

## ANALISIS KINEMATIKA PADA EMPAT JARI ROBOT *EXOSKELETON* TERAPI *STROKE*

Nalurita Firdausyah<sup>1</sup>, Santoso Mulyadi<sup>2</sup>, Aris Zainul Muttaqin<sup>2</sup>, Khairul Anam<sup>2</sup>,  
Rika Dwi Hidayatul Qoryah<sup>2\*</sup>, M Nurkoyim Kustanto<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember

<sup>2</sup>Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember

\*email: [rika.teknik@unej.ac.id](mailto:rika.teknik@unej.ac.id)

### ABSTRACT

*Stroke is a disease or functional disorders of the brain in the form of nerves paralysis due to obstruction of blood flow to the brain which can be completely cure, cured with disabilities, or death. Rehabilitations is an effort to improve the quality of life of stroke survivors. However, rehabilitations with self-therapy has several drawback such as relatively expensive therapist cost, scheduled time, and limited resources. Therefore, technology is needed such as an exoskeleton robots that can be used by patient for therapy independently and practically. An exoskeletons robot or stroke therapy robot are robotics framework system that are worn on the patient's joints to assist the patient in the rehabilitation process. For exoskeleton robots there are several kinds of mechanisms and for this studying a cable and sheet transmission mechanism is used which is where the drive motors are separates so that they don't put too much of a burden on the user's hands. This research focus more on the design of the index finger robots which represents the middle, ring, and little fingers. The method used is ansys rigid body dynamic simulation analysis by looking at positions, speeds, and accelerations. From the simulation results on the index finger exoskeleton robot design, the Range of Motion (ROM) of the flexion extension movements of the MCP joint is 62.17°, PIP 68.74°, and DIP 73.98°. The speed and acceleration of the three joints adjust the position and time coordinates that have been set during the simulation.*

**Keywords:** *Stroke, Rehabilitation, Exoskeleton, Index Finger, Range of Motion*

### PENDAHULUAN

Menurut informasi terbaru oleh *World Stroke Organization (WSO) Global Stroke Fact Sheet* (2022) ini bahwa *stroke* tetap menjadi penyebab kematian nomor dua dan gabungan penyebab kematian dan kecacatan nomor tiga di dunia. Berdasarkan data dari pusat data dan informasi kementerian kesehatan 2019, penyakit *stroke* yang merupakan salah satu penyakit dengan biaya tertinggi, menghabiskan biaya pelayanan kesehatan sebesar 2,56 triliun rupiah pada tahun 2018 (Kemenkes, 2019).

Rehabilitasi merupakan salah satu upaya untuk meningkatkan kualitas hidup

dari penderita *stroke*. Bidang medis dan kesehatan menggunakan rehabilitasi untuk memulihkan sebagian atau keseluruhan kapabilitas fisik, sensorik atau mental pasien yang berkurang atau hilang akibat suatu penyakit atau cedera (Hariandja, 2013). Namun, rehabilitasi dengan terapi sendiri memiliki beberapa kekurangan seperti biaya untuk terapis yang relatif mahal sehingga diperlukan teknologi yang dapat digunakan kapanpun dan dimanapun.

Robot *exoskeleton* atau robot terapi *stroke* adalah sistem kerangka robot yang dikenakan pada sendi pasien untuk membantu pasien seperti *tetraplegia*, *hemiplegia*, *tendonitis*, patah tulang dan

penyakit *degeneratif* seperti radang sendi (Avizzano, 2000). Robot *exoskeleton* dapat berkontak langsung dengan tangan sehingga pergerakan mekanisme robot tidak menimbulkan bahaya bagi pasien *stroke* (Abdallah, 2006).

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis kinematika empat jari robot *exoskeleton*. Namun, pemodelan dan juga simulasi pada penelitian ini hanya dilakukan pada jari telunjuk yang mana merepresentasikan jari tengah, manis, dan kelingking untuk terapi *stroke* dengan mekanisme *cable and sheet transmission*.

## TINJAUAN TEORI

### Robot Exoskeleton

Robot rehabilitasi *exoskeleton* ini adalah sistem kerangka robot yang dikenakan pada sendi pasien untuk membantu pasien seperti *tetraplegia*, *hemiplegia*, *tendonitis*, patah tulang dan penyakit *degeneratif* seperti radang sendi (Avizzano, 2000). Robot *exoskeleton* yang didesain, nilai ROM simulasinya sebaiknya memenuhi nilai rentang gerak (ROM) yang telah ada (Joe & Bae, 2017).

Tabel 1. Parameter analisis kinematika

<i>Prodefined angles (°)</i> <i>Link Lengths (mm)</i>	<i>a,β</i> <i>l</i>	
<i>Position</i>	Origin	pt 4
	MCP joint	pt 7
	PIP joint	pt 11
	DIP Joint	pt 14
	Fingertrip	pt 17
<i>Range of finger joint angles</i>	MCP (°)	0 ~ 73
	PIP (°)	0 ~ 86
	DIP (°)	0 ~ 57

### Kinematika

Kinematika berasal dari bahasa Yunani yaitu “*Cinematique*” yang berarti gerak. Istilah ini pertama kali dikenalkan oleh seorang professor dari L’Ecole Polytecnic dalam essainya yang berjudul “*Essaisur La Philosophie des Sciences*”. Kinematika adalah ilmu yang mempelajari tentang gerak (*relative*) tanpa memperhatikan gaya-gaya yang bekerja. Macam gerak relatif yang di pelajari dalam kinematika meliputi lintasan, kecepatan

dan percepatan (Jatisukamto, 2009).

Kinematika robot adalah sebuah studi yang mempelajari tentang gerak robot berdasarkan posisi dan sudut dari tiap link dan joint tanpa memperhatikan penyebab terjadinya gerakan (Setiyadi, 2021). Fleksibilitas dan daya kerja robot ditentukan dari jumlah DOF (*degree of freedom*) yang ada karena semakin banyak DOF yang dimiliki robot maka gerak robot akan semakin luas dan fleksibel.

## METODOLOGI

Metode yang digunakan dalam penelitian ini merupakan metode simulasi. Pemodelan 3 dimensi menggunakan AutoDesk Inventor 2023. Simulasi dalam penelitian ini menggunakan ANSYS dengan fitur Rigid Body Dynamic untuk mengetahui nilai dan posisi sudut *Range of Motion* (ROM) jari dan nilai dari kecepatan serta kecepatan selama pergerakan *exoskeleton*.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Mekanisme Robot

Mekanisme yang digunakan dalam robot ini adalah jenis *cable and sheath tramission with remotely located motor*. Gerakan berupa fleksi dan ekstensi dengan cakupan gerakan jari telunjuk, tengah, manis, dan kelingking lebih dominan daripada gerakan adduksi dan abduksi. Peletakan penggerak di luar tangan yaitu memutar *pulley* yang nantinya dihubungkan dengan *link* dengan menggunakan kabel yang terhubung dengan motor *servo*.

### Parameter Joint Load

Parameter *joint load* berfungsi untuk membentuk kondisi yang mana ROM dapat terwujud sesuai yang diinginkan dengan proses *trial and error*. Parameter *joint load* dapat dimasukkan melalui *tabular data* yang parameternya dalam bentuk waktu dan *displacement* atau nilai putaran dan diterapkan pada 2 *pulley* yang terdapat pada desain. Sehingga dapat mengetahui nilai

sudut yang maksimal pada putaran *pulley*.

Tabel 2. Putaran pada *pulley* 1

Step	ime (s)	n (°)
1	0	0
2	1	0
3	2	3,6667
4	3	7,3333
5	4	11
6	5	14,667
7	6	18,333
8	7	22
9	8	25,667
10	9	29,333
11	10	33

Tabel 2 menunjukkan nilai putaran *pulley* 1. Putaran *pulley* 1 ini berputar searah jarum jam yang mana nilai putaran *pulley* (dinotasikan dengan n) merupakan hasil *trial and error* sehingga didapatkan hasil akhir dalam bentuk rotasi sebesar 33°.

Tabel 3. Putaran *pulley* 2

Step	ime (s)	n (°)
1	0	0
2	1	0
3	2	7,1111
4	3	14,222
5	4	21,333
6	5	28,444
7	6	35,556
8	7	42,667
9	8	49,778
10	9	56,889
11	10	64

Tabel 3 menunjukkan nilai putaran *pulley* 2. Putaran *pulley* 2 ini berputar berlawanan arah jarum jam yang mana nilai putaran *pulley* (n) didapatkan hasil akhir dalam bentuk rotasi sebesar 64°.

**Hasil Simulasi Rigid Body Dynamic**

Hasil simulasi *rigid body dynamic* yang dimunculkan terdiri dari posisi, kecepatan, dan percepatan dari sendi MCP (*Metacarpophalangeal*), PIP (*Proximal Interphalangeal*), dan DIP (*Distal Interphalangeal*).

1. MCP

Hasil simulasi MCP ditunjukkan pada Tabel 4, Tabel 5, dan Tabel 6.

Tabel 4. Koordinat MCP

Step	Time (s)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
1	0	0	0,2027	45
214	10	0	-39,699	21,19

Tabel 5. Kecepatan MCP

Step	Time (s)	X (m/s)	Y (m/s)	Z (m/s)	Total (m/s)
1	0	0	0	0	0
109	5	0	-4,45 x 10 <sup>-3</sup>	-1,16 x 10 <sup>-3</sup>	4,75 x 10 <sup>-3</sup>
214	10	0	-4,53 x 10 <sup>-3</sup>	-8,49 x 10 <sup>-3</sup>	9,62 x 10 <sup>-3</sup>

Tabel 6. Percepatan MCP

Step	Time (s)	X (m/s <sup>2</sup> )	Y (m/s <sup>2</sup> )	Z (m/s <sup>2</sup> )	Total (m/s <sup>2</sup> )
1	0	0	0	0	0
109	5	0	-2,3 x 10 <sup>-4</sup>	-6,21 x 10 <sup>-4</sup>	6,63 x 10 <sup>-4</sup>
214	10	0	6,42 x 10 <sup>-4</sup>	-3,17 x 10 <sup>-3</sup>	3,23 x 10 <sup>-3</sup>

Hasil didapatkan bahwa kecepatan dari waktu 0, 5, dan 10 detik secara berurutan pada sumbu X adalah 0, 3,69 x 10<sup>-19</sup>, dan 1,89 x 10<sup>-18</sup> m/s, pada sumbu Y adalah 0, -4,45 x 10<sup>-3</sup>, dan -4,53 x 10<sup>-3</sup> m/s, sedangkan pada sumbu Z adalah 0, -1,16 x 10<sup>-3</sup>, dan -8,49 x 10<sup>-3</sup> m/s. Sedangkan untuk percepatan adalah kecepatan dari waktu 0, 5, dan 10 detik secara berurutan pada sumbu X adalah 0, 1,38 x 10<sup>-19</sup>, dan 1,89 x 10<sup>-18</sup> m/s<sup>2</sup>, pada sumbu Y adalah 0, -2,3 x 10<sup>-4</sup>, dan 6,42 x 10<sup>-4</sup> m/s<sup>2</sup>, sedangkan pada sumbu Z adalah 0, -6,21 x 10<sup>-4</sup>, dan -3,17 x 10<sup>-3</sup> m/s<sup>2</sup>.

2. PIP

Hasil simulasi PIP ditunjukkan pada Tabel 7, Tabel 8, dan Tabel 9.

Tabel 7. Koordinat PIP

Step	Time (s)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
1	0	0	-0,87519	67,974
214	10	0	-62,651	22,674

Tabel 8. Kecepatan PIP

Step	Time (s)	X (m/s)	Y (m/s)	Z (m/s)	Total (m/s)
1	0	0	0	0	0
109	5	0	-7,26 x 10 <sup>-3</sup>	-4,89 x 10 <sup>-3</sup>	8,76 x 10 <sup>-3</sup>
214	10	0	-4,65 x 10 <sup>-3</sup>	-1,04 x 10 <sup>-2</sup>	1,14 x 10 <sup>-2</sup>

Tabel 9. Percepatan PIP

Step	Time (s)	X (m/s <sup>2</sup> )	Y (m/s <sup>2</sup> )	Z (m/s <sup>2</sup> )	Total (m/s <sup>2</sup> )
1	0	0	0	0	0
109	5	0	6 x 10 <sup>-4</sup>	-8,83 x 10 <sup>-4</sup>	1,07 x 10 <sup>-3</sup>
214	10	0	8,01 x 10 <sup>-4</sup>	-3,08 x 10 <sup>-3</sup>	3,18 x 10 <sup>-3</sup>

Hasil didapatkan bahwa kecepatan dari waktu 0, 5, dan 10 detik secara berurutan pada sumbu X adalah  $0, 4,23 \times 10^{-18}$ , dan  $-3,26 \times 10^{-18}$  m/s, pada sumbu Y adalah  $0, -3,26 \times 10^{-18}$ , dan  $-4,65 \times 10^{-3}$  m/s, sedangkan pada sumbu Z adalah  $0, -4,89 \times 10^{-3}$ , dan  $-1,04 \times 10^{-2}$  m/s. Untuk percepatan didapatkan dari waktu 0, 5, dan 10 detik secara berurutan pada sumbu X adalah  $0, -8,84 \times 10^{-19}$ , dan  $-2,11 \times 10^{-18}$  m/s<sup>2</sup>, pada sumbu Y adalah  $0, 6 \times 10^{-4}$ , dan  $8,01 \times 10^{-4}$  m/s<sup>2</sup>, sedangkan pada sumbu Z adalah  $0, -8,83 \times 10^{-4}$ , dan  $-3,08 \times 10^{-3}$  m/s<sup>2</sup>.

3. DIP

Hasil simulasi DIP ditunjukkan pada Tabel 10, Tabel 11, dan Tabel 12.

Tabel 10. Koordinat DIP

Step	Time (s)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
1	0	0	-2,7095	91,904
214	10	0	-86,651	22,664

Tabel 11. Kecepatan DIP

Step	Time (s)	X (m/s)	Y (m/s)	Z (m/s)	Total (m/s)
1	0	0	0	0	0
109	5	0	$-1,04 \times 10^{-2}$	$-8,32 \times 10^{-3}$	$1,33 \times 10^{-3}$
214	10	0	$-4,65 \times 10^{-3}$	$-1,22 \times 10^{-2}$	$1,31 \times 10^{-2}$

Tabel 12. Percepatan DIP

Step	Time (s)	X (m/s <sup>2</sup> )	Y (m/s <sup>2</sup> )	Z (m/s <sup>2</sup> )	Total (m/s <sup>2</sup> )
1	0	0	0	0	0
109	5	0	$1,3 \times 10^{-3}$	$-1,46 \times 10^{-3}$	$1,96 \times 10^{-3}$
214	10	0	$9,49 \times 10^{-4}$	$-2,4 \times 10^{-3}$	$2,58 \times 10^{-3}$

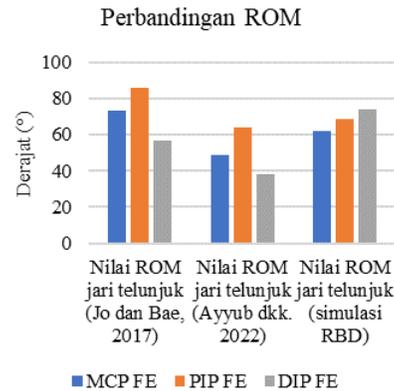
Hasil didapatkan bahwa kecepatan dari waktu 0, 5, dan 10 detik secara berurutan pada sumbu X adalah  $0, 8,28 \times 10^{-18}$ , dan  $-8,48 \times 10^{-18}$  m/s, pada sumbu Y adalah  $0, -1,04 \times 10^{-2}$ , dan  $-4,65 \times 10^{-3}$  m/s, sedangkan pada sumbu Z adalah  $0, -8,32 \times 10^{-3}$ , dan  $-1,22 \times 10^{-2}$  m/s. Sedangkan untuk percepatan DIP adalah waktu 0, 5, dan 10 detik secara berurutan pada sumbu X adalah  $0, -1,97 \times 10^{-18}$ , dan  $-5,17 \times 10^{-18}$  m/s<sup>2</sup>, pada sumbu Y adalah  $1,3 \times 10^{-3}$ , dan  $9,49 \times 10^{-4}$  m/s<sup>2</sup>, sedangkan pada sumbu Z adalah  $0, -1,46 \times 10^{-3}$ , dan  $-2,4 \times 10^{-3}$  m/s<sup>2</sup>.

Range of Motion

Range of Motion didapat dari hasil perhitungan koordinat posisi dari hasil simulasi rigid body dinamic dengan bantuan software Autodesk Inventor Professional 2023.

Tabel 13. Range of Motion robot

Hasil Sudut	MCP FE	PIP FE	DIP FE
Nilai ROM jari telunjuk (Jo dan Bae, 2017)	73°	86°	57°
Nilai ROM jari telunjuk (Ayyub dkk. 2022)	49°	64°	38°
Nilai ROM jari telunjuk (simulasi RBD)	62,17°	68,74°	73,98°



Gambar 1. Diagram perbandingan ROM

Hasil perhitungan Range of Motion didapat bahwa nilai ROM pada jari telunjuk dengan MCP, PIP, dan DIP secara berurutan adalah  $62,17^\circ, 68,74^\circ,$  dan  $73,98^\circ$ . Jika dibandingkan dengan nilai ROM dari penelitian sebelumnya, nilai sudut DIP lebih tinggi daripada yang lainnya. Nilai MCP, PIP, dan DIP pada simulasi ini ketiganya lebih tinggi daripada nilai ROM pada hasil penelitian yang dilakukan oleh Ayyub dkk. (2022).

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat diambil beberapa kesimpulan yaitu desain robot exoskeleton terapi stroke jari telunjuk dengan mekanisme cable and sheet transmission dirancang menggunakan dua

mini servo yang akan dihubungkan dengan masing-masing *pulley* sehingga dapat digunakan untuk menggerakkan jari telunjuk sendi MCP FE, PIP FE, dan DIP FE yang menyerupai pergerakan otot dan sendi jari telunjuk manusia pada umumnya. Nilai *Range of Motion* (ROM) hasil simulasi *Rigid Body Dynamic* (RBD) yaitu ROM sendi MCP FE 62,17°, ROM sendi PIP FE 68,74°, dan ROM sendi DIP FE 73,98°. Kecepatan dan percepatan dari sendi MCP, PIP, dan DIP sendiri juga dipengaruhi oleh koordinat posisi dan waktu yang telah diatur.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Abdallah. (2006). Design and Development of 3D Printed myoelectric Robotic Exoskeleton for Hand Rehabilitation. *Journal on Smart Sensing and Intelligent Systems*, 341-366.
- Avizzano. (2000). The Hand Force Feedback: Analysis and Control of a Haptic Device for the Human-hand. *SMC 2000 Conference Proceeding: 2000 IEEE International Conference*.
- Hariandja. (2013). *Identifikasi Kebutuhan Akan Sistem Rehabilitasi Berbasis Teknologi Terjangkau untuk Penderita Stroke di Indonesia*. Bandung: LPPM Universitas Katolik Parahyangan.
- Jatisukamto. (2009). *Kinematika*. Jember: University Press.
- Joe, & Bae. (2017). Design and Control of a Wearable and Force-controllable Hand Exoskeleton System. *Mechatronics*, 90-101.
- Kemenkes. (2019). *Stroke Dont Be the One*. Jakarta: Kementerian Kesehatan Republik Indonesia.
- Setiyadi. (2021). Perancangan dan Pengendalian manipulator Robot 4-DOF dengan Gripper Berbasis Inverse Kinematics dan Trajectory Planning dengan ROS. *Transient*, 552-558.