .....	28
4.4.1	Perancangan Alat Rehabilitasi Ektremitas Bawah .....	29
4.4.2	Perhitungan Aktuator Bagian Lutut.....	30
4.4.3	Perhitungan Aktuator Bagian Pergelangan Kaki.....	31
4.4.4	Pemilihan Alternatif Motor Penggerak.....	32

4.4.5	Desain Akhir Alat Rehabilitasi Ekstremitas Bawah.....	35
4.5	Analisis Desain .....	36
4.5.1	Diagram Alir Analisis Elemen Hingga .....	36
4.5.2	Identifikasi Masalah Desain .....	36
4.5.3	Simulasi Alat Bantu Fisioterapi Ekstremitas Bawah dengan FEA.....	38
4.5.2	Hasil Simulasi Alat Bantu Fisioterapi Ekstremitas Bawah .....	42
4.6	Perancangan Sistem Kendali .....	44
4.6.1	Perancangan Perangkat Keras.....	44
4.6.2	Perancangan Perangkat Lunak .....	46
4.7	Fabrikasi.....	49
4.7.1	Pembuatan Rangka ( <i>Link</i> ) dengan Mesin <i>Laser Cutting</i> .....	49
4.7.2	Pembuatan Komponen dengan Mesin <i>3D Printing</i> .....	49
4.7.3	Pemasangan Rangka ( <i>Link</i> ) dan Komponen Lain.....	50
4.7.4	<i>Finishing</i> dan Pengujian.....	51
4.8	Pengujian Alat .....	52
4.8.1	Pengujian Sistem Aktuator .....	52
4.8.2	Pengujian Sistem Kendali Alat Bantu Fisioterapi .....	55
4.9	Perhitungan Total Biaya Produksi.....	58
<b>BAB 5 KESIMPULAN .....</b>		<b>61</b>
5.1	Kesimpulan.....	61
5.2	Saran .....	62
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>		
<b>DAFTAR RIWAYAT HIDUP</b>		
<b>LAMPIRAN</b>		

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2. 1</b> Alat Bantu Fisioterapi Ekstremitas Bawah Posisi Berdiri.....	5
<b>Gambar 2. 2</b> Alat Bantu Fisioterapi Ektremitas Bawah Posisi Duduk dan Berbaring.....	6
<b>Gambar 2. 3</b> Alat Bantu Fisioterapi Ekstremitas Bawah Posisi Berbaring .....	6
<b>Gambar 2. 4</b> Alat Bantu Fisioterapi Ekstremitas Bawah Posisi Duduk .....	7
<b>Gambar 2. 5</b> Alat Bantu Fisioterapi Ekstremitas Bawah Posisi Duduk .....	7
<b>Gambar 2. 6</b> Blok Diagram Sistem Kendali Open Loop.....	10
<b>Gambar 2. 7</b> Blok Diagram Sistem Kendali Closed Loop .....	10
<b>Gambar 2. 8</b> Tampilan Arduino IDE.....	11
<b>Gambar 2. 9</b> Antropometri Tubuh Manusia.....	12
<b>Gambar 3. 1</b> Diagram Alir Penelitian.....	18
<b>Gambar 4. 1</b> ROM Lutut dan Pergelangan Kaki.....	24
<b>Gambar 4. 2</b> Sketsa Alat Bantu Fisioterapi .....	28
<b>Gambar 4. 3</b> Antropometri Ekstremitas Bawah .....	29
<b>Gambar 4. 4</b> Desain Akhir Alat Rehabilitasi Ekstremitas Bawah .....	35
<b>Gambar 4. 5</b> Diagram Alir Analisis Elemen Hingga.....	36
<b>Gambar 4. 6</b> Diagram Benda Bebas Alat Bantu Fisioterapi Ekstremitas Bawah	37
<b>Gambar 4. 7</b> Tampilan Awal Ansys Workbench R1 .....	39
<b>Gambar 4. 8</b> Tampilan Source Engineering Data .....	39
<b>Gambar 4. 9</b> Tampilang Geometri.....	40
<b>Gambar 4. 10</b> Tampilan Meshing.....	41
<b>Gambar 4. 11</b> Tampilan Setup Condition .....	42
<b>Gambar 4. 12</b> Hasil Tegangan Von-Mises .....	43
<b>Gambar 4. 13</b> Hasil Total Deformasi .....	43
<b>Gambar 4. 14</b> Hasil Faktor Keamanan .....	44
<b>Gambar 4. 15</b> Rangkaian Komponen Elektrikal .....	44
<b>Gambar 4. 16</b> Rangkaian Sumber Tegangan Listrik .....	45
<b>Gambar 4. 17</b> Diagram Skematik Wiring Alat Bantu Fisioterapi Ekstremitas Bawah.....	45
<b>Gambar 4. 18</b> Sistem Kerja Motor Servo .....	46
<b>Gambar 4. 19</b> Perancangan User Interface (UI) Aplikasi Leg Mobile Assist .....	48

<b>Gambar 4. 20</b> Proses Laser Cutting.....	49
<b>Gambar 4. 21</b> Proses Pembuatan Komponen 3D Priting.....	50
<b>Gambar 4. 22</b> Pemasangan Link dan Komponen Lain.....	50
<b>Gambar 4. 23</b> Proses Finishing (Surfacing).....	51
<b>Gambar 4. 24</b> Posisi Pengujian Alat.....	52
<b>Gambar 4. 25</b> Posisi Duduk untuk Pengujian Alat .....	55

## **DAFTAR TABEL**

<b>Tabel 2. 1</b>	Data Antropometri Warga Negara Indonesia .....	13
<b>Tabel 2. 2</b>	Data Distribusi Anggota Tubuh Manusia .....	13
<b>Tabel 4. 1</b>	Kriteria Desain.....	24
<b>Tabel 4. 2</b>	Perbandingan Jenis Motor Listrik.....	26
<b>Tabel 4. 3</b>	Matriks Morfologi .....	27
<b>Tabel 4. 4</b>	Kebutuhan Motor Servo.....	32
<b>Tabel 4. 5</b>	Referensi Jenis Motor Servo Bagian Lutut .....	33
<b>Tabel 4. 6</b>	Referensi Jenis Motor Servo Bagian Pergelangan Kaki .....	34
<b>Tabel 4. 7</b>	Pengujian Sistem Aktuator Bagian Lutut.....	53
<b>Tabel 4. 8</b>	Pengujian Sistem Aktuator Bagian Pergelangan Kaki .....	54
<b>Tabel 4. 9</b>	Keterangan Perintah Suara Mode Knee .....	55
<b>Tabel 4. 10</b>	Hasil Pengujian Sistem Kendali Mode Knee .....	56
<b>Tabel 4. 11</b>	Keterangan Perintah Suara Mode Ankle.....	57
<b>Tabel 4. 12</b>	Hasil Pengujian Sistem Kendali Mode Ankle .....	57
<b>Tabel 4. 13</b>	Total Biaya Material .....	58
<b>Tabel 4. 14</b>	Total Biaya Jasa Workshop.....	59