

SISTEM MONITORING SINYAL EMG PADA ROBOT REHABILITASI LENGAN BAGI PENDERITA STROKE BERBASIS WEBSITE

Abdul Kadir Muhammad^{1,*}, Mukhtar², Alfito Aldo^{3,**}, Muh. Aswin^{4,**}, Nuralam Sam⁵

^{1,2,3,4}Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar

⁵ Departemen Kedokteran Fisik dan Rehabilitasi Fakultas Kedokteran Universitas Hasanuddin, Makassar

ABSTRACT

This study discusses the design of a monitoring system based on electromyography (EMG) signals integrated with an arm rehabilitation robot. The system is designed to support patient condition analysis through a website, which serves as a platform for monitoring, therapy decision-making, and indirect control of the robot. Patient EMG data are obtained through sensors and processed by an ESP32 microcontroller to generate parameters such as Mean Frequency (MNF), Median Frequency (MDF), Mean Power (MPw), and Average Power (APw). These parameters are transmitted to the Firebase Realtime Database for website access. The website displays patient data in tables and graphs, and it is equipped with an artificial intelligence (AI) module to classify muscle strength levels based on the Manual Muscle Testing (MMT) scale. Based on this classification, the system provides exercise recommendations that can be reviewed and adjusted by doctors before being sent to the robot. Testing shows that the system workflow, from data acquisition to instruction delivery, operates consistently with an average response time of 1–2 seconds. Thus, this system can serve as a web-based monitoring solution that supports a more structured and well-documented patient rehabilitation process.

Keywords: *Artificial Intelligence, Electromyography (EMG), Monitoring, Rehabilitation Robot, Website.*

ABSTRAK

Penelitian ini membahas perancangan sistem *monitoring* berbasis sinyal elektromiografi (EMG) yang terintegrasi dengan robot rehabilitasi lengan. Sistem dirancang untuk mendukung analisis kondisi pasien melalui media *website*, yang berfungsi sebagai sarana *monitoring*, pengambilan keputusan terapi, serta kontrol tidak langsung bagi robot. Data EMG pasien diperoleh melalui sensor, kemudian diolah oleh mikrokontroler ESP32 untuk menghasilkan parameter *Mean Frequency* (MNF), *Median Frequency* (MDF), *Mean Power* (MPw), dan *Average Power* (APw). Hasil parameter dikirimkan ke *Firestore Realtime Database* agar dapat diakses oleh *website*. *Website* menampilkan data pasien dalam bentuk tabel dan grafik, serta dilengkapi modul kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence*) untuk mengklasifikasikan tingkat kemampuan otot berdasarkan skala *Manual Muscle Testing* (MMT). Berdasarkan klasifikasi tersebut, sistem memberikan rekomendasi latihan yang dapat ditinjau dan disesuaikan oleh dokter sebelum dikirim ke robot. Pengujian menunjukkan bahwa alur sistem, mulai dari akuisisi data hingga pengiriman instruksi, berjalan konsisten dengan waktu respon rata-rata 1–2 detik. Dengan demikian, sistem ini dapat menjadi solusi *monitoring* berbasis *website* yang mendukung proses rehabilitasi pasien secara lebih terstruktur dan terdokumentasi.

Kata Kunci: *Elektromiografi (EMG), Kecerdasan Buatan, Monitoring, Robot Rehabilitasi, Website.*

1. PENDAHULUAN

Menurut WHO (2015), stroke terjadi karena terganggunya suplai darah ke otak, baik akibat perdarahan maupun penyumbatan, yang berujung pada kerusakan jaringan otak [1]. Menurut data Kementerian Kesehatan Republik Indonesia (2018), jumlah penduduk yang terdiagnosis stroke meningkat dari 7% pada 2013 menjadi 10,9% pada 2018 [2]. Stroke yang merusak jaringan otak dapat mengakibatkan berkurangnya fungsi gerak. Gejala yang umum muncul yaitu kelemahan otot, seperti pada bagian lengan [3].

Rehabilitasi menjadi solusi utama dalam mengatasi kelemahan anggota tubuh akibat stroke. Rehabilitasi pada pasien stroke dapat dimulai lebih awal setelah kondisi tubuh stabil dan menunjukkan perbaikan. Tujuan utama dari perawatan suportif tahap awal ini adalah memulihkan fungsi saraf melalui latihan fisik [4]. Seiring perkembangan teknologi, muncul metode rehabilitasi berbasis perangkat digital yang dinilai lebih interaktif, efektif, dan mandiri dibandingkan pendekatan konvensional [5]. Salah satu inovasi

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

** Mahasiswa Tingkat Sarjana (S1)

yang banyak diterapkan adalah pemanfaatan robot, yang dianggap sebagai solusi menjanjikan di bidang rehabilitasi. Dengan dukungan robot rehabilitasi, latihan intensif, repetitif, dan interaktif dapat dilakukan meskipun tanpa kehadiran langsung seorang terapis [6].

Meskipun inovasi teknologi dalam rehabilitasi memberikan banyak keuntungan, masih terdapat tantangan seperti pemantauan kondisi pasien yang tidak konsisten. Ini terjadi karena pemantauan proses terapi masih menggunakan metode konvensional yang mengharuskan pasien dan terapis hadir secara langsung di tempat terapi. Hal ini dapat menjadi kendala bagi pasien yang tinggal jauh dari pusat layanan kesehatan, karena mereka harus menempuh jarak yang cukup jauh untuk mendapatkan terapi. Kurangnya pemantauan yang kontinu dapat mempengaruhi efektivitas rehabilitasi, karena data perkembangan pasien tidak selalu tercatat secara *real-time* dan keputusan penyesuaian program terapi sering tertunda.

Seiring dengan perkembangan teknologi, pemanfaatan sistem monitoring dalam rehabilitasi dapat menjadi solusi. Sistem ini memungkinkan pengawasan kondisi pasien secara *real-time*, sehingga tenaga medis dapat memantau perkembangan terapi dari jarak jauh. Data yang terkumpul pada sistem monitoring juga dapat dijadikan dasar untuk evaluasi dan pengambilan keputusan terkait program rehabilitasi, sehingga terapi dapat disesuaikan dengan kebutuhan individu pasien. Dengan adanya sistem ini, proses rehabilitasi menjadi lebih efektif, interaktif, dan fleksibel, sekaligus mendukung pasien untuk menjalani terapi secara mandiri dengan pengawasan profesional.

Beberapa penelitian terkait telah mengembangkan alat bantu rehabilitasi berbasis robot untuk membantu pemulihan fungsi motorik pasien stroke. Amali dan Batan (2021) merancang alat rehabilitasi pergelangan tangan pasien pasca stroke yang digerakkan oleh motor servo dan dikendalikan menggunakan mikrokontroler Arduino UNO. Penelitian ini menitikberatkan pada desain mekanik dan kenyamanan penggunaan, namun belum mengintegrasikan sensor fisiologis maupun sistem monitoring berbasis web yang memungkinkan pemantauan terapi secara *real-time* [7]. Ompusunggu et al. (2022) juga mengusulkan alat terapi lengan dengan desain menyerupai sarung tangan dan pengendalian menggunakan *remote control* serta aplikasi *Bluetooth*, tetapi sistem tersebut belum memiliki kemampuan pemantauan kondisi pasien secara langsung [8].

Beberapa penelitian lain telah menerapkan sistem monitoring *real-time* dalam bidang rehabilitasi dan kesehatan. Ekambaram dan Ponnusamy (2024) mengembangkan sistem *web dashboard* untuk memantau latihan rehabilitasi punggung bawah secara *real-time* menggunakan *pose analysis* berbasis *Streamlit*, yang menunjukkan efektivitas teknologi berbasis *web* dalam meningkatkan keterpantau pasien selama proses terapi [9]. Sementara itu, Xiong et al. (2024) merancang sistem pemantauan sinyal EEG dan EMG secara *real-time* melalui perangkat *wearable* berbasis IoT untuk pasien *cerebral palsy*. Sistem tersebut memperlihatkan potensi integrasi sensor fisiologis dalam rehabilitasi, meskipun belum difokuskan pada pasien stroke atau pemantauan berbasis *web* jarak jauh [10].

Penelitian oleh Rasyad dan Ari (2024) menjadi dasar dari penelitian ini, di mana mereka telah merancang alat rehabilitasi lengan otomatis untuk pasien stroke. Namun, sistem tersebut belum menggunakan sensor EMG sebagai pendeteksi aktivitas otot dan belum memiliki sistem *monitoring* berbasis *website* yang dapat diakses secara jarak jauh dan *real-time* [11].

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini mengembangkan sistem rehabilitasi lengan berbasis IoT dengan penambahan sensor EMG untuk mendeteksi sinyal otot pasien secara langsung, serta fitur *monitoring* berbasis *web* yang memungkinkan dokter atau terapis memantau perkembangan terapi dari jarak jauh secara *real-time*. Selain itu, sistem ini juga dilengkapi algoritma kecerdasan buatan (AI) untuk mengklasifikasikan level kemampuan otot pasien secara otomatis, sehingga membantu tenaga medis dalam melakukan analisis dan evaluasi terapi secara lebih objektif dan efisien. Dengan demikian, tujuan dari penelitian ini adalah untuk merancang dan mengimplementasikan sistem rehabilitasi lengan pasien stroke berbasis IoT yang dilengkapi sensor EMG, *web monitoring real-time*, dan kecerdasan buatan (AI) guna memudahkan tenaga medis dalam memantau perkembangan terapi serta mengevaluasi kemampuan otot pasien secara objektif.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Robotika dan Kontrol Politeknik Negeri Ujung Pandang serta di Rumah Sakit Universitas Hasanuddin, yang berlokasi di Jl. Perintis Kemerdekaan No.Km.10, Tamalanrea, Kota Makassar, Sulawesi Selatan. Waktu pelaksanaan penelitian dimulai pada bulan Oktober 2024 hingga Juli 2025. Fokus utama penelitian ini adalah pada perancangan *website* yang berfungsi sebagai media *monitoring* kondisi otot pasien, sarana pengambilan keputusan terapi oleh dokter, sekaligus media kontrol jarak jauh.



Gambar 1 Diagram blok sistem *monitoring* dan kontrol robot rehabilitasi lengan

Diagram blok sistem *monitoring* dan kontrol robot rehabilitasi lengan ditunjukkan pada Gambar 1, yang diawali dengan pengambilan data sinyal otot pasien melalui sensor sinyal otot (EMG). Data yang diperoleh kemudian diolah oleh mikrokontroler ESP32 untuk menghasilkan beberapa parameter yaitu *Mean Frequency* (MNF), *Median Frequency* (MDF), *Mean Power* (MPw), dan *Average Power* (APw). Hasil pengolahan dikirimkan ke *Firestore Realtime Database* agar dapat diakses secara jarak jauh. *Website* yang terhubung dengan *Firestore* menampilkan data tersebut dalam bentuk tabel dan grafik sehingga memudahkan dokter dalam melakukan analisis.

Website dikembangkan menggunakan HTML, CSS, dan JavaScript dengan dukungan *Firestore SDK* (JavaScript API) sebagai penghubung antara aplikasi dan *database*. *Website* dihosting melalui *Firestore Hosting* dan dikembangkan menggunakan *code editor Visual Studio Code*. Halaman utamanya mencakup menu *Home*, *Analysis & Recommendation*, *History*, dan *About*, dengan fitur utama pada menu *Analysis & Recommendation* untuk menampilkan tabel data pasien dan grafik sinyal EMG secara *real-time*. Proses pembaruan data di *website* dilakukan secara otomatis melalui *event listener Firestore* tanpa perlu *refresh manual*.

Modul kecerdasan buatan (AI) diintegrasikan menggunakan TensorFlow.js, di mana model hasil pelatihan TensorFlow dikonversi ke format *.json* agar dapat dijalankan langsung di *browser*. Model AI mengklasifikasikan tingkat kemampuan otot pasien ke dalam enam kategori (0–5) berdasarkan *Manual Muscle Testing* (MMT) dan memberikan rekomendasi terapi berupa jenis gerakan, jumlah repetisi, serta mode kecepatan motor. Hasil rekomendasi dapat ditinjau dan disesuaikan oleh dokter, lalu dikirim kembali ke *Firestore* untuk dibaca oleh ESP32 sebagai instruksi kontrol gerak robot.

Komunikasi antara ESP32, *Firestore*, dan *website* berlangsung secara dua arah (*bidirectional*). Data hasil pengukuran dikirim dari ESP32 ke *Firestore* dan ditampilkan di *website* (*data upload*), sedangkan hasil keputusan dokter dikirim dari *website* ke *Firestore* dan dibaca kembali oleh ESP32 untuk menggerakkan robot (*data feedback*). Mekanisme ini memungkinkan sistem bekerja secara *real-time* tanpa memerlukan *server konvensional* tambahan.

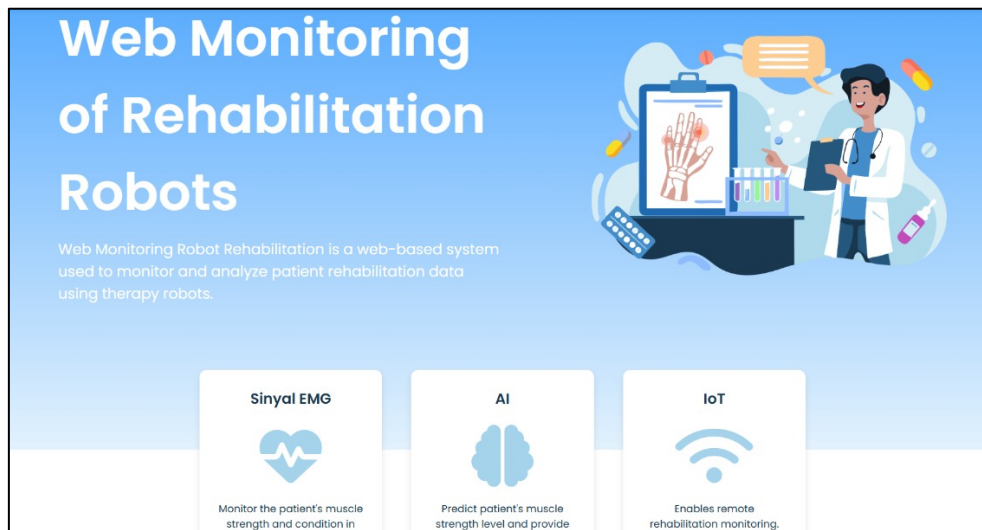
Untuk memastikan keandalan dan stabilitas sistem, dilakukan evaluasi sistem melalui beberapa tahap. Pertama, pengujian alur komunikasi data dilakukan untuk memastikan konsistensi nilai antara data hasil pembacaan sensor di ESP32, data yang tersimpan pada *Firestore*, dan data yang tampil pada *website*. Kedua, dilakukan pengujian fungsional untuk memastikan bahwa rekomendasi terapi dari *website* dapat terkirim dengan benar ke *Firestore* dan dieksekusi oleh robot rehabilitasi sesuai instruksi dokter. Ketiga, dilakukan pengukuran waktu respon sistem, yaitu selang waktu antara tombol kirim rekomendasi ditekan pada *website* hingga perintah diterima dan dijalankan oleh robot. Pengujian dilakukan pada tiga jenis terapi berbeda (kanan–kiri, naik–turun, dan maju–mundur) untuk menilai kestabilan komunikasi serta konsistensi waktu respon sistem.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

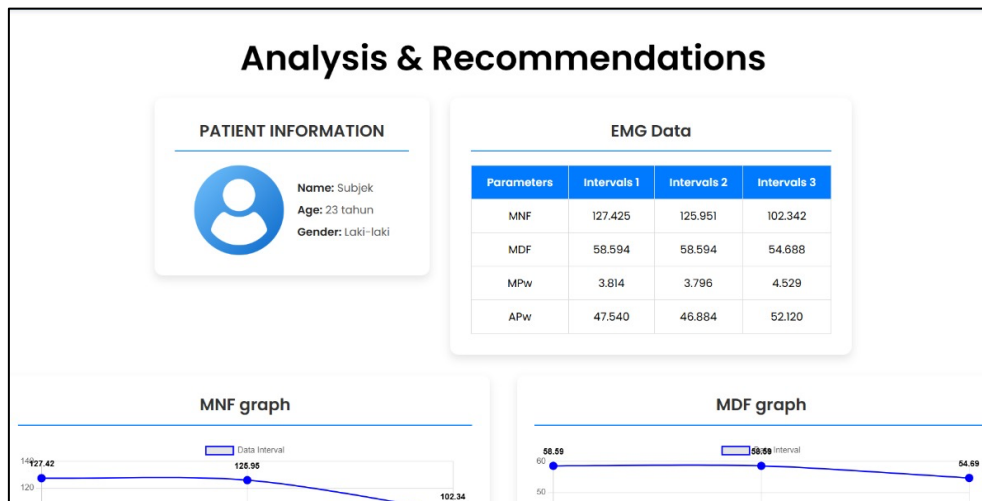
Website yang dirancang terdiri atas empat menu utama, yaitu *Home*, *Analysis & Recommendation*, *History*, dan *About*. Fitur utama terletak pada menu *Analysis & Recommendation* yang mengintegrasikan seluruh fungsi sistem, mulai dari pemantauan sinyal otot, analisis kemampuan otot pasien, hingga pemberian rekomendasi terapi. Data sinyal EMG pasien ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik yang diperbarui secara otomatis melalui *event listener Firestore*, sehingga proses komunikasi data dari ESP32 ke *Firestore* dan selanjutnya ke *website* dapat berlangsung secara *real-time* dan konsisten.

Modul *Artificial Intelligence* (AI) berbasis TensorFlow.js diintegrasikan pada halaman ini untuk mengklasifikasikan tingkat kemampuan otot pasien berdasarkan parameter hasil pengolahan sinyal EMG. AI menjalankan model hasil pelatihan menggunakan *dataset* pasien yang telah divalidasi oleh dokter sebagai data acuan. Akurasi hasil rekomendasi AI dijaga melalui proses pelatihan dan validasi model dengan membandingkan hasil klasifikasi AI terhadap data pengukuran aktual pasien. Jika terdapat perbedaan hasil klasifikasi, model dapat dilatih ulang dengan menambahkan data baru agar lebih adaptif terhadap variasi kondisi pasien. Selain itu, sistem menyediakan loop verifikasi dokter yang memungkinkan dokter menyetujui

atau menyesuaikan rekomendasi terapi sesuai dengan kondisi klinis pasien. Tampilan antarmuka *website* secara keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 2 dan Gambar 3.



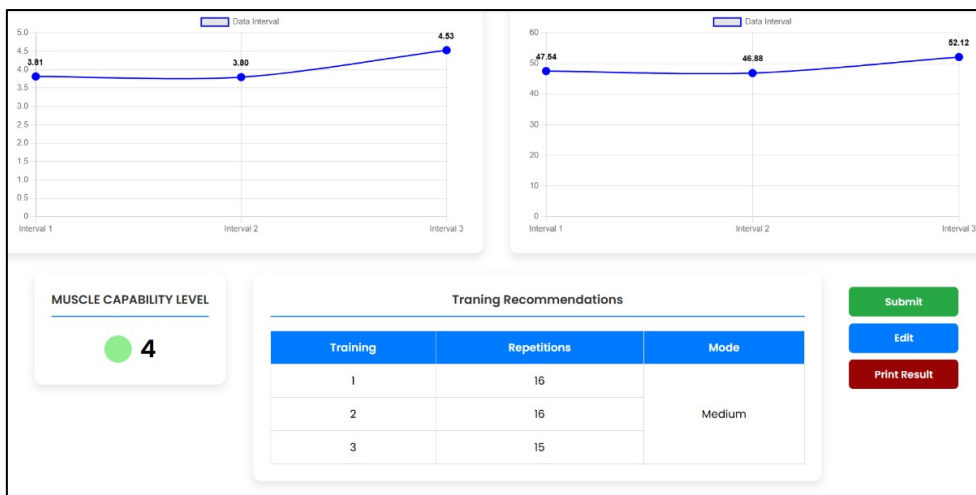
(a)



(b)

Gambar 2 Tampilan *interface*

(a) Tampilan *menu home*, (b) Tampilan *menu analysis & recommendations* (data pasien dan data EMG pasien)



(a)

The screenshot shows a PDF medical record format. It includes patient information and an EMG data table. The patient information is as follows:

Robot Rehab
Politeknik Negeri Ujung Pandang
 Jalan Perintis Kemerdekaan KM.10 Tamaleneera, Makassar 90245

PATIENT MUSCLE SIGNAL MEASUREMENT REPORT

Date: 26/7/2025
 Time: 02.56 WITA
 Doctor:
 Patient Name: Manaf
 Age: 19 tahun
 Gender: Laki-laki

PATIENT MUSCLE SIGNAL DATA

EMG Data Table

Parameters	Intervals 1	Intervals 2	Intervals 3
MNF [Hz]	225.510	221.590	239.020
MDF [Hz]	214.840	214.840	242.190
MPw	0	0	0
APw	1.630	1.970	2.460

Muscle Ability Level: 1

Training Recommendations

Training	Repetitions	Mode
1	5	Slow
2	5	
3	5	

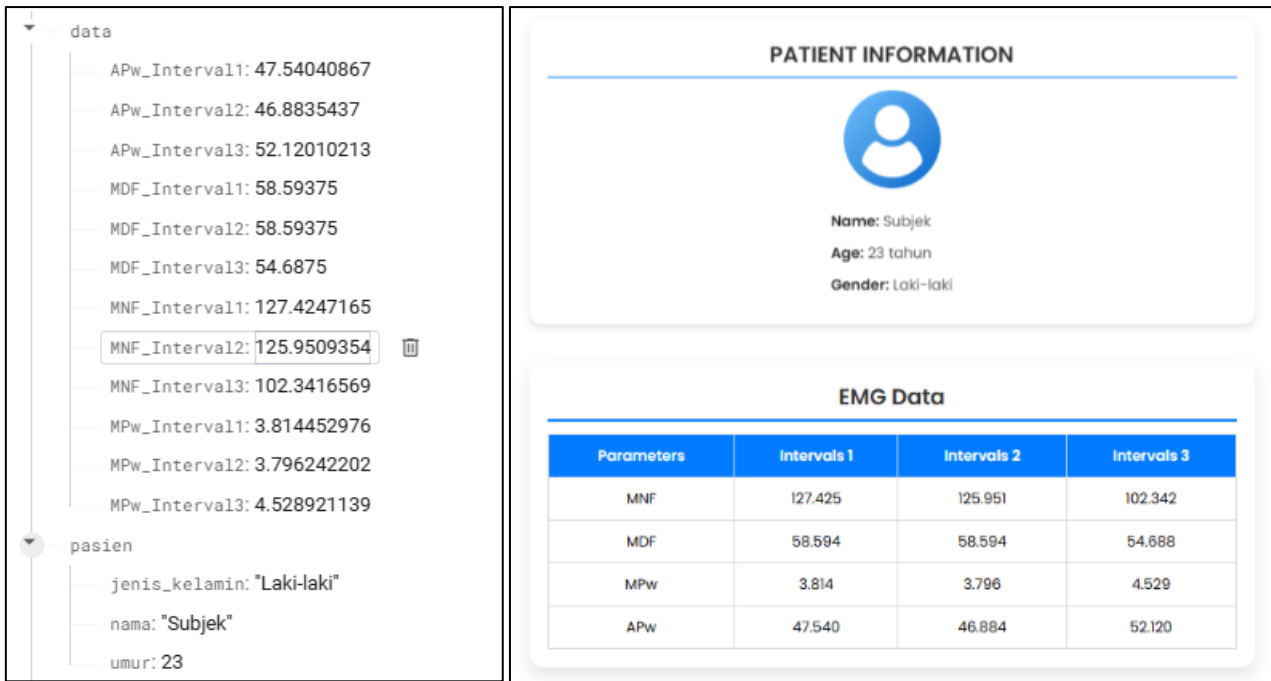
(b)

Gambar 3 Tampilan *interface*

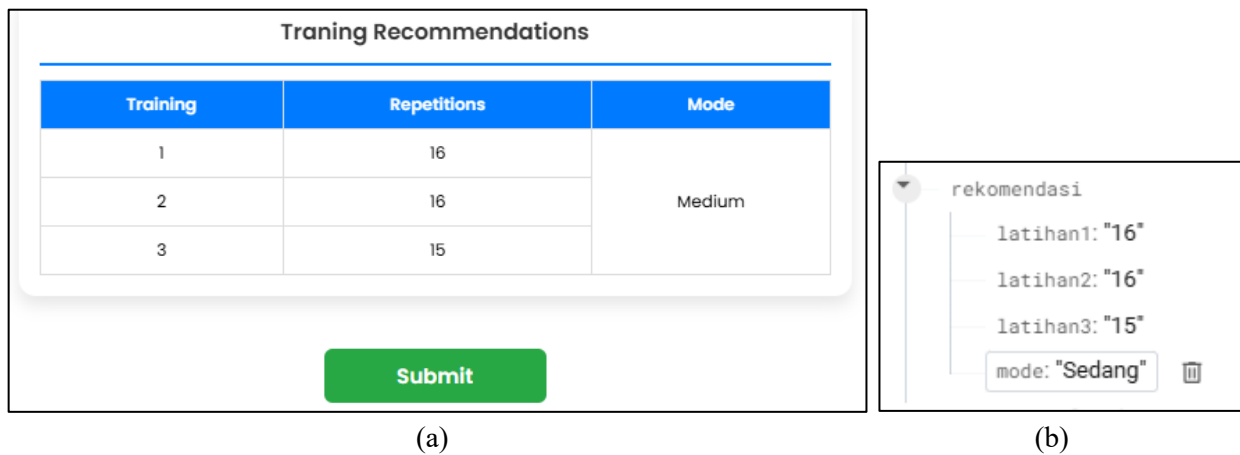
(a) Tampilan *menu analysis & recommendations* (klasifikasi AI dan rekomendasi terapi), (b) Tampilan rekam medis pasien format PDF

Hasil pengujian sistem menunjukkan bahwa komunikasi data antara ESP32, Firebase, dan *website* berjalan dengan baik dan sesuai rancangan. Pengujian alur komunikasi dilakukan untuk memastikan kesesuaian nilai antara data hasil pembacaan sensor, data yang tersimpan di Firebase, dan data yang ditampilkan di *website*. Berdasarkan hasil pengujian, nilai parameter seperti MNF, MDF, MPw, dan APw yang tersimpan di Firebase identik dengan nilai yang tampil di *website*, sehingga menunjukkan bahwa proses pengiriman dan penerimaan data berlangsung stabil serta akurat.

Selain itu, pengujian dilakukan juga pada alur sebaliknya, yaitu pengiriman data rekomendasi dari *website* ke Firebase. Hasilnya menunjukkan bahwa data terapi yang dikirim, seperti jenis gerakan, jumlah repetisi, dan mode kecepatan, muncul secara *real-time* pada struktur *database* Firebase tanpa adanya perubahan nilai. Hal ini membuktikan bahwa komunikasi dua arah antara *website* dan Firebase berjalan dengan baik serta mendukung kontrol jarak jauh terhadap robot rehabilitasi. Tampilan kesesuaian data antara Firebase dan *website* dapat dilihat pada Gambar 4 dan Gambar 5.



(a) (b)
 Gambar 4 Hasil pengujian alur sistem
 (a) Tampilan data sensor pada *database*, (b) Tampilan data sensor pada *website*



(a) (b)
 Gambar 5 Hasil pengujian alur sistem
 (a) Tampilan data rekomendasi pada *website*, (b) Tampilan data rekomendasi pada *database*

Selain itu, hasil pengujian respon sistem terhadap waktu komunikasi antara *website*, Firebase, dan robot rehabilitasi ditunjukkan pada Tabel 1.

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 1, rata-rata waktu respon tercatat sebesar 1,221 detik untuk Terapi 1, 1,858 detik untuk Terapi 2, dan 1,327 detik untuk Terapi 3. Perbedaan waktu respon antar terapi dipengaruhi oleh jenis dan ukuran aktuator serta efisiensi desain sistem *web* dalam mengirim dan memproses perintah. Terapi 1 menggunakan motor servo dengan beban ringan dan perintah sederhana sehingga responnya paling cepat, sedangkan terapi 2 dan 3 memakai motor linear dengan beban lebih besar, terutama pada gerakan naik turun yang membutuhkan arus lebih tinggi dan waktu lebih lama untuk mencapai kecepatan stabil. Selain faktor mekanik, komunikasi data yang lebih kompleks antara *web*, Firebase, dan mikrokontroler juga menambah sedikit jeda waktu. Hasil ini menunjukkan bahwa alur komunikasi antara *website*, Firebase, dan robot berjalan sesuai dengan rancangan meskipun kinerja aktualnya tetap bergantung pada karakteristik aktuator serta kompleksitas instruksi yang dikirim melalui jaringan dengan rata-rata waktu respon berada di kisaran 1–2 detik.

Tabel 1 Pengujian waktu respon

Percobaan	Waktu Respon		
	Latihan 1	Latihan 2	Latihan 3
1	1,02	2,76	0,97
2	2,45	1,79	1,49
3	0,77	2,67	1,27
4	1,64	1,7	1,5
5	0,91	1,83	1,13
6	0,64	2,1	1,88
7	1,6	1,42	0,69
8	0,72	1,29	1,44
9	1,17	1,76	1,61
10	1,29	1,26	1,29
Rata-rata	1,221	1,858	1,327

4. KESIMPULAN

Sistem *monitoring* berbasis sinyal EMG dengan integrasi ESP32, Firebase *Realtime Database*, dan aplikasi *web* terbukti mampu mendukung proses rehabilitasi lengan. Sistem ini berhasil menampilkan data EMG dalam bentuk tabel dan grafik, mengklasifikasikan kemampuan otot berdasarkan skala MMT, serta memberikan rekomendasi terapi yang dapat dikonfirmasi oleh dokter. Pengujian menunjukkan komunikasi data hingga eksekusi perintah pada robot berjalan konsisten dengan rata-rata waktu respon 1–2 detik. Dengan demikian, sistem ini efektif sebagai sarana *monitoring* dan pengendalian rehabilitasi lengan secara tidak langsung.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh sivitas akademika Politeknik Negeri Ujung Pandang, terutama Jurusan Teknik Mesin, atas dukungan teknis dan fasilitas yang diberikan selama proses penelitian dan pengujian alat ini serta tim medis Rumah Sakit Univeristas Hasanuddin yang telah mendukung dan memberikan izin dalam proses penelitian dan pengujian alat ini.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Agustiani, A. Deschara, and M. Maryana, "Pengalaman Keluarga dalam Merawat Pasien Stroke," *J. Penelit. Perawat Prof.*, vol. 5, no. 2, pp. 677–690, 2023, doi: 10.37287/jppp.v5i2.1538.
- [2] A. Putra Kusuma, I. Tri Utami, and J. Purwono, "Pengaruh Terapi 'Menggenggam Bola Karet Bergerigi' Terhadap Perubahan Kekuatan Otot Pada Pasien Stroke Diukur Menggunakan Hangryp Dynamometer Di Ruang Syaraf Rsud Jend a Yani Kota Metro," *J. Cendikia Muda*, vol. 2, no. 1, pp. 17–23, 2022, [Online]. Available: <https://journal.uny.ac.id/index.php/jpts/article/view/53930>
- [3] L. . A. W. Prok, J. Gessal, "Pengaruh latihan gerak aktif menggenggam bola pada pasien stroke diukur dengan handgrip dynamometer," *e-Clinic (eCl)*, vol. 4, no. 1, pp. 71–75, 2016.
- [4] Kasma, I. Safei, Zulfahmidah, M. E. Rachman, and Nasrudin Andi Mappaware, "Pengaruh Kepatuhan Menjalani Rehabilitasi terhadap Peningkatan Kekuatan Otot Pada Pasien Pasca Stroke," *Fakumi Med. J. J. Mhs. Kedokt.*, vol. 1, no. 3, pp. 216–223, 2022, doi: 10.33096/fmj.v1i3.68.
- [5] A. N. Syafni, "Literatur Review Rehabilitasi Medik Pasien Pasca Stroke," *J. Ilm. Kesehat. Sandi Husada*, vol. 9, no. 2, pp. 873–877, 2020, doi: 10.35816/jiskh.v10i2.428.
- [6] M. Hablul Barri, A. Ryandika, A. Cesario, and A. Widyotriatmo, "Desain dan Kontrol Posisi dari Arm Manipulator Robot Sebagai Alat Rehabilitasi Pasien Pasca Stroke," *J. Otomasi Kontrol dan Instrumentasi*, vol. 9, no. 2, p. 81, 2017, doi: 10.5614/joki.2017.9.2.2.
- [7] L. Y. Amali and I. M. L. Batan, "Perancangan Alat Rehabilitasi Pergelangan Tangan Pasien Pasca Stroke yang Digerakkan Motor Servo," *J. Sains dan Seni ITS*, vol. 10, no. 1, pp. 124–130, 2021, doi: 10.12962/j23373520.v10i1.59127.

- [8] A. S. Ompusunggu, F. K. Manurung, and F. W. Sinurat, “Perancangan Alat Terapi Lengan Sebagai Fisioterapi dalam Perawatan Pasien Stroke Melalui Metode Brainstorming TALENTA Conference Series Perancangan Alat Terapi Lengan Sebagai Fisioterapi dalam Perawatan Pasien Stroke Melalui Metode Brainstorming,” *Talent. Conf. Ser. Energy Eng.*, vol. 5, no. 2, pp. 531–536, 2022, doi: 10.32734/ee.v5i2.1616.
- [9] D. Ekambaram and V. Ponnusamy, “Real-Time Monitoring and Assessment of Rehabilitation Exercises for Low Back Pain through Interactive Dashboard Pose Analysis Using Streamlit—A Pilot Study,” *Electron.*, vol. 13, no. 18, 2024, doi: 10.3390/electronics13183782.
- [10] A. Xiong, T. Wu, and J. Jia, “Design of a Real-Time Monitoring System for Electroencephalogram and Electromyography Signals in Cerebral Palsy Rehabilitation via Wearable Devices,” *Electron.*, vol. 13, no. 15, 2024, doi: 10.3390/electronics13152902.
- [11] A. Rasyad and D. Ari, “Pengembangan Robot Rehabilitasi Lengan bagi Penderita Stroke Berbasis Artificial Intelence dan Internet of Things,” *J. Tek. Mesin Sinergi*, vol. 20, no. 2, pp. 288–294, 2024, doi: 10.31963/sinergi.v20i2.4170.