

PENGEMBANGAN ROBOT REHABILITASI LENGAN BEGI PENDERITA STROKE BERBASIS ARTIFICIAL INTELLIGENCE DAN INTERNET OF THINGS

Abdul Kadir Muhammad^{1,*}, Mukhtar², Dwijansen Ari Saputra^{3,**}, Akhmad Rasyad^{4,**}
^{1,2,3,4} Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar

ABSTRACT

This study aims to develop an arm rehabilitation robot for stroke patients based on Artificial Intelligence (AI) and the Internet of Things (IoT). The designed system enables the robot to perform rehabilitation exercises automatically, based on patient condition data collected and analyzed using AI. The system development process involves several key stages. First, the AI algorithm is enhanced to ensure that patient data analysis becomes more accurate and relevant to rehabilitation needs. Second, IoT integration is applied to support remote control via a smartphone application, facilitating user operation in various locations. Third, the system is equipped with real-time rehabilitation data storage using Firebase, enabling more structured and secure data management. Additionally, the robot's mechanical design is upgraded with linear motors and sturdier mechanical components, allowing the robot to withstand loads of up to 90 kg. The research results show that this robot can provide personalized exercises tailored to the patient's physical condition. The IoT implementation also expands system accessibility, making robot monitoring and control more efficient and cost-effective. Thus, the system is expected to improve the quality of rehabilitation services for stroke patients in various situations.

Keywords: *Artificial Intelligence, Internet of Things, Rehabilitation Robot, Stroke*

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan robot rehabilitasi lengan bagi penderita stroke berbasis Artificial Intelligence (AI) dan Internet of Things (IoT). Sistem yang dirancang memungkinkan robot melakukan latihan rehabilitasi secara otomatis berdasarkan data kondisi pasien yang dikumpulkan dan dianalisis menggunakan AI. Proses pengembangan sistem mencakup beberapa tahap penting. Pertama, peningkatan algoritma AI dilakukan untuk memastikan analisis data pasien menjadi lebih akurat dan relevan terhadap kebutuhan rehabilitasi. Kedua, integrasi IoT diterapkan untuk mendukung kendali jarak jauh menggunakan aplikasi smartphone, sehingga memudahkan pengguna dalam mengoperasikan robot di berbagai lokasi. Ketiga, sistem ini dilengkapi dengan penyimpanan data rehabilitasi secara real-time menggunakan Firebase, memungkinkan pengelolaan data yang lebih terstruktur dan aman. Selain itu, desain mekanis robot diperbarui dengan penggunaan motor linear dan komponen mekanik yang lebih kokoh, memungkinkan robot menahan beban hingga 90 kg. Hasil penelitian menunjukkan bahwa robot ini mampu memberikan latihan yang dipersonalisasi sesuai kondisi fisik pasien. Implementasi IoT juga memperluas aksesibilitas sistem, memungkinkan pengawasan dan kendali robot menjadi lebih efisien serta hemat biaya. Dengan demikian, sistem ini diharapkan dapat meningkatkan kualitas layanan rehabilitasi bagi pasien stroke di berbagai situasi.

Kata Kunci: *Artificial Intelligence, Internet of Things, Robot Rehabilitasi, Stroke*

1. PENDAHULUAN

Penyakit tidak menular, seperti stroke, merupakan salah satu penyebab utama kematian di dunia, termasuk di Indonesia. Stroke menjadi penyakit yang sangat menakutkan karena merupakan pembunuh ketiga terbesar setelah penyakit jantung dan kanker [1]. Kondisi ini terjadi ketika aliran darah ke otak terganggu, baik karena penyumbatan (stroke iskemik) atau pecahnya pembuluh darah (stroke hemoragik), yang menyebabkan sel-sel otak mati [2]. Meskipun stroke dapat diobati, pemulihan penuh sering kali membutuhkan terapi jangka panjang, termasuk fisioterapi. Salah satu perkembangan terbaru dalam terapi stroke adalah penggunaan robot

* Korespondensi penulis: Abdul Kadir Muhammad, email kadir.muhammad@poliupg.ac.id

** Mahasiswa

rehabilitasi yang dapat membantu menggerakkan bagian tubuh pasien yang lumpuh. Namun, tingginya biaya teknologi ini membuatnya hanya tersedia di rumah sakit besar atau pusat rehabilitasi mewah. Penelitian ini bertujuan untuk mengatasi tantangan tersebut dengan mengembangkan robot rehabilitasi lengan bagi penderita stroke yang lebih terjangkau. Pada tahap awal pengembangan, fokusnya adalah pada peningkatan sistem kontrol menggunakan PID berbasis *Internet of Things* (IoT) untuk meningkatkan akurasi dan responsivitas Gerakan[3]. Selain itu, perbaikan mekanisme alat dilakukan untuk membuatnya lebih kokoh dan efisien dalam membantu pasien. Pada pengembangan lebih lanjut, penelitian ini berfokus pada integrasi kecerdasan buatan (AI) untuk memungkinkan robot memberikan latihan rehabilitasi secara otomatis berdasarkan data pasien sebelumnya.

Hal ini diharapkan dapat meningkatkan efisiensi dan efektivitas proses rehabilitasi, sehingga teknologi ini bisa diakses oleh lebih banyak penderita stroke.

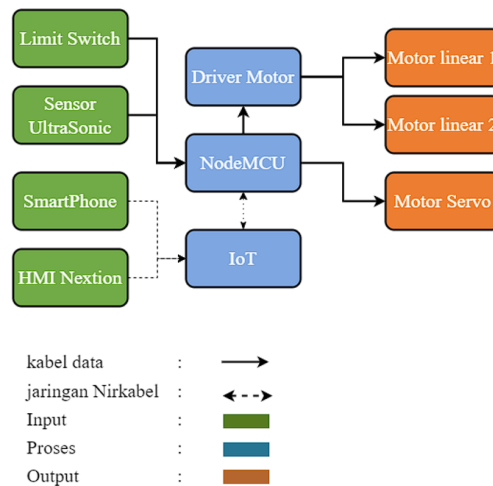
2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Mekatronika Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar, Sulawesi Selatan. Waktu pelaksanaan dimulai dari Januari hingga Agustus 2024. Sistem terdiri dari tiga bagian, yaitu sistem mekanik, sistem kelistrikan dan elektronik, dan sistem kendali dan perangkat lunak. Perancangan mekanik pada robot rehabilitasi berupa sebuah desain konstruksi dan posisi dari komponen-komponen mekanik untuk membentuk sebuah robot rehabilitasi. Rancangan sistem mekanik seperti pada gambar 1



Gambar 1. Desain sistem mekanik robot

Untuk perancangan Elektronik pada alat ini dibuat dengan menggunakan pcb custom untuk memperkecil tempat atau space dalam peletakkannya serta untuk memperkecil dimensi dari alat ini. Susunan komponen elektronika yang digunakan pada alat ini seperti pada Gambar 2. Untuk gerak maju-mundur dan naik-turun digunakan motor linear[4], sedangkan untuk gerak kiri-kanan digunakan aktuator motor servo[5].



Gambar 2. Diagram blok sistem elektronik

Sistem AI yang dikembangkan bertujuan untuk manajemen data pasien dan memberikan rekomendasi latihan fisioterapi yang dipersonalisasi, yang dapat diakses melalui aplikasi mobile. Data pasien disimpan di server menggunakan Firebase, dan dianalisis menggunakan logika fuzzy untuk menentukan latihan yang sesuai, dengan mempertimbangkan kemampuan gerak, kondisi nyeri, dan waktu yang tersedia. Sistem ini menggunakan motor linear dan servo untuk menjalankan gerakan sesuai dengan rekomendasi yang dihasilkan oleh AI.

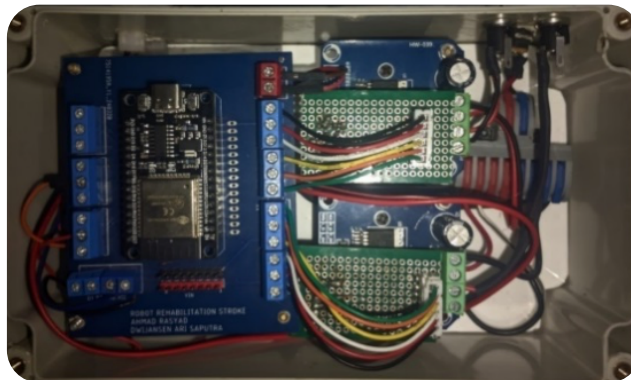
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada perancangan mekanik penelitian ini memiliki 3 penggantian mekanisme alat karena mekanisme alat sebelumnya tidak optimal. Penggantian mekanisme alat tersebut adalah sebagai berikut: (1) Menggunakan motor linear dengan spesifikasi kecepatan 20mm/s dan memiliki gerakan yang halus, (2) Menggunakan Servo dengan Spesifikasi 40kg/cm dengan kinerja maksimal pada 6.8v, (3) Menggunakan Gear plastik dengan Bahan ABS dengan tingkat kepadatan yang tinggi dan juga memiliki 2 kali ketebalan dari sebelumnya. Kita dapat melihat pada Gambar 3.



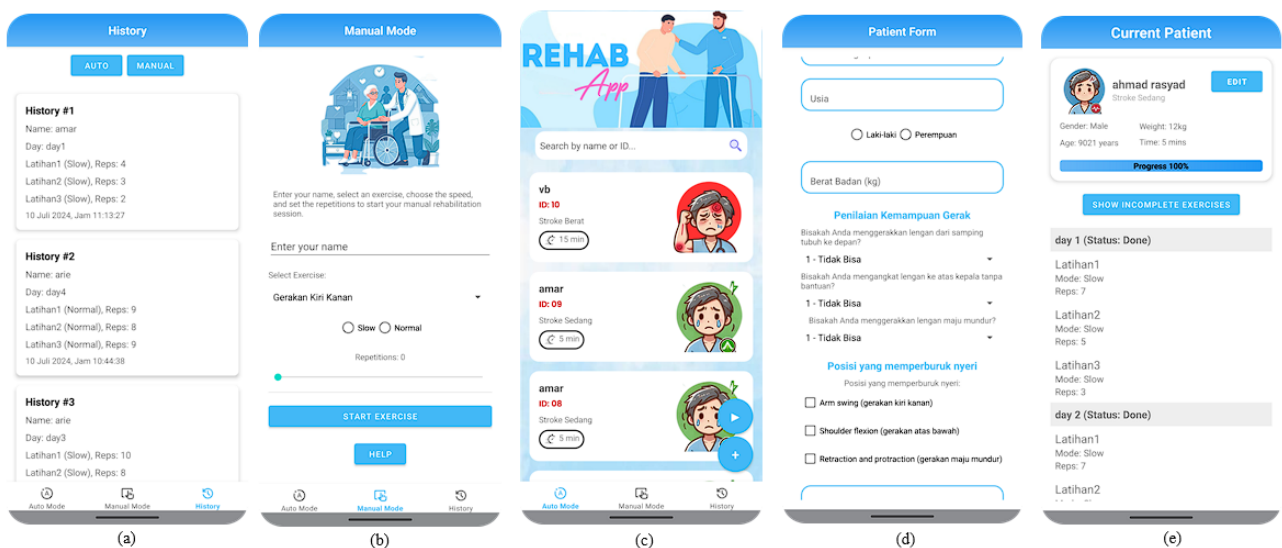
Gambar 3. Robot rehabilitasi lengan

Dalam perancangan sistem elektronik ini, penulis menggunakan dua ESP32 sebagai pengontrol utama, yang berfungsi sebagai perangkat komunikasi IoT dan mikrokontroler. Satu ESP32 digunakan untuk kontrol, sementara yang lain untuk HMI (Human-Machine Interface) yang terhubung ke server Firestore. Penginputan data yang sebelumnya menggunakan keypad digantikan dengan HMI Nextion, dan PCB dibuat untuk mempermudah perakitan. Penulis juga menggunakan power supply sebagai sumber tegangan, mengganti motor driver BTS yang rusak, serta meng-upgrade servo untuk meningkatkan stabilitas sistem. Kotak kontrol kini dipasang tetap di bagian belakang robot untuk memudahkan penggunaan.



Gambar 4. Hasil perancangan elektronik

Perancangan dan pembuatan program robot rehabilitasi lengan dibagi menjadi tiga bagian: pemrograman pada Arduino IDE, HMI Nextion, dan Android Studio. Aplikasi smartphone yang dikembangkan menggunakan Android Studio memiliki tiga fitur utama: Auto Mode untuk rekomendasi latihan otomatis berdasarkan data pasien, Manual Mode untuk penyesuaian latihan, dan History untuk mencatat riwayat sesi latihan. Sementara itu, Arduino IDE digunakan untuk mengatur proses kerja alat



Gambar 1. (a) History (b) Manual mode (c) Dashboard (d) Form pengisian data (e) Data detail pasien



Gambar 6. Tampilan HMI nextion

Pengujian motor servo dan motor linear pada sistem robot rehabilitasi lengan pasien pasca stroke menunjukkan performa yang stabil. Motor servo, yang mengendalikan gerakan rotasi lengan, beroperasi pada tegangan stabil 6.8V. Dalam mode lambat, motor ini bekerja baik dengan beban hingga 80 kg, tetapi di mode normal menunjukkan ketidakstabilan tanpa beban. Motor linear, yang bertugas menggerakkan lengan dalam arah vertikal (atas-bawah), mampu mengangkat beban hingga 90 kg secara konsisten dalam kedua mode. Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa sistem mampu mengakomodasi gerakan lengan sesuai berat pasien, menjadikan alat ini andal untuk rehabilitasi pasien pasca stroke.

Tabel 1. Hasil pengujian beban

No	Mode	Motor	50 kg	60 kg	70 kg	80 kg	90 kg
1	Lambat	Servo (Rotasi) Linear	Bergerak	Bergerak	Bergerak	Bergerak	Bergerak
2	Lambat	(Vertikal)	Bergerak	Bergerak	Bergerak	Bergerak	Bergerak
3	Normal	Servo (Rotasi) Linear	Bergerak	Bergerak	Bergerak	Bergerak	Bergerak
4	Normal	(Vertikal)	Bergerak	Bergerak	Bergerak	Bergerak	Bergerak

Pada pengujian ini dilakukan untuk mengevaluasi efektivitas sistem rekomendasi latihan berbasis AI dalam memberikan latihan yang dipersonalisasi berdasarkan data pasien, serta menentukan waktu optimal untuk setiap sesi Latihan. Pengujian dilakukan dengan melibatkan pasien dengan menginput data di aplikasi smartphone, yaitu (1) Kemampuan Angkat Tangan di Atas Kepala: 2, (2) Kemampuan Gerakan Maju-Mundur: 3, (3) Kemampuan Gerakan Samping ke Depan: 1, (4) Posisi Nyeri: Tidak ada, (5) Waktu Latihan: 5 menit. Berdasarkan pengujian, diperoleh data bahwa waktu yang dibutuhkan untuk setiap latihan adalah sebagai berikut:

Tabel 2. Waktu (detik) latihan

Latihan	Gerakan	Slow (Detik)	Normal (Detik)
Latihan 1	Kiri-Kanan	11 detik	9 detik
Latihan 2	Naik-Turun	16 detik	9 detik
Latihan 3	Maju-Mundur	30 detik	16 detik

Sistem AI memberikan rekomendasi latihan yang bervariasi setiap hari. Hasil pengujian selama 14 hari ditampilkan pada tabel berikut:

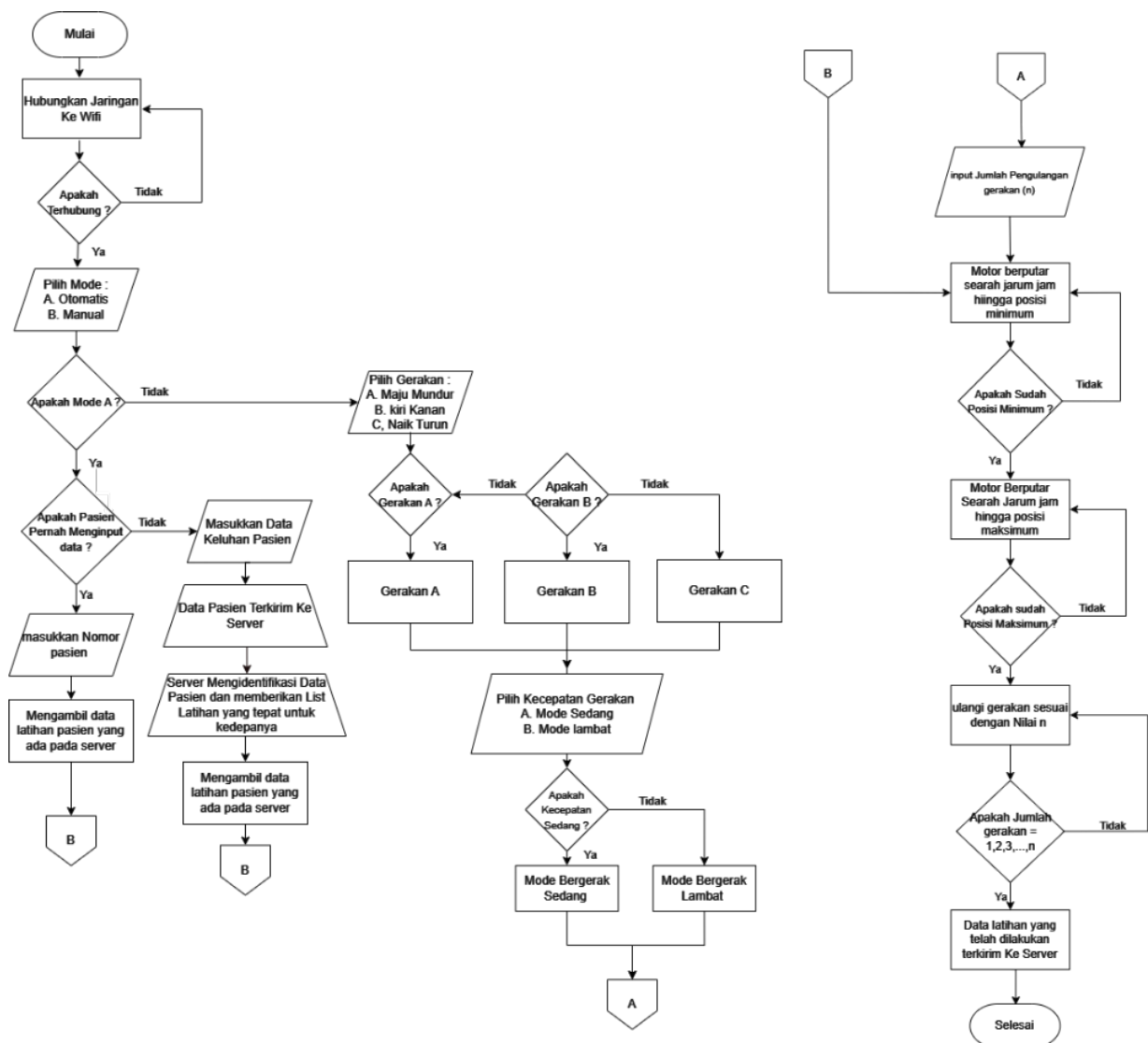
Tabel 3. Hasil rekomendasi latihan

Hari	Repetisi Latihan			Mode Latihan			Total waktu (s)
	1	2	3	1	2	3	
1	10	6	4	Slow	Slow	Slow	327 Detik
2	7	5	4	Slow	Slow	Slow	276 Detik
3	10	6	4	Slow	Slow	Slow	327 Detik
4	7	5	4	Slow	Slow	Slow	277 Detik
5	10	6	4	Slow	Slow	Slow	328 Detik
6	7	5	4	Slow	Slow	Slow	279 Detik
7	10	6	4	Slow	Slow	Normal	272 Detik
8	9	7	6	Slow	Slow	Normal	305 Detik
9	10	6	4	Slow	Slow	Normal	272 Detik
10	10	8	7	Slow	Normal	Normal	290 Detik
11	12	8	6	Slow	Normal	Normal	297 Detik
12	10	8	7	Normal	Normal	Normal	272 Detik
13	12	8	6	Normal	Normal	Normal	274 Detik
14	10	8	7	Normal	Normal	Normal	272 Detik

Berdasarkan hasil pengujian, sistem memberikan latihan yang disesuaikan dengan kemampuan fisik dan kebutuhan pasien, menunjukkan peningkatan signifikan dalam kemampuan fisik mereka. Latihan yang direkomendasikan sesuai dengan data pasien, membantu menghindari kelelahan dan cedera.

Akurasi waktu latihan menunjukkan bahwa mode lambat memakan waktu lebih lama tetapi lebih stabil dan aman. Mode normal mengurangi waktu latihan tanpa mengurangi efektivitas, dengan perbedaan waktu sekitar 2-3 detik. Ini membuktikan bahwa sistem mampu memberikan rekomendasi waktu latihan yang akurat sesuai dengan kebutuhan pasien.

Untuk pasien yang mengalami nyeri pada gerakan tertentu, sistem menyesuaikan jumlah repetisi dan mode latihan untuk mengurangi ketidaknyamanan. Repetisi dikurangi dan mode latihan diatur ke lambat pada awalnya, kemudian meningkat secara bertahap dari hari ke hari. Hal ini membantu pasien beradaptasi dengan latihan tanpa menyebabkan ketidaknyamanan berlebihan. Gambar 7 menunjukkan diagram alir prosedur pengoperasian robot yang telah dihasilkan



Gambar 7. Diagram alir prosedur pengoperasian robot

4. KESIMPULAN

Dengan dikembangkannya sistem kecerdasan buatan, robot ini mampu memberikan latihan rehabilitasi otomatis berdasarkan data yang diinput pengguna, meningkatkan efisiensi dan efektivitas tanpa perlu input data eksternal berulang dan penggantian motor linear, servo dan penggunaan gear ABS lebih tebal meningkatkan kemampuan alat menahan beban lebih berat, serta membuat gerakan lengan robot lebih halus dan responsif.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pimpinan Politeknik Negeri Ujung Pandang atas dukungan dana hibah penelitian, serta kepada seluruh tenaga pendidik yang telah menyediakan fasilitas. Terima kasih juga disampaikan kepada pembimbing yang telah memberikan ilmu dan bimbingan. Dukungan semua pihak sangat berarti untuk kelancaran dan keberhasilan penelitian ini.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. Junaidi, **Stroke Waspada! Ancamannya**. Yogyakarta: ANDI, 2011.
- [2] D. N. S. Purqoti, H. Rispawati, and F. Romadonika, "Upaya pencegahan penyakit stroke melalui promosi kesehatan dan senam ergonomik di Desa Kediri Lombok Barat," unpublished, 2020.
- [3] A. R. Fahrudin, "Pengembangan robot rehabilitasi lengan bagi penderita stroke dengan kontrol PID berbasis Internet of Things," unpublished, 2023.
- [4] J. Liu, "Linear Motor," 19 Januari 2015. [Online]. Available: <https://www.andmotor.com/linear-motor/>. [Accessed: 10-Jun-2022].
- [5] Robotdigg, "Digital Coreless Servo DS3235SG 35Kg Metal Steering Gear High Torque Waterproof," [Online]. Available: <https://www.robotdigg.com/product/1849/>. [Accessed: 10-Jul-2022].