

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Stroke merupakan salah satu penyakit tidak menular yang merupakan penyebab utama disabilitas di Indonesia. Berdasarkan data Riskesdas 2018, tingkat penderita stroke di Indonesia mencapai 10,9 per 1000 penduduk. Provinsi dengan angka tertinggi adalah Kalimantan Timur (14,7 per mil), sedangkan yang terendah adalah Papua (4,1 per mil). DKI Jakarta juga mencatat angka di atas rata-rata nasional, yaitu 12,2 per mil. Tingginya angka penderita stroke ini tidak hanya berdampak pada individu, tetapi juga membebani sistem kesehatan nasional (Pratama dkk., 2022). Stroke tidak hanya berdampak pada kesehatan fisik, tetapi juga memengaruhi kualitas hidup individu melalui gangguan mobilitas gerak hal ini berefek pada aktifitas sehari-hari. Salah satu dampak utama adalah terganggunya kemampuan berjalan. Sehingga pemulihan kemampuan berjalan menjadi salah satu tujuan utama pasca-stroke (Candra Yoel Kristian Adi dkk., 2022).

Keterbatasan akses terhadap rehabilitasi di Indonesia menjadi salah satu tantangan besar dalam penanganan stroke. Studi menunjukkan bahwa di Indonesia tenaga fisioterapi dan fasilitas rehabilitasi belum merata yang menyebabkan kesenjangan antara daerah dan perdesaan (Nurriszky Mianti dkk., 2021). Pengembangan teknologi fisioterapi dan rehabilitasi lokal menjadi kebutuhan mendesak, hal tersebut sangat relevan karena fisioterapi memiliki peran penting dalam memulihkan mobilitas pasien stroke. Oleh karena itu, pengembangan teknologi rehabilitasi berbasis robot menjadi potensi yang sangat potensial (Calafiore dkk., 2022; Lyu dkk., 2019).

Esoskeleton merupakan salah satu inovasi teknologi rehabilitasi yang telah menunjukkan potensi besar dalam membantu pemulihan pasien stroke. Awalnya, teknologi ini dikembangkan sebagai robot untuk memungkinkan orang yang lumpuh total akibat cedera tulang belakang untuk berdiri dan berjalan. Kini *eksoskeleton* telah berkembang untuk memberikan dukungan motorik anggota tubuh bawah pasien stroke, Gangguan pada jalur saraf motorik yang sering terjadi akibat stroke sering kali menyebabkan gangguan fungsi motorik yang parah

(Vaughan-Graham dkk., 2020). Sehingga memerlukan intervensi insentif untuk memulihkan komunikasi otak dan otot. Rehabilitasi seperti terapi atau robotik yang terarah dan terstruktur dapat memperbaiki koneksi saraf dan membentuk jalur baru (*neuroplasticity*) untuk menggantikan jalur saraf yang rusak, sehingga memungkinkan pasien memulihkan bagian atau seluruh fungsi motoriknya (Hasanah dkk., 2019)

Konsep neuroplastisitas menjadi dasar utama dalam mendukung pemulihan pasien stroke. Neuroplastisitas merupakan kemampuan otak dan sistem saraf untuk berubah secara struktural dan fungsional sebagai respons terhadap stimulus lingkungan, pengalaman, pembelajaran, cedera dan proses penyakit, Ini mencakup berbagai mekanisme termasuk membentuk ulang, dan menguatkan koneksi saraf sebagai respons terhadap cedera atau latihan fisik yang konsisten (Maier dkk., 2019). Proses ini mencakup reorganisasi jalur saraf untuk mengkompensasi fungsi yang hilang akibat stroke, serta pembentukan koneksi baru di area otak yang tidak terpengaruh. Neuroplastisitas sudah diaplikasikan kedalam teknologi Cyberdyne HAL (*Hybrid Assistive Limb*), sebuah perangkat *eksoskeleton* yang menggunakan sinyal bioelektrik untuk mendeteksi intensi Gerakan. Cyberdyne HAL membantu merangsang reorganisasi saraf, sehingga mempercepat pemulihan pasien dengan lebih efektif dan terukur (Watanabe dkk., 2017).

Mekanisme *trigger* yang digunakan pada perangkat seperti Cyberdyne HAL menjadi elemen penting dalam mendukung neuroplastisitas. Inovasi terbaru menunjukkan bahwa elektromiografi (EMG) adalah salah satu teknologi paling efektif dalam memicu gerakan. EMG mendeteksi aktivitas listrik pada otot, yang mencerminkan niat gerakan pasien, sehingga memungkinkan robot rehabilitasi untuk merespons secara real-time. Hal ini menciptakan pengalaman Gerakan yang lebih terkoordinasi sesuai dengan intensi gerak pasien (Rosales-Luengas dkk., 2023). Beberapa tahun terakhir pengembangan *eksoskeleton* menggunakan EMG telah mendapatkan perhatian besar. Kemajuan signifikan dalam *eksoskeleton* berbasis EMG menunjukkan potensi dalam rehabilitasi stroke dan bantuan mobilitas, seperti yang terlihat pada proyek ALEXO, yang dirancang untuk memberi dukungan aktif dalam berjalan. ALEXO mampu mengimplementasikan

metode kontrol lintasan yang membuat aktivitas fisik lebih efisien dan lancar (Yudha dkk., 2023).

Beberapa studi mengembangkan perangkat berbasis *surface Electromyography* (sEMG) untuk meningkatkan kekuatan kaki saat berjalan. Dengan menggabungkan sinyal EMG dan sensor fleksibel, perangkat ini dapat menyesuaikan pola berjalan menggunakan sinyal EMG dari otot paha, yang memungkinkan gerakan menjadi lebih fleksibel dan terkoordinasi dengan menyesuaikan pola berjalan pasien. Adaptasi ini meningkatkan mobilitas dan kenyamanan bagi pasien (Cenit & Gandhi, 2020). Meskipun demikian, masih ada tantangan besar yang perlu diatasi, terutama terkait noise pada sinyal, variabilitas, dan faktor eksternal yang mempengaruhi akurasi sinyal EMG (Carvalho dkk., 2023). Selain itu, sinyal EMG dapat dipengaruhi oleh faktor eksternal, seperti kelelahan otot atau impedansi kulit, sehingga sulit dalam mendeteksi sinyal yang konsisten dan akurat. Deteksi intensi pengguna juga tetap menjadi masalah, terutama dalam lingkungan yang dinamis di mana gerakan perlu disesuaikan dengan cepat (Moon dkk., 2019)

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, Penggunaan sinyal EMG pada robot fisioterapi untuk rehabilitasi stroke terus berkembang. penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan robot fisioterapi berbasis EMG dengan pendekatan yang mendukung proses pemulihan neuroplastisitas, dengan memanfaatkan EMG sebagai pemicu gerakan pada empat fase siklus berjalan (1) *initial contact to foot flat*, (2) *foot flat to heel off*, (3) *heel off to toe off*, dan (4) *swing phase* (Adiputra dkk., 2023). Tiga otot utama yaitu soleus, tibialis, dan gastrocnemius yang akan digunakan sebagai pemicu gerakan pada setiap fase. Metode klasifikasi berbasis ekstraksi fitur seperti *Root Mean Square* (RMS), *Mean Absolute Value* (MAV), dan *Variance* (VAR) akan diterapkan untuk memilih otot yang paling relevan untuk pemicu utama (Rosales-Luengas dkk., 2023)(Cenit & Gandhi, 2020). Pendekatan ini diharapkan dapat meningkatkan sensitivitas robot terhadap perubahan gerakan, sekaligus menyederhanakan proses interpretasi sinyal EMG yang kompleks, sehingga memberikan solusi yang lebih efisien dan responsif dalam rehabilitasi pasien stroke (Adiputra dkk., 2020; Chen dkk., 2023).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, rumusan masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini, yaitu :

1. Bagaimana penerapan teknologi EMG pada robot fisioterapi dapat meningkatkan fungsionalitas robot fisioterapi?
2. Apa saja otot yang berkontribusi dominan pada setiap fase gait untuk digunakan sinyal sebagai pemicu?
3. Bagaimana sistem kontrol dapat diintegrasikan dengan sinyal EMG untuk menghasilkan gerakan yang di picu oleh pasien?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Menerapkan teknologi EMG pada robot fisioterapi untuk meningkatkan fungsionalitas robot dalam mendeteksi dan menyesuaikan gerakan berdasarkan aktivitas otot pengguna.
2. Mengidentifikasi otot yang berkontribusi dominan pada setiap fase gait yang dapat digunakan sebagai sinyal pemicu dalam robot fisioterapi.
3. Mengklasifikasikan sinyal EMG ke dalam dua grup, yaitu aktif dan non-aktif, yang akan digunakan untuk mengontrol gerakan robot fisioterapi yang dipicu oleh pasien

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagaai berikut:

1. Studi hanya dilakukan pada otot-otot pergelangan kaki, yaitu Soleus, Tibialis Anterior, dan Gastrocnemius.
2. Penelitian difokuskan pada empat fase utama siklus gait, yaitu: (1) kontak awal ke telapak kaki menyentuh tanah, (2) telapak kaki menyentuh tanah ke tumit terangkat, (3) tumit terangkat ke ujung kaki terangkat, dan (4) fase ayunan.
3. Subjek penelitian terbatas pada individu sehat berusia dewasa muda tanpa gangguan gait atau kelumpuhan.
4. Implementasi sistem dilakukan pada robot fisioterapi yang dikembangkan sebelumnya, dengan modifikasi pada algoritma kontrol berbasis EMG.

5. Penelitian ini menggunakan klasifikasi sinyal EMG dengan ekstraksi fitur *Root Mean Square* (RMS), *Mean Absolute Value* (MAV), dan *Variance* (VAR) untuk menentukan otot-otot yang berkontribusi aktif pada setiap fase gait.

1.5 Manfaat Penelitian

Dengan penerapan pendekatan kontrol robotik berbasis sinyal elektromiografi (EMG), penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan kontribusi yang signifikan dalam meningkatkan teknologi rehabilitasi bagi pasien pasca-stroke, khususnya di Indonesia, dengan menghadirkan pendekatan baru dalam kontrol robotik menggunakan sinyal EMG sebagai pemicu gerakan berdasarkan kecepatan pergelangan kaki. Pendekatan memperkuat responsivitas robot terhadap aktivitas otot pasien. Selain itu, penelitian ini bertujuan untuk menyediakan solusi lokal yang lebih terjangkau, mengurangi ketergantungan pada teknologi impor, dan menjembatani kesenjangan dalam akses rehabilitasi, sekaligus meningkatkan efektivitas terapi dan pemulihan pasien melalui gerakan yang stabil dan terkendali. Dengan penerapan pendekatan ini, penelitian ini diharapkan dapat memberikan dampak positif dalam upaya peningkatan kualitas layanan rehabilitasi dan pemulihan pasien secara berkelanjutan.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulis disusun dalam empat bab: (1) Pendahuluan, (2) Landasan Teori, (3) Metodologi Penelitian, dan (4) Kesimpulan. Bab I pendahuluan memperkenalkan latar belakang penelitian, permasalahan penelitian, tujuan, dan ruang lingkup penelitian. Bab ini juga menjelaskan pertanyaan penelitian dan pentingnya penelitian ini. Selain itu, bab ini membahas relevansi penggunaan sinyal EMG untuk rehabilitasi pergelangan kaki dan pentingnya mengembangkan sistem pemicu gerakan dalam robot fisioterapi.

Bab II landasan teori memberikan tinjauan terkait penelitian dan teori yang relevan dengan topik penelitian, dengan fokus pada elektromiografi (EMG), rehabilitasi pergelangan kaki, dan penggunaan EMG sebagai pemicu gerakan robotik. Bab ini juga membahas kerangka teoritis neuroplastisitas, peran fisiologis otot pergelangan kaki, serta berbagai metode untuk mengklasifikasikan sinyal

EMG. Selain itu, bab ini mengulas penelitian sebelumnya yang telah menerapkan EMG dalam sistem rehabilitasi robot.

Bab III metodologi penelitian menjelaskan metodologi penelitian secara rinci. Bab ini mencakup proses pengumpulan data, termasuk perekaman sinyal EMG dari otot Soleus, Tibialis Anterior, dan Gastrocnemius. Bab ini juga menggambarkan metode ekstraksi fitur yang digunakan, seperti *Root Mean Square* (RMS), *Mean Absolute Value* (MAV), dan *Variance* (VAR), dan bagaimana fitur-fitur ini diterapkan untuk mengidentifikasi sinyal otot yang aktif dan non-aktif. Bagian metodologi ini juga mencakup pengaturan eksperimen dan implementasi sistem kontrol berbasis EMG dalam robot fisioterapi.

Bab IV Pengumpulan dan Pengolahan Data menyajikan proses perekaman sinyal elektromiografi (EMG) dari otot Tibialis Anterior, Soleus, dan Gastrocnemius pada subjek uji sehat. Data yang dikumpulkan kemudian dinormalisasi berdasarkan siklus gait untuk memastikan keseragaman durasi antar fase. Tahapan selanjutnya meliputi evaluasi kestabilan sinyal menggunakan koefisien variasi (CV) serta ekstraksi tiga fitur time-domain, yaitu RMS, MAV, dan VAR. Fitur-fitur ini digunakan untuk mengklasifikasikan status aktivasi otot (aktif atau tidak aktif) berdasarkan nilai ambang (*threshold*) tertentu. Hasil klasifikasi kemudian digunakan untuk menentukan otot dominan pada tiap fase gait yang dijadikan pemicu sistem robot fisioterapi.

Bab V Analisis dan Pembahasan memuat evaluasi terhadap hasil klasifikasi dan implementasi sistem. Proses verifikasi dilakukan dengan membandingkan distribusi aktivasi otot terhadap literatur, sedangkan validasi sistem dilakukan melalui pengujian pada robot fisioterapi dengan subjek uji berbeda untuk memastikan konsistensi performa sistem.

Bab VI Kesimpulan dan Saran merangkum temuan utama dari penelitian ini, termasuk efektivitas pemicu gerakan berbasis EMG, serta menyampaikan saran pengembangan lebih lanjut untuk peningkatan akurasi, adaptabilitas, dan potensi penerapan klinis sistem ini dalam rehabilitasi pasien pasca stroke.