

ANALISIS KINEMATIK ANGGOTA GERAK TUBUH ATAS YANG DITERAPI MENGGUNAKAN ROBOT MEJA TERAPI BAHU

*Elang Lyra Bayuh Aji¹, Rifky Ismail², Toni Prahasto²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

E-mail: elanglyra@students.undip.ac.id

Abstrak

Stroke merupakan kondisi medis serius yang disebabkan oleh kematian sel-sel otak akibat kurangnya pasokan oksigen, dengan prevalensi sebesar 10,9% di Indonesia. Penyakit ini menjadi penyebab utama kematian serta disabilitas jangka panjang. Rehabilitasi yang tepat sangat penting untuk membantu pasien stroke mencapai kemandirian dan fungsi motorik optimal. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi penggunaan parameter kinematik sebagai alat ukur dalam menilai kemajuan pasien stroke yang menjalani terapi robotik. Parameter kinematik yang dianalisis meliputi *Movement Accuracy* (MovAcc), *Speed Metric* (SM), *Jerk Metric* (JM), *Movement Duration* (MDur), *Peak Speed* (PS), dan *Number of Peak Speed* (nPS), yang digunakan untuk menilai berbagai aspek gerakan pasien. Data gerakan yang direkam selama terapi diolah menggunakan program Python untuk menghasilkan evaluasi kuantitatif. Hasil analisis menunjukkan perbaikan pada beberapa parameter kinematik setelah 18 sesi terapi. *Movement Accuracy* membaik dari 22,3 ke 6,48, *Movement Duration* membaik dari 118 detik menjadi 78 detik, serta kehalusan gerakan mengalami peningkatan, dengan *Speed Metric* dan *Jerk Metric* meningkat dari 0,12 ke 0,18 dan 11,96 ke 20,9. *Peak Speed* membaik dari 258 m/s menjadi 117 m/s, sementara *Number of Peak Speed* meningkat dari 407 ke 448. Hasil analisis ini menunjukkan bahwa parameter kinematik memberikan evaluasi yang objektif dan komprehensif terhadap perkembangan pasien stroke selama terapi dan memungkinkan penyesuaian rehabilitasi yang lebih efektif untuk mempercepat pemulihan pasien.

Kata kunci: parameter kinematik; penilaian robotik; rehabilitasi; stroke

Abstract

Stroke is a serious medical condition caused by the death of brain cells due to a lack of oxygen supply, with a prevalence of 10.9% in Indonesia. This condition is a leading cause of death and long-term disability. Proper rehabilitation is essential to help stroke patients regain independence and optimal motor function. This study aims to evaluate the use of kinematic parameters as a tool to assess the progress of stroke patients undergoing robotic therapy. The analyzed kinematic parameters include *Movement Accuracy* (MovAcc), *Speed Metric* (SM), *Jerk Metric* (JM), *Movement Duration* (MDur), *Peak Speed* (PS), and *Number of Peak Speed* (nPS), which are used to evaluate various aspects of patient movement. Motion data recorded during therapy were processed using Python to produce a quantitative evaluation. The analysis results showed improvement in several kinematic parameters after 18 therapy sessions. *Movement Accuracy* improved from 22.3 to 6.48, *Movement Duration* improved from 118 seconds to 78 seconds, and movement smoothness increased, with *Speed Metric* and *Jerk Metric* increasing from 0.12 to 0.18 and from 11.96 to 20.9, respectively. *Peak Speed* improved from 258 m/s to 117 m/s, while the *Number of Peak Speed* increased from 407 to 448. These findings demonstrate that kinematic parameters provide an objective and comprehensive evaluation of stroke patient progress during therapy, enabling more effective rehabilitation adjustments to accelerate patient recovery.

Keywords: kinematic parameters; rehabilitation; robotic assessment; stroke

1. Pendahuluan

Stroke adalah kondisi medis serius yang terjadi akibat kematian mendadak sel-sel otak karena kurangnya pasokan oksigen dalam aliran darah ke otak, yang disebabkan oleh penyumbatan pembuluh darah, kerusakan arteri, atau perubahan dalam darah [1]. Stroke merupakan penyebab utama kematian kedua di dunia, dengan 5,5 juta kematian setiap tahun dan prevalensi mencapai 10,9% di Indonesia [2], yang setara dengan sekitar 713.783 kasus per tahun. Kondisi ini juga menyebabkan disabilitas jangka panjang pada hingga 50% penderitanya.

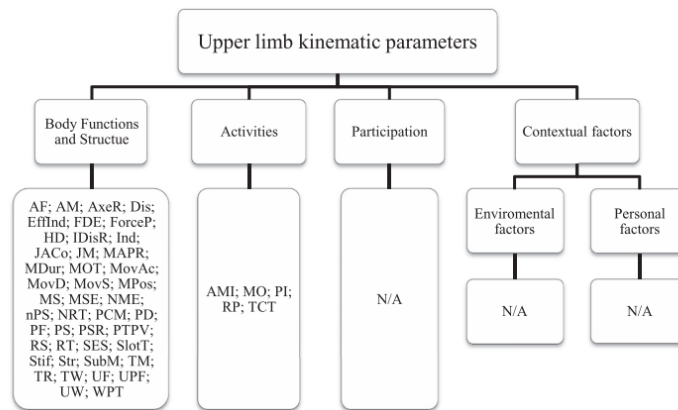
Pasien stroke memerlukan perawatan yang tepat, baik selama di rumah sakit maupun dalam proses pemulihan, untuk mencapai kemandirian dan fungsi optimal. Secara umum, masalah fisioterapi yang dialami pasien stroke meliputi

hemiparese atau kelemahan pada satu sisi tubuh, gangguan sensorik, depresi, gangguan postur dan kontrol tubuh, gangguan keseimbangan, kesulitan dalam pola berjalan, serta hambatan dalam melakukan aktivitas sehari-hari. Penanganan komprehensif bertujuan untuk mengatasi masalah-masalah ini agar pasien dapat kembali berfungsi secara mandiri [3]. Salah satu metode yang sering digunakan dalam rehabilitasi stroke lengan adalah Manual Muscle Test (MMT), yang menilai kualitas otot melalui instruksi terapis untuk melakukan gerakan tertentu atau menguji kekuatan otot terhadap resistensi. Metode ini melibatkan gaya konsentris, di mana terapis memberikan tekanan saat otot pasien berkontraksi, lalu menahan gerakan tersebut untuk mengukur kemampuan otot [4]. Tujuan MMT adalah membantu mendiagnosis kondisi pasien, menentukan terapi yang tepat, dan memprediksi hasil pemulihan atau prognosis [5].

Integrasi teknologi robotik ke dalam pengaturan perawatan kesehatan telah menghasilkan kemajuan terobosan dalam perawatan pasien, diagnostik medis, prosedur bedah, dan proses rehabilitasi. Teknologi robotik telah diterapkan di berbagai bidang termasuk perawatan kesehatan [6]. Dalam sepuluh tahun terakhir, banyak alat robot telah diciptakan untuk membantu rehabilitasi gerakan pada pasien penderita stroke. Teknologi robotik dianggap dapat memperbaiki gangguan gerakan dan membantu proses pemulihan motorik terjadi setelah stroke [7]. Terapi yang dibantu robot (*Robot-assisted therapy*) dapat memberikan perawatan yang intensif, repetitif, spesifik tugas, dan interaktif untuk anggota tubuh atas yang mengalami gangguan [8]. Dengan penggunaan rehabilitasi robotik, penilaian kesembuhan pasien menjadi lebih efektif, dikarenakan metode ini menghasilkan data yang bersifat kuantitatif, sehingga memudahkan pemantauan kemajuan pasien secara objektif [9].

Pusat Unggulan Iptek (PUI) CBIOM3S UNDIP telah mengembangkan berbagai perangkat untuk membantu penderita stroke. Beberapa alat terapi yang dihasilkan termasuk Elbow Exoskeleton dan Wearable Elbow Exoskeleton Robotic Hand, yang berfungsi mengembalikan fungsi saraf pada gerakan siku [10][11]. Selain itu, terdapat alat terapi jari yang dirancang untuk rehabilitasi saraf pada jari-jari tangan [12], Exoskeleton Glove yang membantu memfasilitasi gerakan tangan [13], serta robot meja terapi bahu yang digunakan dalam latihan terapi untuk memulihkan gerakan lengan dan anggota tubuh bagian atas [14].

Salah satu penilaian dalam terapi yang dibantu robot adalah parameter kinematik. Parameter ini memungkinkan evaluasi yang lebih mendetail tentang gerakan dan fungsi anggota tubuh pasien selama proses rehabilitasi. Parameter kinematik adalah ukuran yang digunakan untuk mendeskripsikan aspek-aspek gerakan suatu objek, seperti posisi, kecepatan, waktu, akurasi gerakan, dan kelancaran gerakan. Klasifikasi parameter kinematik berdasarkan *International Classification Function of Disability* (ICF) dibagi menjadi empat domain, yaitu Fungsi dan Struktur Tubuh (*Body Functions and Structures*), Aktivitas dan Partisipasi (*Activities and Participation*), Faktor Lingkungan (*Environmental Factors*), dan Faktor Pribadi (*Personal Factors*) [14] seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Kategori parameter kinematik menurut ICF [15]

Beberapa parameter kinematik yang dapat digunakan sebagai penilaian untuk mengevaluasi perkembangan pasien pengguna Robot Meja Terapi Bahu, antara lain sebagai berikut.

1. *Movement Accuracy* (MovAcc)

Movement Accuracy merupakan tingkat ketepatan gerakan dari anggota gerak atas (tangan) pasien dalam mengikuti alur suatu lintasan yang diberikan [16]. *Movement Accuracy* dapat diperoleh dengan persamaan 1.

$$MovAcc = \sum_{i=1}^n \frac{\sqrt{(Rxi - Pxi)^2 + (Ryi - Pyi)^2}}{n} \quad (1)$$

2. *Speed Metric* (SM)

SM (*speed metric*) didefinisikan sebagai rasio dari rata-rata kecepatan dengan PS. *Speed Metric* dapat diperoleh dengan persamaan 2.

$$SM = \frac{\overline{V_{xy}}}{PS} \quad (2)$$

3. Jerk Metric (JM)

Jerk Metric merupakan tingkat rata-rata perubahan percepatan terhadap waktu dalam suatu gerakan. *Jerk Metric* dapat diperoleh dengan persamaan 3.

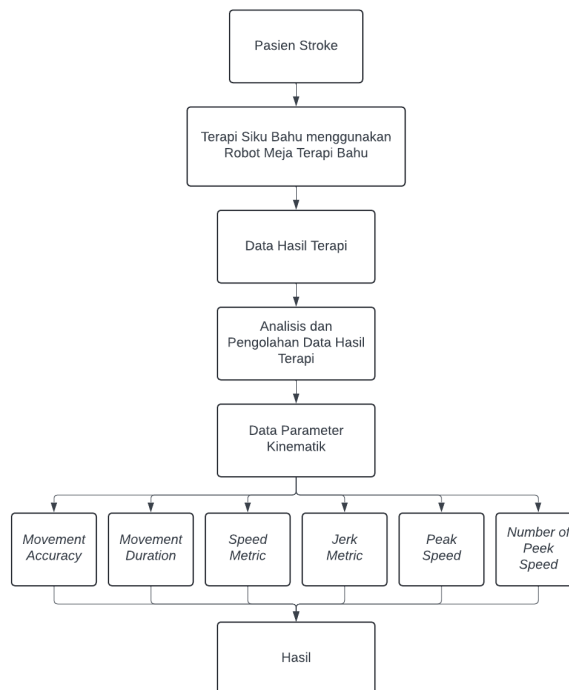
$$JM = \frac{|jerk_{xy}|}{v_{xy\max}} \quad (3)$$

4. PS (*peak speed*) merupakan nilai puncak kecepatan resultan dari lintasan yang ditempuh
5. *Number of Peak Speed (nPS)* merupakan metrik yang digunakan untuk menilai kehalusan gerakan dari pasien stroke. Nilai nPS merupakan jumlah puncak kecepatan yang melewati batas 20% dari PS
6. MDur (*Movement Duration*) merupakan waktu yang dibutuhkan pasien untuk tiap latihan yang dilakukan, semakin kecil nilai MDur berarti semakin cepat suatu task diselesaikan.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hasil parameter kinematik pasien serta mempelajari data dari parameter tersebut untuk menilai perkembangan pasien. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk mengevaluasi penggunaan kinematik sebagai ukuran dalam menilai efektivitas pengukuran kesembuhan pasien pasca stroke.

2. Metode Penelitian

Berikut merupakan diagram alir penelitian yang dilakukan dalam penelitian ini yang ditunjukkan pada Gambar 2. Pada penelitian ini, analisis berfokus pada hasil data parameter kinematik yang dihasilkan, parameter kinematic digunakan sebagai penilaian kemajuan pasien stroke.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

Pasien stroke menggunakan alat terapi robotik untuk menjalani latihan atau terapi pada bidang datar. Terapi ini dirancang untuk membantu mengembalikan fungsi motorik dengan memberikan gerakan yang berulang dan terarah. Selama sesi latihan, alat robotik akan merekam setiap gerakan yang dilakukan oleh pasien, menghasilkan data yang kaya terkait pola gerakan dan aktivitas fisik pasien. Data tersebut mencakup berbagai aspek kinematik yang menjadi indikator penting dalam rehabilitasi motorik.

Data gerakan yang direkam oleh alat terapi kemudian diolah menggunakan program Python untuk mengidentifikasi parameter kinematik pasien. Parameter yang dianalisis meliputi akurasi gerakan, durasi gerakan, metrik kecepatan, metrik sentakan, kecepatan puncak, serta jumlah kecepatan puncak. Analisis ini memberikan gambaran tentang kualitas dan konsistensi gerakan pasien selama latihan. Setelah data diolah, hasil analisis ini digunakan untuk mengevaluasi perkembangan pasien dalam menjalani terapi, sehingga dapat diketahui seberapa jauh peningkatan kemampuan motorik yang dicapai pasien selama proses rehabilitasi.

Dengan adanya data yang akurat dan terperinci ini, terapis dapat membuat penilaian yang lebih objektif mengenai efektivitas terapi yang dijalani pasien. Data kinematik memungkinkan evaluasi yang lebih mendalam dan spesifik, yang pada akhirnya membantu dalam penyesuaian program rehabilitasi untuk meningkatkan hasil terapi dan mempercepat pemulihan pasien stroke.

3. Hasil

3.1 Data Parameter Kinematik

Dari terapi dan latihan yang telah dilakukan oleh pasien, kemudian akan didapatkan data parameter kinematik. Berikut merupakan data parameter kinematik dari salah satu pasien yang dihasilkan ditunjukkan Tabel 1 serta grafik dari parameter kinematik tersebut ditunjukkan pada Gambar 3.

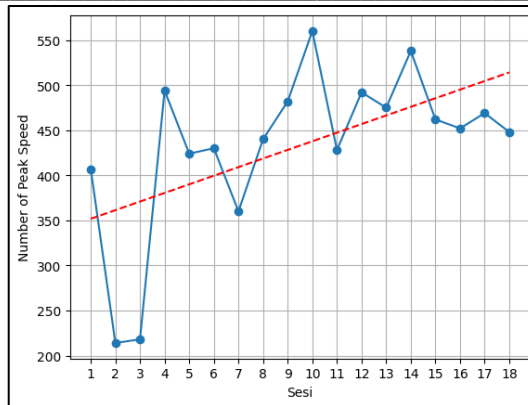
Tabel 1. Hasil parameter kinematik pasien

Sesi	MovAcc (mm)	nPS	MDur (s)	SM	JM	PS (mm/S)
1	23,3	407	118	0,12	11,96	258,58
2	22,71	214	94	0,12	12,95	218,5
3	22,48	218	91	0,12	12,34	230,16
4	22,47	494	62	0,22	23,49	258,15
5	15,06	424	60	0,2	22,88	241,28
6	14,52	430	66	0,2	23,46	220,02
7	14,74	360	87	0,15	15,28	181,08
8	13,46	440	49	0,26	27,71	152,36
9	8,72	482	64	0,2	22,86	195,51
10	9,86	560	52	0,28	32,76	190,8
11	10,96	428	76	0,17	19,4	207,2
12	10,18	492	52	0,28	31,57	176,04
13	8,24	475	56	0,24	24,63	186,14
14	9,85	538	66	0,24	26,08	174,6
15	8,04	462	74	0,17	19,38	206,53
16	6,68	452	72	0,19	20,98	175,97
17	7,13	469	70	0,18	21,19	193,43
18	6,48	448	78	0,18	20,9	177,79
Rata-Rata	13,05	433	72	0,2	21,66	202,45

Dari tabel dan grafik parameter kinematik pasien tersebut, dapat dilihat bahwa adanya kecenderungan pola dan arah data. Untuk data *Movement Accuracy* Tren pada data menunjukkan penurunan (*negative trend*), yang menandakan bahwa *Movement Accuracy* pasien mengalami perbaikan dari hari ke-1 hingga hari ke-18. Dengan kata lain, gerakan pasien semakin mendekati titik target dalam gerakan latihan yang dilakukan.

Untuk data *Speed Metric* menunjukkan kecenderungan data yang bergerak naik (*positive trend*) yang menandakan kenaikan dalam nilai rata-rata SM dari hari ke-1 hingga hari ke-18. Nilai *speed metric* yang semakin tinggi menunjukkan bahwa pasien mengalami peningkatan kontrol dan konsistensi dalam kecepatan gerakannya dari awal hingga akhir program latihan. Pada data *Jerk Metric* menunjukkan kecenderungan yang bergerak naik (*positive trend*) dalam JM. Tren yang menunjukkan kenaikan dalam nilai JM dari hari ke-1 hingga hari ke-18. Nilai *jerk metric* yang semakin tinggi menunjukkan bahwa keseluruhan pasien telah meningkatkan kestabilan dan mengurangi fluktuasi mendadak dalam gerakannya dari awal hingga akhir program.

Untuk data *Movement Duration*, menunjukkan penurunan (*negative trend*), yang menunjukkan bahwa durasi gerakan pasien semakin cepat dari hari ke-1 hingga hari ke-18. Nilai durasi yang semakin rendah, menunjukkan bahwa pasien dapat menyelesaikan suatu terapi atau latihan dengan waktu yang semakin singkat. Pada data *Peak Speed*, kecenderungan data semakin menurun, hal ini menunjukkan gerakan pasien dari hari ke-1 hingga hari ke-18 mengalami peningkatan kehalusan. Untuk data *number of peak speed* pasien tersebut mengalami kenaikan dari hari ke-1 hingga hari ke-18 yang menunjukkan kehalusan gerakan pasien mengalami perkembangan



Gambar 3. Contoh plot grafik parameter kinematic *Number of Peak Speed*

3.2 Perbandingan Data Awal dan Akhir Terapi

Tabel 2. Perbandingan terapi sesi awal dan sesi akhir pasien

Variabel	MovAcc	nPS	MDur	SM	JM	PS
Sesi Awal	23,3	407	118	0,12	11,96	258
Sesi Akhir	6,48	448	78	0,18	20,9	177
Perubahan	-16,82	41	-40	0,06	8,94	-81
Keterangan	Turun	Naik	Turun	Naik	Naik	Turun
Perkembangan	Meningkat	Meningkat	Meningkat	Meningkat	Meningkat	Meningkat

Tabel 2 menunjukkan perbandingan data parameter kinematik pasien antara sesi terapi awal dan sesi akhir. Dari tabel tersebut, dapat diamati perubahan yang terjadi pada setiap parameter kinematik. Perbandingan ini membantu dalam mengidentifikasi perkembangan kemampuan motorik pasien selama proses terapi. *Movement Accuracy* membaik dari 22,3 ke 6,48, *Movement Duration* semakin singkat dari 118 detik ke 78 detik, sementara kehalusan gerak, *Speed Metric* dan *Jerk Metric* meningkat dari 0,12 ke 0,18 untuk SM dan dari 11,96 ke 20,9 untuk JM. *Peak Speed* membaik dari 258 m/s ke 117 m/s, dan *Number of Peak Speed* meningkat dari 407 ke 448. Berdasarkan data yang telah dihasilkan, didapatkan nilai perubahan sesi awal dan sesi akhir terapi pasien tersebut yang ditunjukkan pada tabel 2, bahwa hasil perbandingan yang didapatkan dari parameter kinematik pasien tersebut seluruhnya mengalami perkembangan. Hal ini menunjukkan bahwa pasien tersebut mengalami peningkatan kualitas gerakan dalam proses terapi yang telah dilakukan selama 18 sesi.

4. Kesimpulan

Berdasarkan data yang dihasilkan dalam bentuk tabel dan grafik dari parameter kinematik pasien, dapat diamati bahwa parameter ini memberikan evaluasi komprehensif dan terukur terkait perkembangan kesembuhan pasien stroke. Parameter kinematik mencakup aspek penting seperti akurasi gerakan, durasi gerakan, kecepatan, dan sentakan yang dapat dianalisis secara kuantitatif. Dari hasil analisis pada salah satu pasien, parameter kinematik yang dihasilkan selama 18 sesi terapi menunjukkan perkembangan positif. *Movement Accuracy* membaik dari 22,3 ke 6,48, *Movement Duration* semakin singkat dari 118 detik ke 78 detik, sementara kehalusan gerak, *Speed Metric* dan *Jerk Metric* meningkat dari 0,12 ke 0,18 untuk SM dan dari 11,96 ke 20,9 untuk JM. *Peak Speed* membaik dari 258 m/s ke 117 m/s, dan *Number of Peak Speed* meningkat dari 407 ke 448. Perubahan-perubahan ini menunjukkan perkembangan pada pasien selama proses terapi.

Penggunaan parameter kinematik sebagai alat ukur memberikan nilai objektif dalam mengevaluasi efektivitas terapi, karena data yang dihasilkan tidak hanya bergantung pada pengamatan visual atau subjektif, tetapi juga berdasarkan pengukuran yang akurat dan berulang. Hal ini memungkinkan untuk mendapatkan gambaran yang lebih jelas mengenai respons pasien terhadap terapi, serta melakukan penyesuaian terapi yang lebih tepat. Oleh karena itu, parameter kinematik merupakan alat ukur yang efektif untuk menilai perkembangan kesembuhan pasien stroke secara kuantitatif, memberikan hasil yang lebih obyektif dan terukur.

5. Daftar Pustaka

- [1] Adi, G.S. and Hamid, M.A., 2023. Analisis Luaran Pasien Stroke Dengan Menggunakan Standar Luaran Keperawatan Indonesia. *The Indonesian Journal of Health Science*, 15(1), pp.7-14.
- [2] Pangesti, A., Julianti, H.P., Pudjonarko, D., Rahmawati, M.B. and Ismail, R., 2021. The Effect of Robotic Therapy on Range of Motion and Musle Tone in Ischemic Stroke Patients. *Medica Hospitalia*, 8(1), pp.104-111.

- [3] Saunders, D.H., Greig, C.A. and Mead, G.E., 2014. Physical activity and exercise after stroke: review of multiple meaningful benefits. *Stroke*, 45(12), pp.3742-3747.
- [4] Firdaus, H.M., Naufal, A.F. and Anwar, T., 2024. PROGRAM LATIHAN FISISOTERAPI PADA PASIEN POST ORIF FRACTURE FEMUR 1/3 DISTAL DEXTRA: A CASE REPORT. *Journal of Innovation Research and Knowledge*, 3(10), pp.2163-2174.
- [5] Gerhanawati, I., 2021. Studi Kasus: Program Fisioterapi Pada Low Back Pain Myogenik. *Jurnal Keperawatan Muhammadiyah*, 6(3).
- [6] NURUL AZMI APRIANTI, N.A.A., Robotika Kesehatan: Tren Terkini dalam Layanan Medis dan Rehabilitasi. *Jurnal Multidisiplin West Science*.
- [7] Mazzoleni, S., Sale, P., Tiboni, M., Franceschini, M., Carrozza, M.C. and Posteraro, F., 2013. Upper limb robot-assisted therapy in chronic and subacute stroke patients: a kinematic analysis. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, 92(10), pp.e26-e37.
- [8] Goffredo, M., Mazzoleni, S., Gison, A., Infarinato, F., Pournajaf, S., Galafate, D., Agosti, M., Posteraro, F. and Franceschini, M., 2019. Kinematic Parameters for Tracking Patient Progress during Upper Limb Robot-Assisted Rehabilitation: An Observational Study on Subacute Stroke Subjects. *Applied Bionics and Biomechanics*, 2019(1), p.4251089.
- [9] Liu, Y., Song, Q., Li, C., Guan, X. and Ji, L., 2020. Quantitative Assessment of Motor Function for Patients with a Stroke by an End-Effector Upper Limb Rehabilitation Robot. *BioMed research international*, 2020(1), p.5425741.
- [10] Sasono, A.A., Ismail, R. and Setiyana, B., 2022. Pengembangan Desain Alat Terapi Elbow Exoskeleton Untuk Penderita Stroke. *Jurnal Teknik Mesin*, 10(2), pp.183-188.
- [11] Pangesti, A., Julianti, H.P., Pudjonarko, D., Rahmawati, M.B. and Ismail, R., 2021. Pengaruh Robotic Therapy dalam Meningkatkan ROM dan Memperbaiki Tonus Pasien Stroke Iskemik. *Medica Hospitalia: Journal of Clinical Medicine*, 8(1), pp.104-111.
- [12] Mustofa, R., Ismail, R. and Setiyana, B., 2022. Perancangan Dan Pengembangan Produk Alat Terapi Jari Untuk Membantu Proses Rehabilitasi Pasien Pasca Stroke. *Jurnal Teknik Mesin*, 10(2), pp.145-150.
- [13] Ismail, R., Ariyanto, M., Setiawan, J.D., Hidayat, T. and Nuswantara, L.K., 2024. Design and testing of fabric-based portable soft exoskeleton glove for hand grasping assistance in daily activity. *HardwareX*, 18, p.e00537.
- [14] Wijaya, Y., Ismail, R. and Prahasto, T., 2023. Task and Kinematic Parameters for Upper Limb Stroke Patient: A Review. *Journal of Biomedical Science and Bioengineering*, 2(2), pp.50-62.
- [15] Do Tran, V., Dario, P. and Mazzoleni, S., 2018. Kinematic measures for upper limb robot-assisted therapy following stroke and correlations with clinical outcome measures: A review. *Medical engineering & physics*, 53, pp.13-31.
- [16] Colombo, R., Pisano, F., Micera, S., Mazzone, A., Delconte, C., Carrozza, M.C., Dario, P. and Minuco, G., 2005. Robotic techniques for upper limb evaluation and rehabilitation of stroke patients. *IEEE transactions on neural systems and rehabilitation engineering*, 13(3), pp.311-324.