

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Stroke adalah salah satu masalah kesehatan yang terus meningkat di seluruh dunia, dengan jutaan kasus baru tercatat setiap tahun (World Stroke Organization (WSO): Global Stroke Fact Sheet 2022, 2022). Penyakit ini terjadi akibat gangguan pada pembuluh darah, baik karena berkurangnya aliran darah ke otak (iskemia) maupun pendarahan (hemoragik), yang menyebabkan kerusakan pada sistem saraf pusat. Kerusakan ini mengakibatkan hilangnya fungsi saraf yang berdampak pada kemampuan kognitif dan fisik. Tidak hanya merusak jaringan otak, tetapi juga menghambat pasokan oksigen dan nutrisi ke area otak tertentu, sehingga memicu gangguan lebih lanjut sehingga membutuhkan proses rehabilitasi jangka panjang yang difokuskan pada pemulihan kemampuan dasar pasien. Meski begitu, sekitar sepertiga penyintas stroke masih mengalami gangguan pada fungsi fisik, sosial, kognitif, dan emosional, yang secara signifikan memengaruhi kualitas hidup mereka sehari-hari (Nedergård, 2021).

Sesuai dengan tujuan *Sustainable Development Goals* (SDGs) poin ketiga adalah menjamin kehidupan yang sehat dan meningkatkan kesejahteraan semua orang. Saat terjadi gangguan pada lokomotor seseorang akibat stroke maka pasien harus menjalani rehabilitasi. Metode rehabilitasi inovatif menjadi solusi untuk mendukung pemulihan pasien, termasuk penggunaan eksoskeleton atau robot rehabilitasi. Salah satu robot rehabilitasi saat ini adalah Ankle Foot Orthosis (AFO) yang digunakan untuk membantu pasien berjalan dengan mengunci plantarfleksi kaki sehingga mencegah *foot drop* pada pasien pasca stroke (Abdul Rahman & Adiputra, 2021).

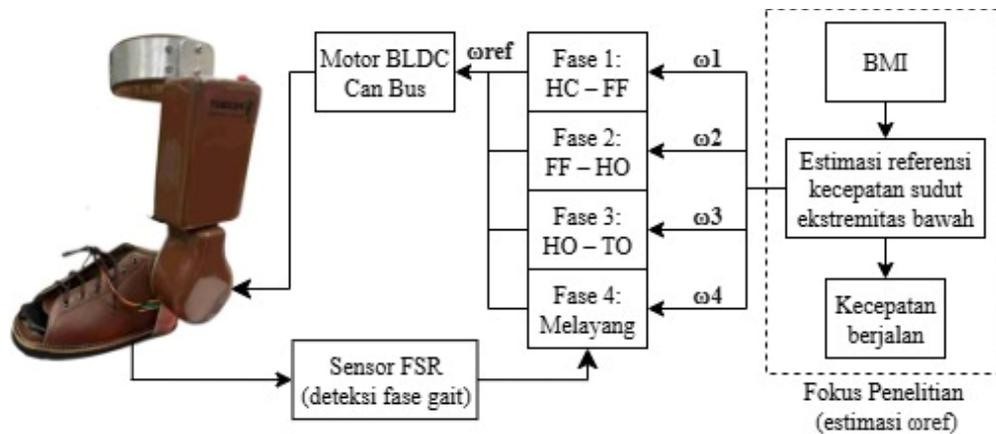
Robot rehabilitasi dapat bekerja secara efektif jika dilengkapi dengan kontrol referensi yang tepat. Kontrol referensi yang akurat memungkinkan perangkat untuk menghasilkan respons sistem yang sesuai dengan kebutuhan pasien, termasuk dalam menciptakan pola berjalan yang mendekati gerakan alami. Oleh karena itu, berbagai penelitian telah mengembangkan dan menguji beragam kontrol referensi yang digunakan untuk pengembangan dalam rehabilitasi. Pada

satu penelitian estimasi sinergi otot menggunakan beberapa sensor membantu eksoskeleton menyesuaikan torsi berdasarkan aktivitas otot pengguna (Ma et al., 2024). Penelitian lain menggunakan daya puncak sendi (Jiang et al., 2019), antropometrik dan kecepatan berjalan untuk mempelajari pola berjalan (Hong et al., 2019). Dalam pendekatan lain menggunakan estimasi Posisi Pusat Massa (COM) dan Zero Moment Point (ZMP) untuk membantu menjaga stabilitas dinamis (Li et al., 2021). Salah satu penelitian menggunakan kecepatan sudut sebagai parameter kontrol adalah *Passive-Controlled Ankle Foot Orthosis* (PICAFO) yang mengoptimalkan kecepatan sudut pergelangan kaki dan torsi sendi untuk dapat mengontrol kekakuan rem *Magnetorheological* (RM) (Abdul Rahman & Adiputra, 2021) (D. Adiputra et al., 2019).

Namun fisioterapi dengan bantuan robot juga dianggap terlalu memaksa pasien untuk berlatih tanpa mempertimbangkan karakteristik atau kemampuan individu pasien (Nedergård et al., 2023). Tindakan ini dikhawatirkan dapat mengabaikan kebutuhan spesifik pasien, meskipun bertujuan untuk meningkatkan intensitas latihan berjalan dan mempercepat proses pemulihan. Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis apakah kecepatan sudut rata-rata ekstremitas bawah dapat diestimasi berdasarkan BMI dan kecepatan berjalan setiap individu, sesuai dengan karakteristik pola berjalan masing-masing individu. Dengan demikian, diharapkan penelitian ini dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan personalisasi robot rehabilitasi pasca-stroke.

Penggunaan metode regresi memungkinkan pemodelan hubungan antara variabel kecepatan sudut rata-rata ekstremitas bawah dengan variabel BMI dan kecepatan berjalan sehingga dapat mengidentifikasi pola yang mendasari data. Pendekatan ini telah diterapkan dalam berbagai studi biomekanika seperti pada penelitian oleh Payen et al. (2024) yang mengkaji korelasi *Supination Resistance Test* (SRT) dan efek biomekanik dari berbagai jenis foot orthoses pada sudut dan momen sendi kaki serta pergelangan kaki selama berjalan (Payen et al., 2024). Sedangkan pemilihan BMI dan kecepatan berjalan sebagai variabel penelitian didasarkan pada penelitian sebelumnya seperti yang telah diimplementasikan dalam sistem PICAFO. Dalam penelitian tersebut ditemukan bahwa BMI dan kecepatan berjalan memiliki korelasi yang lebih signifikan dengan

kecepatan sudut pergelangan kaki jika dibandingkan dengan rata-rata torsi pergelangan kaki (D. Adiputra et al., 2019). Sistem robot rehabilitasi tersebut dikendalikan berdasarkan referensi kecepatan sudut pada setiap fase gait, sehingga memungkinkan pengaturan bantuan gerak yang lebih sesuai dengan pola fisiologis pasien. Dengan demikian, hasil estimasi kecepatan sudut berdasarkan BMI dan kecepatan berjalan pada penelitian ini diharapkan dapat diintegrasikan langsung sebagai referensi kontrol pada sistem robot rehabilitasi Picobot. Artinya, setelah pasien dimasukkan nilai BMI dan kecepatan berjalan pribadinya, sistem dapat menghasilkan nilai kecepatan sudut yang dipersonalisasi untuk mengaturr gerakan robot secara lebih adaptif dan sesuai karakteristik pengguna.



Gambar I. 1 Integrasi Parameter Kontrol Kecepatan Sudut Ekstremitas Bawah pada Sistem Picobot

Gambar I.1 menunjukkan ilustrasi integrasi sistem estimasi kecepatan sudut ekstremitas bawah sebagai referensi kontrol dalam sistem robot rehabilitasi Picobot. Estimasi dilakukan dengan mempertimbangkan nilai BMI dan kecepatan berjalan individu, yang selanjutnya digunakan untuk menghasilkan referensi kecepatan sudut (ω_{ref}) pada masing-masing fase gait. Sensor FSR berperan sebagai pendeteksi fase gait, yang mengklasifikasikan langkah pengguna ke dalam empat fase utama, yaitu HC-FF, FF-HO, HO-TO, dan fase melayang. Berdasarkan fase yang terdeteksi, sistem akan mengaktifkan referensi kecepatan sudut (ω_{ref}) yang telah diestimasi berdasarkan persamaan regresi dari variabel BMI dan kecepatan berjalan pengguna. Nilai ω_{ref} ini kemudian digunakan sebagai input kendali untuk motor BLDC, sehingga menghasilkan gerakan sendi yang sesuai dengan fase gait dan karakteristik personal pengguna.

1.2. Rumusan Masalah

- a. Bagaimana kecepatan sudut rata-rata ekstremitas bawah pada empat fase gait.
- b. Bagaimana estimasi kecepatan sudut rata-rata ekstremitas bawah berdasarkan kecepatan berjalan dan BMI menggunakan metode regresi?

1.3. Tujuan Penelitian

- a. Mendapatkan data kecepatan sudut rata-rata ekstremitas bawah pada empat fase gait.
- b. Mengestimasi kecepatan sudut ekstremitas bawah berdasarkan kecepatan berjalan dan BMI dengan membandingkan regresi linear, polynomial, dan logaritmik.

1.4. Batasan dan Asumsi Penelitian

- a. Subjek penelitian terdiri dari 24 orang dewasa berusia 26-59 tahun, yang dan tidak memiliki gangguan berjalan yang berjalan di bidang datar dengan kecepatan berjalan sesuai dengan karakter jalan masing-masing subjek.
- b. Pengelompokan data berdasarkan BMI dibagi menjadi 4 klasifikasi: *underweight* ($<18.5 \text{ kg/m}^2$), *normal* ($18.5 \text{ kg/m}^2 - < 25.0 \text{ kg/m}^2$), dan *overweight* ($25.0 \text{ kg/m}^2 - < 30.0 \text{ kg/m}^2$), *obese* ($\geq 30.0 \text{ kg/m}^2$) (Wu et al., 2024).
- c. Pengambilan data menggunakan sistem *motion capture* Vicon yang terdiri dari 5 kamera dengan *frame rate* 100 Hz untuk merekam gerakan berjalan subjek, dilengkapi dengan perangkat lunak Nexus untuk pemrosesan data kinematik dan analisis parameter gait.
- d. Pemodelan hubungan antara kecepatan sudut rata-rata dan parameter BMI menggunakan 3 metode regresi: linear, polinomial, dan logaritmik.
- e. Parameter yang digunakan dalam penelitian ini adalah kecepatan sudut rata-rata ekstremitas bawah dari tiga sendi utama: pergelangan kaki (*ankle*), lutut (*knee*), dan pinggul (*hip*).

1.5. Manfaat Penelitian

Melalui penelitian mengenai estimasi kecepatan sudut rata-rata ekstremitas bawah berdasarkan kecepatan berjalan dan BMI, diharapkan dapat memberikan wawasan baru yang berkontribusi pada personalisasi kendali sistem robot rehabilitasi pasca stroke. Pendekatan ini nantinya dapat digunakan untuk meningkatkan efektivitas robot dalam menyesuaikan pola gerak rehabilitasi dengan kebutuhan individu pasien. Dengan membandingkan tiga metode pemodelan regresi, yaitu linear, polinomial, dan logaritmik, akan dihasilkan perbedaan hasil yang dapat dianalisis lebih mendalam untuk mengidentifikasi metode terbaik dalam memprediksi kecepatan sudut tersebut. Hasil penelitian ini tidak hanya memberikan nilai akademik tetapi juga potensi aplikasi nyata dalam pengembangan teknologi rehabilitasi yang lebih personal dan adaptif.

1.6. Sistematika Penulisan

Penelitian ini disusun dalam beberapa bab dengan sistematika sebagai berikut: BAB I menjelaskan latar belakang yang menjadi dasar dilakukannya penelitian, seperti pentingnya kontrol referensi dalam rehabilitasi berbasis robot dan kebutuhan personalisasi berdasarkan parameter BMI dan kecepatan berjalan. Selain itu, tujuan dari penelitian untuk mendapatkan data kecepatan sudut rata-rata ekstremitas bawah pada empat fase gait dan mengestimasi kecepatan sudut ekstremitas bawah berdasarkan kecepatan berjalan dan BMI dengan membandingkan regresi linear, polinomial, dan logaritmik. BAB II memuat kajian literatur terdahulu yang relevan dengan penelitian serta teori dasar yang mendasari penelitian seperti variabel dan metode yang digunakan. BAB III menjelaskan tahapan-tahapan penelitian yang dilakukan, meliputi studi literatur, pengambilan dan pemrosesan data hingga analisis regresi. BAB IV menyajikan kesimpulan dari penelitian berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan.