

Integrasi Sensor Fleksibel dan Getaran, pada Perangkat Rehabilitasi Pasien Stroke Berbasis IoT

Doarto Watrio Sigalingging¹, M. Nawawi², RD. Kusumanto³

e-mail: doartorio@gmail.com, muhammadnawawinoer@gmail.com, rd.kusumanto@polsri.ac.id

^{1,2,3}Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Sriwijaya, Jalan Srijaya Negara Bukit Besar, Palembang, Sumatera Selatan, Indonesia

Informasi Artikel

Riwayat Artikel

Diterima 2 Mei 2025

Direvisi 20 Mei 2025

Diterbitkan 31 Mei 2025

Kata kunci:

Exoskeleton

IoT

Rehabilitasi Jari

Smart Glove

Stroke

Website

ABSTRAK

Di seluruh dunia, stroke merupakan penyebab utama kecacatan dan kematian termasuk di Indonesia, karena berdampak besar pada fungsi motorik terutama pada anggota tubuh seperti jari tangan. Untuk mendapatkan kembali kemampuan gerak, rehabilitasi pasca stroke membutuhkan terapi fisik yang berkelanjutan. Sebuah sistem *smart control* dan *monitoring* sarung tangan rehabilitasi yang terintegrasi dengan teknologi *Internet of Things (IoT)* menggunakan *exoskeleton pneumatic soft-actuator*. Sarung tangan ini memiliki sensor getar, tekanan, dan fleksibel yang melacak aktivitas jari pasien secara *real-time*. Tenaga medis dapat melacak kemajuan terapi pasien dengan mengirimkan data sensor ke *website* server melalui modul *ESP32*. Melalui pemantauan dan stimulasi terprogram, sistem ini diharapkan dapat meningkatkan hasil rehabilitasi jari tangan pasien pasca stroke.

ABSTRACT

Stroke is a leading cause of disability and death worldwide, including in Indonesia, due to its significant impact on motor function, particularly in body parts such as the fingers. To regain mobility, post-stroke rehabilitation requires continuous physical therapy. A smart control and monitoring system for a rehabilitation glove has been developed, integrated with Internet of Things (IoT) technology using a pneumatic soft-actuator exoskeleton. This glove is equipped with vibration, pressure, temperature, and flexible sensors that track the patient's finger activity in real-time. Medical personnel can monitor the patient's therapy progress by transmitting sensor data to a website server via an ESP32 module. Through programmed monitoring and stimulation, the system is expected to improve the rehabilitation outcomes of post-stroke patients' finger function.

Keywords:

Exoskeleton

IoT

Finger Rehabilitation

Smart Glove

Stroke

Website

Penulis Korespondensi:

Doarto Watrio Sigalingging,

Jurusan Teknik Elektro,

Politeknik Negeri Sriwijaya,

Jalan Srijaya Negara Bukit Besar, Palembang, Sumatera Selatan, Indonesia

Email: doartorio@gmail.com

Nomor HP/WA aktif: +62 831-7879-0034

1. PENDAHULUAN



Stroke secara umum terbagi menjadi dua yakni ketika pasokan darah ke otak terganggu karena penyumbatan pembuluh darah (stroke iskemik) atau pecahnya pembuluh darah (stroke hemoragik). Stroke iskemik (stroke ringa adalah jenis stroke di mana gumpalan darah menyumbat pembuluh darah otak, menghentikan pasokan oksigen dan nutrisi ke otak. Ini adalah kondisi gawat darurat karena dapat menyebabkan kematian sel-sel otak dalam hitungan menit. Akibatnya, bagian-bagian tertentu otak kehilangan oksigen dan nutrisi, yang menyebabkan kematian sel-sel otak [1]. Hal ini dapat mempengaruhi kinerja otak serta dapat mengakibatkan kerusakan pada jaringan otak itu sendiri, jika ini terjadi terus menerus tanpa tindakan yang serius, hal ini dapat mempengaruhi fungsi tubuh yang di kendalikan oleh area otak yang terdampak dari permasalahan ini [2].

Perangkat bantu terapi tangan pasca stroke dirancang untuk membantu pasien menjalani rehabilitasi secara mandiri dan mengurangi kemungkinan mengalami disabilitas setelah serangan stroke. Berbagai tantangan yang sering dihadapi pasien, seperti keterbatasan jadwal terapi, keterbatasan waktu untuk mengikuti sesi terapi di fasilitas kesehatan, dan keterlibatan aktif keluarga dalam proses perawatan, mendorong pengembangan alat ini. Diharapkan bahwa alat ini dapat membantu pasien stroke di berbagai fase pemulihan meningkatkan kemampuan motorik tangan mereka dengan aman dan efektif [3] [4].

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk memulihkan fungsi anggota tubuh yang mengalami kelumpuhan adalah terapi motorik. Namun, banyak pasien stroke yang menolak terapi ini karena keterbatasan mobilitas di fasilitas terapi yang tersedia. Selain itu, pendekatan terapi yang bersifat monoton sering menyebabkan pasien menjadi jenuh, yang pada gilirannya mengurangi keinginan mereka untuk melakukan latihan secara teratur [5].

Untuk membantu pemulihan fungsi tubuh yang terganggu, pasien yang mengalami stroke disarankan untuk melakukan aktivitas fisik atau terapi. Penelitian ini berfokus pada pengobatan kekakuan jari dengan gerakan tubuh yang teratur. Untuk mencapai hasil terapi yang optimal, jari yang mengalami kekakuan atau kelumpuhan harus dilakukan gerakan menarik dan meregang berulang kali. Terapi dengan stimulasi getaran pada frekuensi 40–60 Hz terbukti dapat membantu pemulihan fungsi motorik. Ini memiliki beberapa keuntungan, termasuk peningkatan aktivitas otot, stimulasi sistem saraf, perbaikan sirkulasi darah, penurunan spastisitas, dan peningkatan persepsi sensorik [6].

Perangkat ini memanfaatkan soft-actuator yang berperan sebagai otot buatan guna membantu pengguna dalam melakukan gerakan dasar tangan, seperti membuka dan menutup telapak tangan. Soft-actuator diaktifkan melalui suplai tekanan udara sebesar ± 40 psi yang dialirkan ke saluran udara di dalam struktur aktuator tersebut. Selain itu, sistem dilengkapi dengan sensor IMU (Inertial Measurement Unit) yang dikombinasikan dengan filter untuk meminimalkan noise selama proses pemantauan. Proses parsing data dilakukan untuk memperoleh data yang lebih akurat dan mengurangi latensi dalam transmisi informasi. Diharapkan, alat ini dapat memberikan manfaat bagi seluruh pihak yang terlibat dalam proses terapi rehabilitasi fisik, baik bagi pasien maupun tenaga terapis yang mendampingi [7] [8].

Sensor Internet of Things (IoT) yang dapat disesuaikan dapat membantu pasien yang mengalami stroke, terutama mereka yang sedang dalam tahap pemulihan atau terapi. Dengan teknologi Internet of Things (IoT), data yang diukur oleh sensor fleksibel dikirim ke server web melalui jaringan lokal. Sistem ini juga dapat mengidentifikasi informasi taktil seperti gaya lengkung jari dan getaran. Dengan menggunakan Internet of Things (IoT), pasien yang mengalami stroke dapat berinteraksi secara jarak jauh melalui transmisi data berbasis WiFi. Ini memungkinkan mereka berinteraksi tanpa perlu melakukan kontak langsung antara manusia dengan manusia atau interaksi manusia dengan komputer secara konvensional [5] [9] [10].

Dengan adanya *Internet of Things (IoT)* pada sistem ini dapat mempermudah memonitoring perkembangan rehabilitasi pada pasien pasca stroke. Pada *website* ini terdapat fitur tambahan berupa 2 kontrol *on/off* yang berperan *backup* atau cadangan dari *hardware control box* yang ada. 2 kontrol tersebut yakni berupa *on/off* untuk *hardware* sarung tangan apabila tombol *on* ditekan maka sistem sarung tangan akan bergerak dan untuk menghentikan sistem sarung tangan maka pengguna harus menekan tombol *off*. Fitur kontrol berikutnya yakni untuk mengontrol fitur getaran yang terdapat pada alat sarung tangan tersebut, apabila pengguna ingin menggunakan fitur getaran tersebut maka harus menekan tombol *on* maka getaran pada alat tersebut akan hidup, dan untuk menghentikan getaran pada sarung tangan tersebut pengguna dapat menekan tombol *off*. Pada *website* ini juga



terdapat *timer* yang mana berfungsi untuk menghitung durasi berapa lama sarung tangan tersebut dipakai oleh pengguna. *Timer* ini akan memulai menghitung apabila alat sarung tangan bekerja atau tombol *on* ditekan oleh pengguna. Selain itu juga, pada sistem *website* ini dapat memonitoring data yang dikirimkan oleh *ESP32* ke *firebase* dan diterima oleh *website*. Kemudian data yang diterima oleh *website* akan disimpan didalam database *SQL*.

2. METODE PENELITIAN

Tujuan dari kerangka penelitian adalah untuk membantu penulis menyusun dan menulis laporan penelitian secara sistematis dan terorganisir. Kerangka ini mencakup semua komponen penting dari tugas akhir, mulai dari pendahuluan hingga selesai, dan bertujuan untuk memastikan bahwa setiap elemen dicakup secara optimal pada Gambar 1.



Gambar 1. Kerangka Penelitian

Pada Gambar 1 menunjukkan proses perancangan sebuah *monitoring* sarung tangan untuk pasien pasca stroke berbasis *Internet of Things (IoT)* berdasarkan ketinggian yang dimulai dengan langkah-langkah berikut:

1. Studi Literatur: Dilakukan untuk mengetahui landasan awal sebagai pendukung dan dapat melakukan pengembangan ketinggian yang lebih tinggi dalam rangka menyempurnakan atau melengkapi penelitian. Studi literatur ini dilakukan dengan mengambil berbagai referensi dari *e-book*, jurnal, artikel, *website* dan laporan tugas akhir yang berhubungan dengan penelitian.
2. Rancangan Perangkat Lunak (*Website*): Fitur utama yang disertakan meliputi dashboard monitoring untuk menampilkan data *real-time* dari sensor fleksibel dan sensor getar, termasuk grafik pergerakan jari dan intensitas getaran. Selain itu, terdapat dua kontrol *on/off* sebagai cadangan dari *hardware control box*, yaitu kontrol sarung tangan untuk mengaktifkan dan menonaktifkan perangkat, serta kontrol getaran untuk mengelola stimulasi sensorik. *Website* ini juga dilengkapi dengan fitur timer untuk menghitung durasi pemakaian sarung tangan secara otomatis ketika tombol *ON* ditekan. Semua data yang diterima dari *NodeMCU* akan disimpan dalam *database SQL* untuk analisis lebih lanjut, memastikan setiap sesi terapi terdokumentasi dengan baik. Untuk keamanan, sistem ini dilengkapi dengan fitur *login* untuk membatasi akses hanya pada pengguna terdaftar, menjaga privasi data pasien.
3. Pembuatan *Website*: Proses dimulai dengan menyiapkan lingkungan kerja. Ini termasuk menginstal *Node.js* dan ekstensi seperti *Live Server* untuk melacak perubahan secara *real-time*. Struktur utama *website* terdiri dari *file index.html* untuk tampilan utama, *CSS* untuk desain antarmuka, dan *app.js* untuk logika pengendalian perangkat dan pengelolaan data. Selanjutnya, *website* diintegrasikan dengan *NodeMCU* untuk menerima

p-ISSN: 2356-0533; e-ISSN: 2355-9195

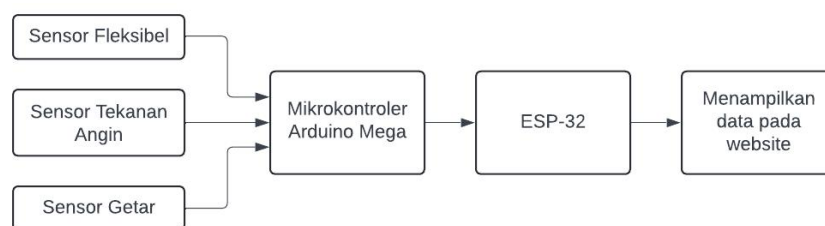


data sensor melalui protokol seperti *WebSocket* atau *HTTP*. Data ini kemudian disimpan dalam *database Firebase* atau *SQL* untuk instruksi. Fitur utama, seperti kontrol *on/off* dan *timer*, ditambahkan untuk membuatnya lebih mudah bagi pengguna untuk mengontrol perangkat dan melacak lamanya penggunaan. Setelah pengujian dan *debugging* selesai, *website* siap untuk diterapkan ke *server hosting* seperti *pythonanywhere* agar dapat diakses secara publik.

4. Pengujian Alat: Pengujian alat pada tugas akhir ini akan dilakukan dengan dua tahap. Tahap pertama dilakukan pengujian terhadap komponen-komponen dan program yang digunakan. Pengujian tahap dua dilakukan pada keseluruhan baik program, alat dan mekanik untuk mengetahui kerja alat yang telah dibuat dengan rencana sebelumnya.
5. Evaluasi: Evaluasi dilakukan untuk mengetahui pencapaian dari setiap target yang telah selesai, serta memahami setiap kesalahan dan kekurangan dari proyek yang telah dibuat, Dari sini diharapkan dapat menjadi bahan analisa dan perbaikan untuk mendapat hasil yang jauh lebih baik. Evaluasi dapat dilakukan dengan cara berdiskusi dengan satu kelompok atau juga dengan dosen pembimbing.
6. Pembuatan Laporan Tugas Akhir: Pada tahapan ini, peneliti akan menyusun laporan yang berisi gambaran menyeluruh mengenai proyek yang sedang dikembangkan. Laporan ini mencakup penjelasan mendetail tentang latar belakang penelitian, tujuan yang ingin dicapai, serta metode yang digunakan dalam pengumpulan dan analisis data. Selain itu, peneliti juga akan menyajikan hasil data yang telah diperoleh dalam kurun waktu tertentu dengan pendekatan analitis yang sistematis. Hasil tersebut kemudian dibandingkan dengan penelitian sebelumnya untuk mengidentifikasi pola, tren, atau perbedaan yang signifikan. Setelah melewati beberapa tahap penulis akan memaparkan hasil yang telah di siapkan.

2.1 Blok Diagram

Blok diagram ini berfungsi sebagai diagram tahapan perancangan suatu alat. Ini membantu orang mengetahui cara kerja rangkaian secara keseluruhan dan apa saja komponen yang berfungsi sebagai *input*, kontroler, dan *output*. Ini digunakan untuk menghasilkan suatu sistem yang dapat bekerja dan berfungsi sesuai dengan perancangan.



Gambar 2. Blok Diagram

Pada Gambar 2 Pada penelitian ini, diagram sistem menunjukkan struktur perangkat sarung tangan berbasis Internet of Things (IoT) yang dirancang untuk memperbaiki jari tangan pasien yang mengalami stroke. Selama terapi, sistem ini akan memantau pergerakan jari dan memberikan umpan balik secara real-time. Tiga jenis sensor utama digunakan: sensor tekanan angin untuk mengukur tekanan udara pada aktuator pneumatik, sensor fleksibel untuk mengukur derajat fleksi jari, dan sensor getar untuk mengidentifikasi respons getaran otot atau sebagai stimulus tambahan selama proses rehabilitasi.

Mikrokontroler Arduino Mega, yang berfungsi sebagai unit kendali utama, mengumpulkan dan memproses semua data yang dikirimkan oleh sensor. Mikrokontroler ini mengubah data analog menjadi digital, yang kemudian dikirimkan secara nirkabel melalui modul ESP-32, yang dapat terhubung ke Wi-Fi dan berfungsi sebagai penghubung antara sistem perangkat keras dan platform monitoring berbasis web. Data dikirimkan secara real-time ke server untuk selanjutnya divisualisasikan dalam bentuk antarmuka pengguna.

Antarmuka web dibuat untuk memungkinkan tenaga medis memantau kondisi pasien secara jarak jauh. Platform ini memungkinkan analisis progres terapi dan penyesuaian program rehabilitasi dengan data objektif. Diharapkan proses rehabilitasi akan berlangsung lebih efektif, terorganisir, dan terukur dengan memasukkan sistem



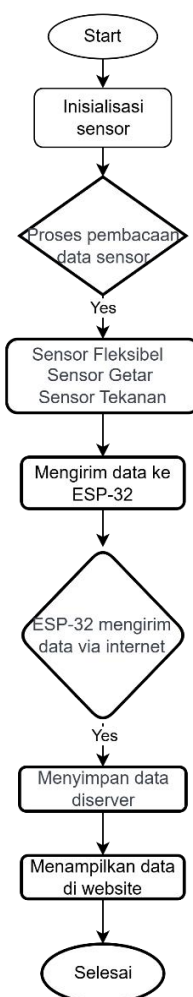
ini. Sistem ini juga membantu mengembangkan perangkat rehabilitasi digital berbasis Internet of Things yang praktis dan dapat digunakan dalam lingkungan klinis.

2.2 Flowchart

Flowchart berikut menggambarkan alur kerja dari proses pengembangan sistem monitoring sarung tangan rehabilitasi pasien pasca stroke ringan yang digunakan dalam penelitian ini.

Pada Gambar 3 Perangkat yang digunakan untuk rehabilitasi jari pasien pasca stroke memiliki sistem monitoring berbasis Internet of Things (IoT). Sistem ini dibuat untuk membantu pasien yang mengalami stroke memantau gerakan jari tangan mereka secara real-time. Setiap sensor-sensor fleksibel, sensor getar, dan sensor tekanan udara diaktifkan oleh mikrokontroler saat sistem dimulai. Sensor fleksibel mengukur tingkat fleksibilitas dan gerakan jari, sensor getar berfungsi sebagai umpan balik haptik selama terapi, dan sensor tekanan udara mengukur tekanan udara pada aktuator pneumatik untuk memastikan intensitas gerakan yang tepat.

Sistem secara berkala membaca data dari masing-masing sensor setelah proses inialisasi selesai. Setelah data dikumpulkan, mikrokontroler utama mengirimkan data ke modul ESP-32 melalui jaringan internet. Apabila koneksi jaringan tersedia dan pengiriman data berhasil, data disimpan dalam database real-time di server. Untuk keperluan pemantauan jangka panjang, penyimpanan ini memungkinkan pengumpulan informasi secara historis.



Gambar 3. Flowchart

Antarmuka web kemudian menampilkan data yang disimpan secara langsung kepada terapis atau tenaga medis. Untuk memudahkan evaluasi perkembangan terapi secara visual dan cepat, tampilan ini dibuat

p-ISSN: 2356-0533; e-ISSN: 2355-9195



9 772356 053009

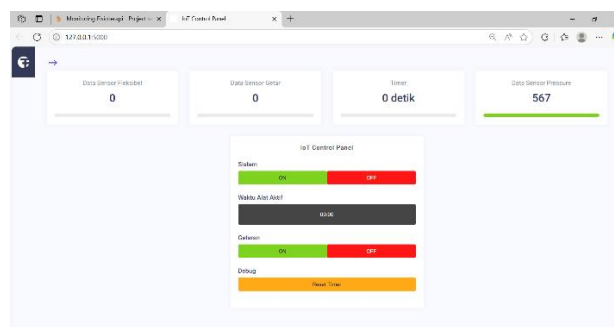
dengan cara yang ramah pengguna. Alur kerja ini memungkinkan sistem untuk melakukan pengukuran dan pencatatan secara otomatis dan memungkinkan pemantauan jarak jauh secara real-time. Ini meningkatkan respons dalam proses rehabilitasi pasien pasca stroke. Implementasi komunikasi sensor hingga visualisasi data ini telah mengadopsi pendekatan IoT yang efisien dan relevan dengan kebutuhan layanan kesehatan berbasis digital masa kini.

2.3 Perancangan *Website*

Desain perancangan *website* ini dirancang untuk memastikan rancangan awal pembuatan *website* untuk sistem monitoring pada sistem sarung tangan rehabilitasi pasien pasca stroke agar dapat melakukan yang efisien dan aman. Adapun tahapan dalam membuat *website* tersebut yakni:

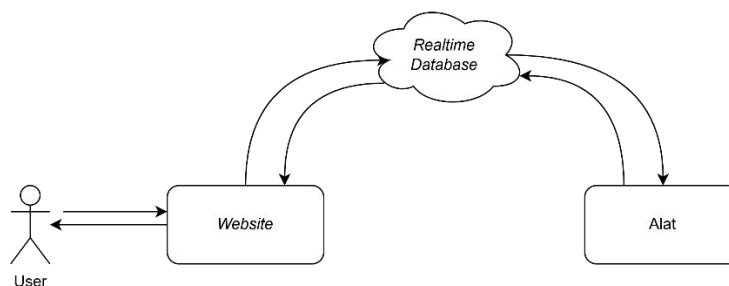
1. Mendesain *Wireframe*

Wireframe adalah sketsa sistem yang akan dibangun. *Wireframes* harus menjelaskan dengan tepat komponen apa yang akan menyadari fitur yang berbeda di setiap halaman atau layar produk yang akan datang, tetapi tidak harus memberikan detail yang lengkap [11]. Untuk memulai mendesain suatu *website* atau aplikasi, langkah pertama adalah merencanakan *wireframe*, proses ini dikenal sebagai *wireframing*. Dalam proses ini, *wireframing* adalah proses merancang elemen penting dari struktur *website* atau aplikasi, seperti *flow user*, *layout*, dan fungsionalitas [12].



Gambar 4. Tampilan Dashboard

Pada Gambar 4 menunjukkan untuk tampilan pada dashboard pada sistem monitoring untuk alat sarung tangan rehabilitasi jari tangan pasca stroke terdapat beberapa ikon yaitu, tampilan untuk data sensor fleksibel, tampilan untuk data sensor getaran, tampilan untuk data sensor tekanan udara, dan juga tampilan untuk *timer*. Pada dashboard ini juga terdapat dua sistem kontrol yakni, pertama untuk kontrol untuk *on/off* sistem dan kedua kontrol untuk *on/off* fitur getaran pada alat sarung tangan terapi tersebut, serta kontrol untuk reset *timer*.



Gambar 5. Komunikasi antara pengguna dan perangkat

Gambar 5 berikut menunjukkan diagram komunikasi yang menjelaskan skema pertukaran data dua arah antara pengguna, perangkat rehabilitasi, dan sistem berbasis *website* yang terintegrasi dengan *database real-time*. Sistem ini dirancang agar pengguna bisa berinteraksi langsung dengan pusat data melalui koneksi yang terstruktur



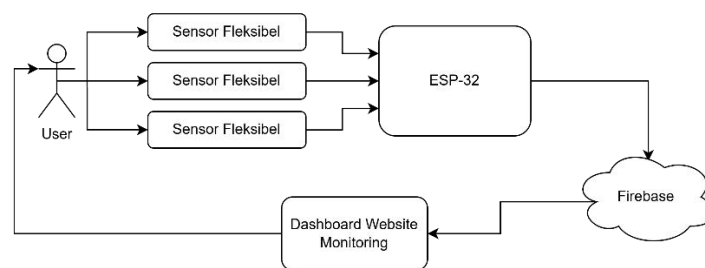
dan komunikasi dilakukan dengan *database real-time* melalui internet melalui perantara. Pusat sinkronisasi data adalah *database real-time*. Komunikasi ini memungkinkan pengguna, khususnya tenaga medis, mengendalikan alat secara remote dan melihat kondisi terapi pasien secara langsung melalui antarmuka *website*.

Interaksi pengguna dilakukan melalui antarmuka *website* yang terhubung ke *database*. Untuk mengontrol apakah alat aktif atau tidak, pengguna dapat mengirimkan perintah seperti *Start* atau *Stop*. Perintah ini disimpan dalam *database* secara *real-time* dan dibaca langsung oleh sistem pada perangkat alat. Sistem akan menanggapi instruksi ini dengan mengaktifkan atau menonaktifkan proses pengawasan dan pengambilan data sensor. Sebaliknya, mikrokontroler, melalui *ESP32*, mengirim kembali data yang dibaca sensor alat ke *database* secara *real-time*, memberikan pengguna kesempatan untuk melihat data secara langsung dalam visualisasi yang informatif di *website*.

Aplikasi medis seperti rehabilitasi pasca stroke membutuhkan prinsip kontrol dan *monitoring real-time*. Model komunikasi dua arah ini memungkinkan sistem untuk melakukannya. Metode ini juga memungkinkan penggunaan terapi jarak jauh (*tele-rehabilitation*) tanpa mengurangi kualitas dan ketepatan data yang diperoleh. Selain itu, memantau terapi menjadi lebih mudah.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengujian Komunikasi Antara User (Pasien/Pengguna) dengan Perangkat



Gambar 6. Komunikasi sistem IoT dengan perangkat

Gambar 6 menunjukkan struktur sistem komunikasi *Internet of Things (IoT)* yang digunakan pada sarung tangan rehabilitasi pasien pasca-stroke. Sistem ini dimaksudkan untuk memantau pergerakan jari pasien secara *real time* dengan menggunakan tiga sensor yang dipasang pada jari utama tangannya. Selama sesi terapi, sensor tersebut akan mengamati perubahan sudut fleksi jari pasien, yang menunjukkan tingkat pergerakan dan respons motorik pasien.

Mikrokontroler *ESP32* menerima sinyal dari tiga sensor. Ini berfungsi sebagai lokasi awal untuk mengambil dan mengolah data. Mikrokontroler ini memiliki modul *Wi-Fi* yang memungkinkan pengiriman data ke *platform cloud Firebase* secara *nirkabel*. *Firebase* berfungsi sebagai media penyimpanan data dan menghubungkan perangkat keras dengan antarmuka pemantauan berbasis web.

Data terapi divisualisasikan dalam bentuk grafik dan tabel yang mudah dipahami melalui *dashboard monitoring* yang tersedia di *website*. Visualisasi ini memudahkan tenaga medis untuk melacak kemajuan rehabilitasi pasien secara historis dan langsung. Sistem ini diharapkan dapat meningkatkan efektivitas terapi secara keseluruhan dengan memungkinkan proses rehabilitasi yang lebih terukur, adaptif, dan berbasis data.

3.2 Pengujian Delay pada Perangkat

Studi ini mengembangkan sistem sarung tangan rehabilitasi yang menggunakan teknologi *Internet of Things (IoT)* untuk secara *nirkabel* mengirimkan data dari sensor ke *platform* pemantauan secara *real-time*. Seberapa cepat data berpindah dari sensor pasien ke *dashboard* pemantauan sangat memengaruhi kinerja sistem ini. Oleh karena itu, untuk memastikan bahwa informasi yang diterima tenaga medis tetap relevan dan akurat, sangat penting untuk memprediksi dan memahami waktu tunda (*delay*) yang terjadi di setiap proses.



Berdasarkan diagram sistem pada Gambar 6, delay atau waktu tunda terjadi di beberapa tahapan utama: mulai dari pembacaan data oleh sensor fleksibel, pemrosesan awal oleh mikrokontroler *ESP32*, pengiriman data melalui jaringan *Wi-Fi* ke platform cloud *Firebase*, penyimpanan data di *Firebase*, hingga proses pengambilan dan tampilan data di *dashboard monitoring website*.

Tabel 1. Pengujian delay pada perangkat

No.	Tahapan Proses	Estimasi Delay
1.	Pembacaan sensor fleksibel	2 ms
2.	Pemrosesan data oleh ESP-32	1-2 ms
3.	Pengiriman data ke <i>Firebase</i> via <i>Wi-Fi</i> (HTTP)	1 s
4.	Penyimpanan data di <i>Firebase</i>	1-5 ms
5.	Pengambilan data dari <i>Firebase</i> ke <i>dashboard website</i>	1 s
6.	Visualisasi data pada <i>dashboard</i>	0,5-1 s

Pada Tabel 1 menunjukkan bahwa jumlah total waktu tunda (delay) sistem ini berkisar antara (2.09 – 3.04 s) milidetik, menurut perkiraan yang telah dilakukan. Karena tidak memerlukan respons segera seperti yang dilakukan oleh sistem kendali otomatis atau robotik, nilai ini masih dianggap aman untuk kebutuhan *monitoring* terapi rehabilitasi pasien. Namun, ketepatan waktu sangat penting untuk memastikan bahwa data yang ditampilkan benar-benar menunjukkan kondisi pasien.

Faktor utama waktu tunda ini berasal dari proses transmisi data melalui internet, terutama pengambilan kembali data oleh *dashboard website* dan pengiriman data dari mikrokontroler ke *Firebase*. Kualitas jaringan *Wi-Fi* dan volume trafik internet memiliki pengaruh yang signifikan terhadap variasi keterlambatan. Oleh karena itu, untuk menjaga performa sistem tetap optimal, sangat disarankan untuk menggunakan jaringan yang stabil dan berkualitas tinggi.

Sistem ini dapat diperbaiki lebih lanjut dengan menggunakan protokol komunikasi yang lebih ringan seperti *MQTT*, yang dianggap lebih efektif daripada *HTTP*, untuk mengurangi keterlambatan. Selain itu, pendekatan pengiriman data berbasis peristiwa juga dikenal sebagai pendekatan yang dipicu peristiwa juga dapat digunakan. Skema ini hanya mengirimkan data yang mengalami perubahan besar, sehingga beban jaringan berkurang dan waktu tunda dapat ditekan.

3.3 Pengujian Mengukur Perubahan Sensor Fleksibel Selama Terapi

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui bagaimana sensor fleksibel menanggapi gerakan jari pasien selama terapi dengan sarung tangan rehabilitasi berbasis aktuator lunak pneumatik. Uji coba dilakukan pada dua pasien yang telah mengalami stroke selama dua hari berturut-turut. Terapi masing-masing berlangsung selama lima menit, sepuluh menit, dan lima belas menit. Tabel 2 dan Gambar 7 menampilkan hasil pengamatan. Setelah lima menit pertama sesi terapi, pasien diminta untuk menekan tombol "ON" untuk mengaktifkan fitur getaran (*vibrasi*) alat. Tujuan dari pengaktifan fitur ini adalah untuk memberikan rangsangan tambahan pada otot jari, yang diharapkan akan mempercepat proses pemulihan motorik.

Tabel 2. Pengujian Perubahan Nilai Sensor Fleksibel Day 1 Pasien 1

No.	Durasi Operasi	Perubahan Sensor Fleksibel
1.	5 Menit	81°
2.	10 Menit	82°
3.	15 Menit	84°

id	sensor_f	sensor_v	vibration	pressure	system_status	time	timestamp
5,037	5037	81	50	1	40	on	561 2025-05-26 12:01:53.766533
5,567	5567	82	50	1	40	on	386 2025-05-26 12:09:58.803823
5,671	5671	84	50	1	40	on	718 2025-05-26 12:15:30.907515

Gambar 7. Tampilan data day 1 pasien 1 pada database



Terlihat pada Gambar 7, pada hari pertama terapi, pasien 1 menunjukkan peningkatan sudut sensor fleksibel seiring dengan lamanya terapi, seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 2. Perubahan sudut dicatat mulai dari 81° pada menit kelima, naik menjadi 82° pada menit kesepuluh, dan mencapai 84° setelah 15 menit terapi.

Tabel 3. Pengujian perubahan nilai sensor fleksibel day 1 pasien 2

No.	Durasi Operasi	Perubahan Sensor Fleksibel
1.	5 Menit	67°
2.	10 Menit	68°
3.	15 Menit	70°

id	sensor_f	sensor_v	vibration	pressure	system_st	timer_dur	timestamp
6529	6529	67	50	0	40	on	8 2025-05-26 15:20:23.281986
6921	6921	68	50	1	40	on	356 2025-05-26 15:26:11.936221
7264	7264	70	50	1	40	on	623 2025-05-26 15:30:38.198882

Gambar 8. Tampilan data day 1 pasien 2 pada database

Sementara itu, Tabel 3 menunjukkan bahwa pasien 2 juga mengalami peningkatan, namun tidak sebesar pasien 1. Perubahan sudut tercatat dari 67° di menit ke-5, kemudian naik menjadi 68°, dan mencapai 70° pada menit ke-15.

Tabel 4. Pengujian perubahan nilai sensor fleksibel day 2 pasien 1

No.	Durasi Operasi	Perubahan Sensor Fleksibel
1.	5 Menit	83°
2.	10 Menit	85°
3.	15 Menit	88°

id	sensor_f	sensor_v	vibration	pressure	system_st	timer_dur	timestamp
8600	8600	83	50	0	40	off	0 2025-05-27 12:38:40.196661
8831	8831	85	50	1	40	on	393 2025-05-27 12:46:13.841826
9038	9038	88	50	1	40	on	648 2025-05-27 12:50:28.393866

Gambar 9. Tampilan data day 2 pasien 1 pada database

Pada hari kedua, terlihat adanya peningkatan yang lebih signifikan dibandingkan hari pertama. Hal ini ditunjukkan oleh data pada Tabel 4, di mana pasien 1 mengalami peningkatan perubahan sudut sensor secara konsisten. Pada durasi 5 menit, nilai perubahan mencapai 83°, kemudian meningkat menjadi 85° pada 10 menit, dan mencapai 88° setelah 15 menit terapi. Peningkatan ini menunjukkan bahwa pasien 1 merespons dengan baik terhadap terapi berulang, serta kemungkinan mendapatkan manfaat tambahan dari fitur getaran yang diaktifkan setelah 5 menit terapi

Tabel 5. Pengujian perubahan nilai sensor fleksibel day 2 pasien 2

No.	Durasi Operasi	Perubahan Sensor Fleksibel
1.	5 Menit	70°
2.	10 Menit	71°
3.	15 Menit	73°

id	sensor_f	sensor_v	vibration	pressure	system_st	timer_dur	timestamp
9573	9573	70	50	1	40	off	0 2025-05-27 13:00:10.815287
11356	11356	71	50	1	40	on	357 2025-05-27 16:05:22.890811
11694	11694	73	50	1	40	on	647 2025-05-27 16:10:12.236514

Gambar 10. Tampilan data day 2 pasien 2 pada database



Sebagaimana ditampilkan pada Tabel 5, pasien 2 menunjukkan perkembangan positif pada hari kedua. Meskipun kenaikan tidak sebesar pasien 1, perubahan sudut sensor terus meningkat. Dari 70° pada menit kelima menjadi 71° pada menit kesepuluh dan mencapai 73° setelah 15 menit, perubahan sudut terus meningkat. Hasil ini menunjukkan bahwa terapi yang dilakukan secara teratur dengan fitur stimulasi getaran dapat menghasilkan peningkatan fleksibilitas jari pasien, meskipun tingkat kemajuan masing-masing individu berbeda.

Hasil pengujian umumnya menunjukkan bahwa sistem sarung tangan rehabilitasi berbasis aktuator lunak pneumatik membantu kedua pasien memperbaiki fungsi motorik jari mereka. Hal ini terlihat dari peningkatan nilai sudut sensor fleksibel selama sesi terapi pada hari pertama dan kedua. Setiap sesi menunjukkan bahwa terapi ini memperbaiki kemampuan gerak jari secara bertahap.

Menurut penelitian, fitur getaran yang diaktifkan setelah lima menit terapi juga mendorong otot-otot tangan lebih lanjut, meningkatkan efektivitas terapi secara keseluruhan. Fitur ini meningkatkan kesadaran proprioseptif pasien terhadap gerakan yang dilakukan dan meningkatkan respons sensorik. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem yang dirancang dapat berfungsi sebagai alat bantu gerak dan perangkat rehabilitasi interaktif yang dapat menyesuaikan diri dengan kebutuhan pasien.

Oleh karena itu, sarung tangan rehabilitasi ini dapat digunakan dalam situasi rehabilitasi yang lebih luas, baik di klinik maupun secara mandiri di rumah. Sistem ini memotivasi pasien dan membuat mereka merasa lebih baik saat menjalani pemulihan pasca stroke. Selain itu, membantu mereka memantau perkembangan terapi.

4. KESIMPULAN

Sarung tangan rehabilitasi jari yang dibuat oleh teknologi Internet of Things (IoT) memiliki sensor yang dapat disesuaikan, sensor getar, dan aktuator lunak pneumatik yang memungkinkan mereka untuk melacak pergerakan jari pasien secara langsung dan sekaligus memberikan stimulasi yang membantu proses pemulihan motorik. Menurut hasil observasi yang dilakukan selama terapi, fleksibilitas dan gerakan jari telah meningkat secara bertahap. Perubahan sudut pada sensor menunjukkan tanda jelas bahwa pasien secara objektif berkembang. Selain itu, dukungan sistem monitoring berbasis web mempermudah tenaga medis untuk memantau dan mengontrol proses terapi dari jarak jauh. Alat ini menjadi solusi rehabilitasi digital yang tidak hanya efektif dan responsif, tetapi juga mampu meningkatkan motivasi pasien dan keterlibatan mereka dalam proses pemulihan pasca stroke dengan desain yang mendukung penggunaan di rumah.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] alodokter, "stroke iskemik," *alomedika.com*, 2025, [Daring]. Tersedia pada: <https://www.alodokter.com/stroke-iskemik>
- [2] Alodokter, "STROKE," 2025, [Daring]. Tersedia pada: <https://www.alodokter.com/stroke>
- [3] P. Madona, "Alat Bantu Terapi Pasca Stroke untuk Tangan," *J. Elektro dan Mesin Terap.*, vol. 4, no. 1, hal. 27–36, 2018, doi: 10.35143/elementer.v4i1.1422.
- [4] H. M. Kaidi *et al.*, "A Smart Iot-Based Prototype System for Rehabilitation Monitoring," *Int. J. Integr. Eng.*, vol. 15, no. 3, hal. 104–111, 2023, doi: 10.30880/ijie.2023.15.03.010.
- [5] S. Selviana, M. Subito, R. Fauzi, dan A. Alamsyah, "RANCANG BANGUN ALAT MONITORING PERKEMBANGAN PASIEN PASCA STROKE BERBASIS IoT (INTERNET of THINGS)," *Foristek*, vol. 11, no. 2, 2021, doi: 10.54757/fs.v11i2.107.
- [6] A. I. F. Al Isyrafie, A. Arifin, dan F. Arrofiqi, "Robotic Glove Menggunakan Hybrid Functional Electrical Stimulation (FES) dan Exoskeleton untuk Rehabilitasi Tangan Manusia," *J. Tek. ITS*, vol. 9, no. 1, hal. 24–28, 2020, doi: 10.12962/j23373539.v9i1.45725.
- [7] Suridah, "Finger Therapy Device Pasca Stroke Menggunakan Sarung Tangan Berbasis Iot Secara Mandiri," hal. 302–305.
- [8] A. G. Risangtuni, D. T. Putri, dan S. Suprijanto, "Sarung Tangan Rehabilitasi dengan Soft-actuator Pneumatik," *J. Otomasi Kontrol dan Instrumentasi*, vol. 10, no. 1, hal. 61, 2018, doi: 10.5614/joki.2018.10.1.6.
- [9] D. M. Yancheng Wang, Wen Ding, "Development of flexible tactile sensor for the envelop of curved robotic hand finger in grasping force sensing," 2021, [Daring]. Tersedia pada: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0263224121005054>
- [10] I. Tri harsoyo, M. Ulin Nuha ABA, dan D. Cahyati, "Smart Glove Berbasis IoT dengan Output Teks dan Suara," *J. Teor. dan Apl. Fis.*, vol. 11, no. 02, hal. 21–28, 2023, doi: 10.23960/2fjtaf.v11i2.3212.
- [11] W. Hermawansyah dan E. Kusmara, "Perancangan Desain User Interface & User Experience Pada Website Epic Tour Dengan Menggunakan Metode User Centered Design (UCD)," *Informatics, Sci. Technol. J. (Jurnal GERBANG STMIK Bani Saleh)*, vol. 12, no. 2, hal. 48–55, 2022.
- [12] alifian adam, "Wireframe: Pengertian, Komponen, dan Manfaatnya," 2021, [Daring]. Tersedia pada: <https://accurate.id/teknologi/wireframe/>



