

RANCANG BANGUN SIMULASI ALAT REHABILITASI
UPPER LIMB END-EFFECTOR

Tugas Akhir

Disusun sebagai salah satu syarat untuk
menyelesaikan pendidikan Sarjana Terapan Diploma IV

Oleh

Muhammad Ikhsan Fadhil

219441044



PROGRAM STUDI TEKNOLOGI REKAYASA OTOMASI
JURUSAN TEKNIK OTOMASI MANUFAKTUR DAN MEKATRONIKA
POLITEKNIK MANUFAKTUR BANDUNG

2024

LEMBAR PENGESAHAN

Rancang Bangun Simulasi Alat Rehabilitasi *Upperlimb End - Effector*

Oleh:

Muhammad Ikhsan Fadhil

219441044

Telah direvisi, disetujui, dan disahkan sebagai Tugas Akhir penutup program pendidikan Sarjana Terapan (Diploma IV) Politeknik Manufaktur Bandung

Bandung, 27 Agustus 2024

Disetujui,

Pembimbing I,

Pembimbing II,



Abdur Rohman Harits, S.Si., M.T.
NIP. 198803132019031009



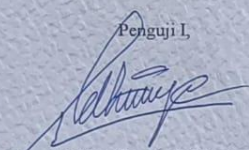
Sandy Bhawana Mulia, S.Pd., M.T.
NIP. 198611052019031009

Disahkan,

Penguji I,

Penguji II,

Penguji III,



Adhitva Sumardi Sunarva,
S.Si. M.T.

NIP. 198110052009121005



Sarosa Castrena A, S.Pd.,
M.T.

NIP. 198702252020121001



Ridwan, S.ST., M.Eng.

NIP. 197806122001121002

PERNYATAAN ORISINALITAS

Sebagai Civitas Akademika Politeknik Manufaktur Bandung, saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama	:	Muhammad Ikhsan Fadhil
NIM	:	219441044
Jurusan	:	Teknik Otomasi Manufaktur dan Mekatronika
Program Studi	:	Teknologi Rekayasa Otomasi
Jenjang Studi	:	Diploma 4
Jenis Karya	:	Tugas Akhir
Judul Karya	:	Rancang Bangun Simulasi Alat Rehabilitasi <i>Upperlimb End-effector</i>

Menyatakan bahwa:

1. Tugas akhir ini adalah hasil karya saya sendiri (orisinal) atas bimbingan para Pembimbing.
2. Dalam tugas akhir ini tidak terdapat keseluruhan atau sebagian tulisan orang lain yang saya ambil dengan cara menyalin atau meniru dalam bentuk rangkaian kalimat atau simbol yang menunjukkan gagasan atau pendapat atau pemikiran dari penulis lain, yang saya akui seolah-olah sebagai tulisan saya sendiri, dan/atau tidak terdapat bagian atau keseluruhan tulisan yang saya salin, tiru, atau yang saya ambil dari tulisan orang lain tanpa memberikan pengakuan penulis aslinya (referensi).
3. Bila kemudian terbukti bahwa saya melakukan tindakan yang bertentangan dengan hal tersebut di atas, baik disengaja atau tidak, saya bersedia menerima akibatnya sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Bandung
Pada tanggal : 27 –Agustus– 2024
Yang Menyatakan,

Muhammad Ikhsan Fadhil
219441044

PERNYATAAN HAK KEKAYAAN INTELEKTUAL (HKI)

Sebagai Civitas Akademika Politeknik Manufaktur Bandung, saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Muhammad Ikhsan Fadhil
NIM : 219441044
Jurusan : Teknik Otomasi Manufaktur dan Mekatronika
Program Studi : Teknologi Rekayasa Otomasi
Jenjang Studi : Diploma 4
Jenis Karya : Tugas Akhir
Judul Karya : Rancang Bangun Simulasi Alat Rehabilitasi
Upperlimb End-effector

Menyatakan/menyetujui bahwa:

1. Segala bentuk Hak Kekayaan Intelektual terkait dengan tugas akhir tersebut menjadi milik Institusi Politeknik Manufaktur Bandung, yang selanjutnya pengelolaanya berada dibawah Jurusan dan Program Studi, dan diatur sesuai dengan ketentuan yang berlaku.
2. Memberikan kepada Politeknik Manufaktur Bandung Hak Bebas Royalti Noneksklusif (Non-exclusive Royalty-Free Right) atas hasil tugas akhir saya tersebut. beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini, maka Politeknik Manufaktur Bandung berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama-nama Dosen Pembimbing dan nama saya sebagai anggota penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Bandung
Pada tanggal : 27 –Agustus– 2024
Yang Menyatakan,

Muhammad Ikhsan Fadhil
219441044

MOTO PRIBADI

“Lihatlah apa yang dibicarakan jangan lihat siapa yang bicara”

“Maka sesungguhnya beserta kesulitan ada kemudahan”.

Tugas akhir ini saya persembahkan untuk kedua orang tua dan keluarga saya tercinta, lalu semua pihak yang telah membantu saya menyelesaikan tugas akhir ini. Jazakumullahu Khairan Katsiron

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah yang hanya kepada-Nya kami memuji, memohon pertolongan, dan mohon keampunan. Kami berlindung kepada-Nya dari kekejian diri dan kejahatan amalan kami. Barang siapa yang diberi petunjuk oleh Allah maka tidak ada yang dapat menyesatkan, dan barang siapa yang tersesat dari jalan-Nya maka tidak ada yang dapat memberinya petunjuk. Dan aku bersaksi bahwa tiada sembah yang berhak disembah melainkan Allah saja, yang tiada sekutu bagi-Nya. Dan aku bersaksi bahwa Muhammad adalah hamba-Nya dan Rasul-Nya.

Atas penunjukan dan pertolongan-Nya, Alhamdulillah penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul: “Rancang Bangun Simulasi Alat Rehabilitasi *Upper Limb End Effector*”.

Tugas akhir dibuat dalam rangka memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan Sarjana Terapan (Diploma-IV) pada Program Studi Teknologi Rekayasa Mekatronika di Politeknik Manufaktur Bandung.

Penyelesaian tugas akhir ini tidak lepas dari dukungan banyak pihak. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati dan rasa hormat yang mendalam, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah memberikan bantuan, baik secara moral maupun materi, secara langsung maupun tidak langsung, dalam penyusunan skripsi ini hingga selesai. Secara khusus, ucapan terima kasih ini ditujukan kepada yang saya hormati:

1. Direktur Politeknik Manufaktur Bandung, Bapak Mohammad Nurdin, S.T., M.AB.
2. Ketua Jurusan Teknik Otomasi Manufaktur dan Mekatronika, Bapak Ismail Rokhim, S.T., M.T.
3. Ketua Program Studi Teknologi Rekayasa Otomasi, Nuryanti, S.T., M.Sc.
4. Para Pembimbing tugas akhir Bapak Abdur Rohman Harits, S.Si., M.T. dan Bapak Sandy Bhawana Mulia, S.Pd., M.T.

5. Para Penguji sidang tugas akhir Bapak Adhitya Sumardi Sunarya, S.Si., M.Si., Bapak Sarosa Castrena Abadi S.Pd., M.T., dan Bapak Ridwan, S.S.T., M.Eng..
6. Panitia tugas akhir Ibu Fitria Suryatini, S.Pd., M.T., Ibu Hilda Khoirunnisa. S.Tr.T., M.Sc.Eng., Bapak Muhammad Nursyam Rizal, S.Tr.T., M.Sc., dan Bapak Rizqi Aji Pratama, S.Pd., M.Pd.
7. Teristimewa kepada Orang Tua penulis Ibu Ani Ardi dan Bapak Rudi Hartono yang selalu mendoakan, memberikan motivasi dan pengorbanannya baik dari segi moril, materi kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
8. Tamara Bunga Chantika yang telah mendukung serta mendoakan penulis sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
9. Teman seangkatan *Automation Engineer* 2020 yang telah banyak memberi bantuan, arahan dan semangat kepada penulis.
10. Pihak-pihak yang senantiasa membantu dalam pengerjaan tugas akhir ini yang tidak bisa disebutkan satu persatu.

Akhir kata penulis menyadari bahwa dalam penulisan tugas akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Karena itu, penulis memohon saran dan kritik yang sifatnya membangun demi kesempurnaannya dan semoga bermanfaat bagi kita semua. Aamiin Ya Robbal Alamin.

purnaannya dan semoga bermanfaat bagi kita semua. Aamiiin Ya Robbal Alamin.

Bandung, Agustus 2024

Penulis

ABSTRAK

Stroke merupakan salah satu penyebab utama disabilitas fisik, terutama pada ekstremitas atas. Rehabilitasi pasien stroke sering kali memerlukan alat bantu untuk mengembalikan fungsi motorik yang hilang. Dua tipe utama alat rehabilitasi upper limb yang umum digunakan adalah *exoskeleton* dan *end-effector*. *Exoskeleton* dirancang mengikuti struktur anatomi tubuh untuk mendukung gerakan yang lebih natural, tetapi berisiko menimbulkan gerakan atau postur abnormal jika alat tidak sesuai dengan bentuk tubuh pasien. Sebagai alternatif, *end-effector* dikembangkan untuk menghindari masalah tersebut. Alat ini menggunakan mekanisme empat batang seperti pegas yang memberikan dukungan gerakan dengan 2 derajat kebebasan (2 DOF), memungkinkan gerakan yang lebih fleksibel sesuai kebutuhan rehabilitasi pasien. Dalam penelitian ini, pengembangan alat *end-effector* dilakukan melalui simulasi menggunakan kontroler Arduino. Simulasi ini mengatur latihan dan kecepatan motor sesuai kebutuhan terapi, serta memonitor pergerakan melalui plot kartesian. Pengujian menunjukkan sensor MPU6050 memberikan kinerja stabil meskipun terdapat *noise*, dan sistem berhasil memberikan data konsisten untuk pemantauan pergerakan. Motor yang dikendalikan oleh algoritma simulasi mencapai target dengan akurasi memadai, dengan kesalahan posisi ± 0.5 cm hingga ± 2 cm. Namun, motor tidak mampu mengangkat beban lebih dari 1000 gram, mengindikasikan batas operasionalnya. Penelitian ini menunjukkan bahwa *end-effector* dapat dikendalikan dan dimonitor secara efektif dalam lingkungan simulasi, dan diharapkan menjadi lebih baik dibandingkan tipe *exoskeleton* dalam mendukung rehabilitasi pasien stroke.

Kata kunci: *Upperlimb, Degree Of Freedom, Arduino, End-Effector, Microcontroller*

ABSTRACT

Stroke is one of the leading causes of physical disability, especially in the upper limbs. Stroke patient rehabilitation often requires assistive devices to restore lost motor function. The two main types of upper limb rehabilitation devices commonly used are exoskeletons and end-effectors. Exoskeletons are designed to follow the body's anatomical structure to support more natural movement, but they risk causing abnormal movement or posture if the device does not fit the patient's body shape. As an alternative, end-effectors were developed to avoid these issues. This device uses a four-bar mechanism, like a spring, that provides movement support with 2 degrees of freedom (2 DOF), allowing more flexible movements according to the patient's rehabilitation needs. In this study, the development of the end-effector device was carried out through simulations using an Arduino controller. This simulation regulates exercise and motor speed according to therapy needs and monitors movement through a Cartesian plot. Testing showed that the MPU6050 sensor provided stable performance despite the presence of noise, and the system successfully delivered consistent data for movement monitoring. The motor controlled by the simulation algorithm achieved the target with sufficient accuracy, with a positioning error of ± 0.5 cm to ± 2 cm. However, the motor could not lift loads over 1000 grams, indicating its operational limit. This study demonstrates that end-effectors can be effectively controlled and monitored in a simulated environment and are expected to be better than exoskeletons in supporting stroke patient rehabilitation.

Keywords: Upperlimb, Degree Of Freedom, Arduino, End-Effector, Microcontroller

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
PERNYATAAN HAK KEKAYAAN INTELEKTUAL (HKI)	iii
MOTO PRIBADI	iv
KATA PENGANTAR.....	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN	xiv
I. BAB I PENDAHULUAN.....	I-1
I.1 Latar Belakang	I-1
I.2 Rumusan Masalah	I-2
I.3 Batasan Masalah.....	I-3
I.4 Tujuan dan Manfaat.....	I-3
I.5 Sistematika Penulisan.....	I-3
II. BAB II TINJAUAN PUSTAKA	II-1
II.1 Tinjauan Teori	II-1
II.1.1 Degree of Freedom.....	II-1
II.1.2 Upper Limb	II-2
II.1.3 Transformasi Kinematik.....	II-3
II.1.4 Forward Kinematik	II-3
II.1.5 Invers Kinematik.....	II-4
II.2 Tinjauan Teori	II-6
II.2.1 Motor Stepper Nema 17	II-6
II.2.2 Arduino.....	II-7

II.2.3 MPU 6050	II-8
II.2.4 TB6600	II-9
II.3 Studi Penelitian Terdahulu	II-11
III. BAB III METODOLOGI PENYELESAIAN MASALAH	III-1
III.1 Gambaran Umum Sistem.....	III-1
III.2 Flowchart Proses pelatihan pasien	III-2
III.3 Blok Diagram Perangkat Lunak	III-3
III.4 Wiring Diagram Alat	III-4
III.5 Perancangan Mekanik.....	III-5
III.6 Diagram Alir Penyelesaian Simulasi	III-6
III.7 Analisa dan Simpulan	III-7
IV. BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	IV-1
V. BAB V KESIMPULAN	V-11
V.1 Kesimpulan.....	V-11
V.2 Saran	V-12
VI. DAFTAR PUSTAKA.....	13
LAMPIRAN	16

DAFTAR TABEL

Tabel IV. 1 Pengujian kalibrasi sensor	IV-1
Tabel IV. 2 Rata-rata offset.....	IV-2
Tabel IV. 3 Error offset.....	IV-2
Tabel IV. 4 Pengujian sensor	IV-2
Tabel IV. 5 Pengujian data posisi dan pergerakan motor	IV-3
Tabel IV. 6 Data lingkungan dan motor	IV-4
Tabel IV. 7 Pengujian Invers Kinematik.....	IV-5
Tabel IV. 8 Data hasil pengujian.....	IV-5
Tabel IV. 9 Data output MPU6050	IV-8
Tabel IV. 10 Tabel data output MPU6050.....	IV-9

DAFTAR GAMBAR

Gambar II. 1 Derajat Kebebasan pada suatu objek [14]	II-1
Gambar II. 2 Gambar II.2 Sistem Kerja <i>End Effector</i> dan <i>Exoskeleton</i> pada Alat Rehabilitasi <i>upperlimb</i> [7].....	II-2
Gambar II. 3 Analisis Vector sistem 3 DOF [20]	II-4
Gambar II. 4 Model Kinematika dalam Arah Horizontal [3].....	II-5
Gambar II. 5 Motor Stepper [21]	II-10
Gambar II. 6 I/O Arduino Uno [25]	II-7
Gambar II. 7 Mikrokontroler Arduino Uno [9].....	II-8
Gambar II. 8 MPU6050 Sensor [27]	II-8
Gambar II. 9 MPU6050 Sensor <i>Movement</i> [28]	II-9
Gambar II. 10 <i>Driver</i> motor TB6600 [30]	II-10
Gambar III. 1 Gambaran Umum Sistem	III-1
Gambar III. 2 Flowchart proses latihan pasien	III-2
Gambar III. 3 Diagram Blok Perangkat Lunak.....	III-3
Gambar III. 4 Wiring Diagram.....	III-4
Gambar III. 5 Perancangan Mekanik Alat	III-5
Gambar III. 6 Flow Chart penyelesaian	Error! Bookmark not defined.
Gambar IV. 1 Output serial monitor pergerakan	IV-6
Gambar IV. 2 Plot kartesian pergerakan pertama	IV-6
Gambar IV. 3 Output serial monitor pergerakan kedua.....	IV-7
Gambar IV. 4 Plot kartesian pergerakan kedua	IV-7
Gambar IV. 5 Plot kartesian pergerakan dengan MPU6050.....	IV-10

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Pengerjaan Control Panel	16
Lampiran 2 Pembuatan Desain Mekanik	16
Lampiran 3 Pembuatan Program dan Pengujian Sensor	17
Lampiran 4 Data Sheet Komponen	17
Lampiran 5 Integrasi sensor dan hasil pembuatan alat	19

DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN

DOF = *Degree Of Freedom*

ULRR = *Upper Limb Rehabilitation Robot*

θ = Theta

A = Ampere

V = Volt

L = Panjang Lengan

IMU = *Inertial Measurement Unit*

DMP = *Digital Motion Process*

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Rehabilitasi [1] merupakan komponen yang sangat vital dalam proses pemulihan pasien yang mengalami gangguan motorik akibat cedera atau kondisi neurologis [2] seperti stroke, cedera tulang belakang, atau penyakit degeneratif. Gangguan ini sering kali mengakibatkan hilangnya kemampuan motoric [3], yang berpengaruh signifikan terhadap kualitas hidup pasien. Oleh karena itu, rehabilitasi motorik menjadi bagian integral dari upaya untuk memulihkan fungsi tubuh dan memungkinkan pasien kembali ke aktivitas sehari-hari. Selama beberapa dekade terakhir, teknologi telah memainkan peran penting dalam meningkatkan efektivitas rehabilitasi. Salah satu inovasi teknologi yang signifikan dalam bidang ini adalah penggunaan robotika [4], khususnya perangkat *end effector* [5]. Perangkat ini dirancang untuk membantu pasien melakukan gerakan spesifik secara berulang [4] dan terkontrol, yang sangat penting dalam proses rehabilitasi. *End effector* bekerja dengan meniru atau mendukung gerakan alami tubuh manusia, sehingga membantu dalam pemulihan [6] fungsi motorik yang terganggu [7].

Namun, pengembangan dan pengujian perangkat *end effector* dalam skala klinis tidaklah mudah. Proses ini memerlukan waktu yang panjang serta sumber daya yang besar, baik dari segi biaya maupun tenaga ahli [5][8]. Sebelum perangkat ini dapat diterapkan secara langsung pada pasien, diperlukan serangkaian uji coba dan simulasi untuk memastikan efektivitas dan keamanannya. Oleh karena itu, dalam tahap awal pengembangan alat rehabilitasi, simulasi memainkan peran yang sangat krusial [8].

Simulasi memungkinkan para peneliti untuk memvisualisasikan dan menguji konsep desain sebelum diterapkan dalam praktik nyata. Melalui simulasi, potensi masalah dapat diidentifikasi lebih awal, sehingga desain dapat diperbaiki dan performa sistem dievaluasi tanpa harus melibatkan pasien langsung. Hal ini tidak hanya mengurangi risiko tetapi juga menghemat biaya pengembangan secara signifikan, mengingat bahwa pengujian klinis melibatkan prosedur yang rumit dan mahal.

Penelitian ini berfokus pada rancang bangun simulasi alat rehabilitasi *upper limb end effector* berbasis Arduino [9]. Arduino, sebagai platform open-source [10] yang fleksibel dan terjangkau, menawarkan banyak kemudahan dalam pengembangan prototipe [11] [12] teknologi kesehatan. Simulasi yang dikembangkan dalam penelitian ini tidak dimaksudkan untuk langsung digunakan dalam latihan pasien, tetapi lebih sebagai model awal untuk memahami bagaimana *end effector* dapat dikendalikan dan dimonitor secara visual.

Dengan menggunakan Arduino, sistem ini dirancang untuk memodelkan pergerakan dasar dari *end effector* dan menampilkan plot kartesian sebagai alat monitoring [13] untuk melacak posisi dan pergerakan yang dihasilkan. Simulasi ini mencakup pergerakan yang direplikasi dalam bentuk virtual dan memungkinkan pengamatan terhadap respon sistem melalui plot kartesian. Pendekatan ini memberikan gambaran awal tentang kinerja perangkat sebelum pengembangan lebih lanjut ke tahap klinis, serta membantu dalam perbaikan desain dan optimasi algoritma kontrol.

Lebih dari sekadar alat simulasi, penelitian ini berkontribusi dalam menyediakan basis yang kuat untuk pengembangan perangkat rehabilitasi berbasis *end effector* yang lebih lanjut. Alat ini diharapkan dapat menjadi dasar bagi inovasi teknologi kesehatan yang lebih efektif dan efisien. Dengan demikian, penelitian ini menawarkan alternatif yang lebih hemat biaya dan mudah diakses dalam proses penelitian dan pengembangan teknologi rehabilitasi, yang pada akhirnya dapat memberikan manfaat besar bagi pasien dan praktisi kesehatan di masa depan.

I.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan pada bagian sebelumnya, terdapat masalah yang dapat diidentifikasi dalam beberapa pertanyaan berikut.

- a. Bagaimana kontruksi Perangkat keras dari alat upperlimb *end-effector robot rehabilitation*?
- b. Bagaimana mengimplementasikan sistem simulasi yang digunakan?
- c. Bagaimana penerapan motor stepper pada sistem yang dirancang?

I.3 Batasan Masalah

Berdasarkan permasalahan yang didapatkan, agar dapat dibahas lebih spesifik maka dibentuk beberapa batasan masalah sebagai berikut.

1. Tidak mencakup layanan Game Exercise
2. Mencakup 2 Degree of Freedom
3. Menggunakan motor stepper nema17 sebagai penggerak end-effector
4. Pola rehabilitasi yang terbatas

I.4 Tujuan dan Manfaat

Tujuan dari pembuatan rancang bangun alat rehabilitasi upperlimb end-effector berbasis *Microcontroller* ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk membantu proses simulasi rehabilitasi ekstremitas atas.
2. Untuk membuat simulasi proses rehabilitasi yang tidak kompleks.
3. Untuk memonitoring pergerakan dan plot kartesian pola rehabilitasi *end effector*.

I.5 Sistematika Penulisan

Sistematika proposal Tugas Akhir ini dibahas dengan penjabaran sebagai berikut.

BAB I PENDAHULUAN, berisi uraian mengenai latar belakang, perumusan masalah, tujuan, batasan masalah dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA, berisi gambaran umum tentang landasan teori untuk menjelaskan beberapa istilah dan ilmu terkait serta melihat hasil pencapaian penelitian terdahulu dengan kajian yang sama.

BAB III METODOLOGI PENYELESAIAN MASALAH, berisi langkah-langkah penyelesaian tugas akhir berupa gambaran umum sistem serta perancangan sistem.

BAB IV BIAYA DAN JADWAL KEGIATAN, berisi rancangan jadwal kegiatan TA dan rincian anggaran biaya untuk penyelesaian TA.