

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Stroke merupakan salah satu tantangan utama kesehatan masyarakat global maupun nasional yang menjadi penyebab utama disabilitas dan kematian. Menurut *World Health Organization* (2025), lebih dari 12 juta kasus *stroke* baru terjadi setiap tahun dengan dampak signifikan pada fungsi neuromotorik, terutama pada lengan dan tangan. Di Indonesia, prevalensi *stroke* mencapai 8,3 per 1.000 penduduk pada tahun 2023. Sementara itu, Provinsi Aceh mencatat jumlah kasus *stroke* sebesar 12.303 kasus pada tahun 2022 berdasarkan data Dinas Kesehatan setempat (Kementerian Kesehatan RI, 2023). Kondisi ini diperparah oleh meningkatnya faktor risiko seperti hipertensi, diabetes, dan gaya hidup tidak sehat, sehingga diperlukan pendekatan rehabilitasi yang efektif untuk meminimalkan disabilitas dan meningkatkan kualitas hidup pasien. Rehabilitasi *pasca stroke* menjadi prioritas nasional, sejalan dengan kebijakan pemeriksaan kesehatan gratis dan pembangunan fasilitas kesehatan di daerah terpencil, sebagaimana ditekankan oleh Presiden Republik Indonesia (Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, 2024).

Seiring perkembangan teknologi, pendekatan rehabilitasi kesehatan dalam satu dekade terakhir mulai mengarah pada pemanfaatan solusi digital. Teknologi *wearable*, seperti sensor berbasis *Internet of Things* (IoT), memungkinkan pemantauan gerakan pasien secara *real time* untuk menilai kemajuan terapi secara objektif. Gerakan tangan menjadi fokus utama dalam rehabilitasi neuromotorik karena perannya yang penting dalam aktivitas sehari-hari, seperti makan, menulis, dan berpakaian. Namun, di Indonesia, penerapan teknologi ini masih terbatas, terutama dalam pengukuran fungsi tangan menggunakan standar klinis seperti *Action Research Arm Test* (ARAT), yang menilai kemampuan motorik lengan secara objektif.

Meskipun potensi teknologi *wearable* besar, fenomena nyata yang menjadi perhatian adalah rendahnya akses pasien *stroke* terhadap rehabilitasi yang konsisten dan terukur. Di Kabupaten Aceh Utara, misalnya hanya sebagian kecil dari 224 kasus *stroke* pada 2022 yang mendapatkan terapi berkelanjutan karena keterbatasan fasilitas dan tenaga fisioterapis (Antero Aceh, 2023). Penilaian manual sering kali memakan waktu dan rentan terhadap subjektivitas, sehingga menyulitkan evaluasi progres pasien secara akurat. Fenomena ini diperparah oleh minimnya alat bantu adaptif yang terjangkau dan mudah digunakan di rumah, terutama di daerah terpencil, yang menghambat pemulihan fungsi tangan pasien.

Penyebab utama masalah ini meliputi keterbatasan infrastruktur teknologi kesehatan, kurangnya integrasi data dari sensor untuk analisis adaptif, dan rendahnya literasi digital di kalangan tenaga medis dan pasien. Meskipun, *wearable* menawarkan potensi besar dalam rehabilitasi, kebanyakan perangkat yang tersedia saat ini masih dirancang untuk pemantauan kesehatan umum, seperti detak jantung, dan belum dioptimalkan untuk rehabilitasi neuromotorik spesifik, termasuk pengukuran ARAT (Yang *et al.*, 2023). Selain itu, biaya tinggi dan kurangnya pelatihan bagi fisioterapis dalam menggunakan teknologi canggih menjadi hambatan adopsi. Akar masalah ini menciptakan kesenjangan antara kebutuhan klinis dan ketersediaan solusi teknologi yang relevan.

Beberapa penelitian telah mengeksplorasi penggunaan data *wearable sensor* dan algoritma *machine learning* untuk menilai fungsi lengan bawah pada pasien *pasca stroke*, termasuk estimasi skor klinis seperti ARAT dengan akurasi yang menjanjikan (misalnya dengan sensor IMU) (Werner *et al.*, 2022). Namun, sebagian besar studi bersifat awal atau fokus pada estimasi skor skala tersebut tanpa integrasi penuh ke sistem rehabilitasi berbasis IoT yang terukur secara objektif dalam penerapan di dunia nyata. Ulasan sistematis terbaru juga menunjukkan bahwa meskipun *wearable sensor* dan pendekatan *machine learning* memiliki potensi besar dalam rehabilitasi, masih diperlukan penelitian lanjutan untuk mengatasi keterbatasan teknis dan praktik yang ada saat ini .

Urgensi penelitian ini terletak pada kebutuhan mendesak untuk meningkatkan aksesibilitas dan efektivitas rehabilitasi *pasca stroke*, terutama di daerah terpencil.

Dengan mengembangkan Sistem, sebuah *hand wearable sensor* berbasis IoT dengan *machine learning*, penelitian ini bertujuan untuk memungkinkan pemantauan gerakan tangan secara *real time* berdasarkan *assessment* ARAT. Manfaatnya meliputi pengurangan ketergantungan pada penilaian manual, peningkatan kemandirian pasien, dan dukungan terhadap transformasi digital sistem kesehatan nasional. Inovasi ini juga sejalan dengan amanat Undang-Undang Nomor 36 Tahun 2009 tentang Kesehatan, yang menjamin hak atas pelayanan rehabilitasi (Pemerintah Republik Indonesia, 2009).

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan mengembangkan sebuah sistem *hand wearable sensor* berbasis IoT dengan menggunakan algoritma *Random Forest* yang difokuskan pada pemantauan gerakan tangan pasien *pasca stroke*. Sistem ini dirancang untuk mengumpulkan data gerakan tangan secara *real time* menggunakan *accelerometer* sensor dan menganalisis pola gerakan secara digital, dengan tujuan mendukung evaluasi fungsi motorik berdasarkan prinsip *Action Research Arm Test* (ARAT). Penelitian ini bersifat konseptual dan prototipikal, sehingga belum diterapkan langsung pada pasien maupun dibandingkan dengan penilaian manual ARAT. Diharapkan pendekatan ini dapat menjadi dasar pengembangan sistem rehabilitasi neuromotorik yang lebih lanjut, meningkatkan efektivitas terapi, dan memberikan alternatif pemantauan jarak jauh bagi pasien di daerah terpencil.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang penelitian, rumusan masalah dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang sistem *hand wearable sensor* berbasis IoT untuk memantau gerakan tangan pasien *pasca stroke* secara *real time*?
2. Bagaimana menerapkan metode *Random Forest* untuk mengolah data sensor dalam menilai fungsi gerakan tangan pasien *pasca stroke* berdasarkan *Action Research Arm Test*?
3. Bagaimana sistem dapat mengukur dan menganalisis fungsi motorik tangan berdasarkan prinsip *Action Research Arm Test* (ARAT)?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah disusun, penelitian ini memiliki beberapa tujuan yang ingin dicapai, yaitu:

1. Merancang dan membangun sebuah prototipe sistem *hand wearable sensor* berbasis IoT menggunakan mikrokontroler ESP32 dan dua sensor MPU6050 untuk memantau gerakan tangan secara *real time*.
2. Mengimplementasikan algoritma *Random Forest* untuk mengklasifikasikan pola gerakan tangan dan memprediksi kualitas gerakan berdasarkan kriteria *Action Research Arm Test (ARAT)*.
3. Menganalisis performa sistem dalam menghasilkan skor fungsional numerik (ARAT) yang divisualisasikan melalui *dashboard web* sebagai indikator objektif pemulihan motorik.

1.4 Manfaat Penelitian

Berdasarkan tujuan penelitian yang telah ditetapkan, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi secara aspek akademik, klinis, dan sosial sebagai berikut:

Manfaat Akademik:

1. Memberikan kontribusi terhadap pengembangan ilmu pengetahuan di bidang rehabilitasi neuromotorik dan teknologi *wearable*.
2. Menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya yang menggabungkan sensor IoT dan *machine learning* untuk evaluasi fungsi motorik.
3. Menyediakan data dan prototipe awal yang bisa diuji lebih lanjut untuk sistem rehabilitasi berbasis teknologi.

Manfaat Klinis:

1. Mengurangi ketergantungan pada penilaian manual, yang rentan subjektivitas.
2. Mendukung pengembangan terapi jarak jauh untuk pasien yang tinggal di daerah terpencil.

Manfaat Sosial / Pasien:

1. Meningkatkan kemandirian pasien dalam menjalani rehabilitasi di rumah.
2. Memberikan alternatif pemantauan yang lebih terjangkau dan mudah diakses.

1.5 Ruang Lingkup dan Batasan Penelitian

Untuk memperjelas arah penelitian dan memastikan pembahasan tetap terfokus, maka ruang lingkup dan batasan masalah dalam penelitian ini ditetapkan sebagai berikut:

1. Penelitian ini berfokus pada pengembangan sistem *hand wearable sensor* berbasis IoT dengan menggunakan metode *Random Forest* untuk pemantauan gerakan tangan *pasca stroke*.
2. Analisis fungsi tangan dilakukan secara konseptual menggunakan prinsip *Action Research Arm Test* (ARAT).
3. Penelitian ini difokuskan pada pemantauan *Gross Movement* (gerakan besar) dan *grip* (mencengkeram).

Penelitian ini dibatasi pada aspek-aspek tertentu untuk memastikan ketercapaian tujuan penelitian secara akurat. Adapun batasan masalah tersebut ditetapkan sebagai berikut:

1. Sistem ini difokuskan pada pemantauan *Gross Movement* (gerakan besar) dan *grip* (mencengkeram). Pembatasan ini didasarkan pada pertimbangan teknis, yaitu sensor inersia MPU6050 yang digunakan sangat efektif dalam mendeteksi gerakan makro yang melibatkan rotasi sendi besar dan pergerakan seluruh lengan, namun memiliki keterbatasan sensitivitas dalam membedakan gerakan halus jari pada subkategori *grasp* dan *pinch*.
2. Dari total 19 gerakan pada *Action Research Arm Test*, penelitian ini menganalisis 7 gerakan yaitu tiga gerakan *Gross Movement* yaitu tangan ke belakang kepala, tangan ke atas kepala, tangan ke mulut dan empat gerakan *grip* yaitu menuang air dari gelas ke gelas lain, mengangkat tabung diameter 2.25 cm, mengangkat tabung 1 x 16 cm, dan memasang *washer* berdiameter 3.5 cm ke bolt.
3. Total skor maksimum untuk 7 gerakan ARAT yang dianalisis adalah 21 poin, dari total skor penuh 57 poin untuk 19 gerakan yang digunakan sebagai indikator kinerja tangan peserta.
4. Tidak ada analisis perbandingan secara langsung antara hasil sistem dan penilaian ARAT konvensional pada pasien.

5. Penelitian tidak mencakup pengembangan perangkat lunak klinis yang lengkap atau integrasi dengan sistem rumah sakit.
6. Sistem hanya menggunakan sensor *accelerometer*.
7. Penelitian ini difokuskan pada tangan kanan.
8. Penempatan sensor pada penelitian ini dilakukan pada punggung tangan dan lengan bawah.
9. Proses pengambilan data untuk keperluan pengembangan dan validasi model *machine learning* dilakukan dengan melibatkan subjek sebanyak 10 orang.
10. Proses pengambilan data dilakukan menggunakan kursi dengan tinggi 48 cm dan meja dengan tinggi 82 cm untuk menjaga keseragaman posisi subjek saat melakukan gerakan ARAT.