

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Stroke merupakan salah satu penyebab utama kematian serta menjadi masalah kesehatan global yang signifikan [1]. Pasca-stroke, pasien sering mengalami penurunan kemampuan motorik, termasuk kesulitan dalam melakukan gerakan aktif, khususnya pada pergelangan tangan, jari, dan sendi tubuh bagian atas. Dalam tahap awal rehabilitasi, fisioterapi pasif menjadi langkah penting untuk memulai proses pemulihan motorik pasien [2]. Dalam bidang mekatronika, pengembangan eksoskeleton yang efektif untuk mendukung pasien pasca-stroke dalam menjalani fisioterapi pasif menjadi suatu kebutuhan yang mendesak. Perancangan eksoskeleton tersebut harus mengutamakan kontrol motorik yang presisi, responsif, serta mampu menghasilkan torsi yang memadai [1],[2]. Namun, terapi rehabilitasi konvensional saat ini sering kali bersifat intensif, membutuhkan waktu yang panjang, serta bergantung pada keterlibatan tenaga ahli. Hal ini menjadi kendala bagi pasien yang memerlukan terapi mandiri di tengah keterbatasan akses terhadap tenaga terapis.

Pasien pasca-stroke umumnya mengalami kehilangan kemampuan motorik serta gangguan sensoris dan persepsi akibat dampak pada otak, yang mengganggu koordinasi antara perintah otak dan gerakan tubuh. Permasalahan ini mencakup gangguan pada *tonus* otot, terutama *hipotonus*, serta kontrol postural, yang menghambat kemampuan pasien dalam melakukan aktivitas sehari-hari (ADL) [8],[15]. Kesulitan dalam mengembalikan *tonus postural* normal serta mencegah gerakan kompensasi menjadi tantangan utama dalam proses rehabilitasi. Pada tahap awal, pasien sering menghadapi kendala dalam memulai gerakan dasar, seperti ekstensi pada siku, rotasi pada bahu, hingga gerakan kompleks pada pergelangan tangan dan jari [2]. Pemulihan fungsi motorik pada sendi-sendi ini memerlukan kontrol gerakan yang halus dan presisi untuk memenuhi *Range of Motion (RoM)* pada setiap *Degree of Freedom (DoF)* tubuh bagian atas, khususnya pada sendi fleksor dan ekstensor [3],[10].

Terapi rehabilitasi konvensional yang intensif dan subyektif sering kali menyebabkan beban klinis yang tinggi serta tantangan dalam penyediaan layanan rehabilitasi yang efektif. Oleh karena itu, diperlukan suatu inovasi berupa eksoskeleton rehabilitasi yang dirancang untuk memenuhi kebutuhan pasien pasca-stroke dalam fisioterapi pasif. Dalam konteks ini, eksoskeleton untuk sendi siku harus dirancang dengan mempertimbangkan kebutuhan RoM hingga 146° , serta mampu menghasilkan torsi sampai dengan 10 Nm melalui penerapan mekanisme *cycloidal drive* dengan rasio gigi reduksi 1:28. Aktuator pada eksoskeleton ini menggunakan motor *Brushless DC* (BLDC) yang dikendalikan oleh *Electronic Speed Controller* (ESC), sehingga dapat memberikan gerakan yang halus dan responsif untuk mendukung rehabilitasi motorik pasien meskipun dengan faktor realibilitas pada kendali torsi konstan dan kendala *stalling*[4],[21].

Selain itu, sistem kontrol yang diterapkan pada eksoskeleton harus mampu menyesuaikan pergerakan sudut berdasarkan pembacaan *encoder* AS5600 dan sensor arus ACS724 sebagai *feedback* untuk memastikan akurasi gerakan yang mencapai lebih dari 80% dalam lingkup RoM sudut 0° hingga 140° . Dengan implementasi sistem kendali PID dinamis, eksoskeleton ini diharapkan dapat mendukung gerakan fisioterapi pasif, seperti ekstensi, fleksi, serta gerakan *ekstremitas* pada sendi siku, yang esensial untuk pemulihan fungsi motorik [3],[4].

Namun, perangkat eksoskeleton komersial yang tersedia saat ini masih memiliki keterbatasan, terutama dalam mengintegrasikan gerakan koordinasi pada sendi secara spesifik. Eksoskeleton komersial cenderung dirancang untuk fokus pada peningkatan kekuatan atau rehabilitasi neurologis secara umum, tanpa memberikan solusi khusus untuk kebutuhan fisioterapi pasif pada pasien pasca-stroke. Oleh karena itu, pengembangan eksoskeleton ini menjadi inovasi penting yang menekankan kemampuan adaptif dan responsif untuk mendukung gerakan fisioterapi pasif, sehingga pasien dapat menjalani rehabilitasi secara lebih mandiri dan efektif.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah mekatronika fisioterapis ditentukan sebagai berikut:

1. Bagaimana dalam merancang eksoskeleton siku fisioterapis untuk rehabilitasi lengan ini yang mampu mengakomodasi proses terapi fase awal pasien yang masih pasif gerak?
2. Bagaimana merancang mekatronika eksoskeleton bagian siku ini dengan torsi sebesar 10-20 Nm dan presisi sudut sesuai dengan RoM agar dapat menyokong gerakan fisioterapi pasien dengan spastik otot di sepanjang persendian siku?
3. Berapa banyak DoF yang diperlukan dalam alat bantu rehabilitasi ini guna mendukung fisioterapi fase awal bagi pasien pasca stroke pada bagian ekstremitas lengan?
4. Bagaimana sistem kendali pada eksoskeleton ini dapat menyesuaikan posisi dan kecepatan gerak dengan menggunakan *encoder feedback* dan sensor arus untuk memastikan kinerja sistem kendali yang akurat pada penentuan sudut dan aksi pada setiap motor dengan beban lengan pasien yang beragam?

1.3 Tujuan

Tujuan yang akan dicapai dan manfaat yang dihasilkan mekatronika fisioterapis antara lain :

Tujuan Umum:

1. Membuat desain alat bantu rehabilitasi eksoskeleton lengan dengan 1 DoF khususnya untuk pivot berdasarkan RoM pada persendian siku manusia untuk mendukung fase awal fisioterapi pasien yang memiliki gerakan pasif.

Tujuan Khusus:

1. Mengembangkan rangka eksternal eksoskeleton pada bagian sendi siku yang mampu untuk melakukan aksi gerakan ekstensi, fleksi, dan *feeding* pada sendi siku dengan implementasi *actuator cycloidal drive* pada mekanisme sendi dengan rasio gigi reduksi sebesar 1:28 guna menghasilkan torsi yang mendukung rehabilitasi pasien pasca-stroke pada tahap fisioterapi awal pada engsel siku.
2. Mengembangkan eksoskeleton rehabilitasi pasif lengan dengan 1 DoF yang dapat memenuhi gerakan ekstremitas sebesar 140° pada siku manusia.
3. Merancang sistem kendali PID yang dinamik agar mampu dalam menyesuaikan posisi sudut berdasarkan pembacaan *encoder* AS5600 dan sensor beban arus ACS724 sebagai

feedback untuk memastikan pergerakan sudut tepat dalam lingkup RoM sudut 0°-140° pada *actuator* motor BLDC *cycloidal joint* eksoskeleton terhadap beban lengan dengan akurasi >80%.

1.4 Manfaat Hasil Penelitian

1. Membantu pasien pasca stroke dalam memenuhi fisioterapi fase awal dengan menyediakan alat bantu rehabilitasi ini yang dapat berdampak pada proses-proses rehabilitasi pasien fisioterapi dengan rentang gerak pasif pada rentang gerak siku.
2. Menghasilkan rancangan mekatronika eksoskeleton guna meningkatkan pengalaman pasien rehabilitasi fase awal yang aman dan nyaman untuk mendukung fisioterapi gerakan pasif.
3. Merancang eksoskeleton yang mendukung profil ekstremitas gerak bahu dan lengan pasien dengan menentukan jumlah DoF yang tepat sehingga proses gerakan fisioterapi pasif dapat dimaksimalkan efisiensi rehabilitasinya.
4. Menjamin gerakan eksoskeleton dapat memenuhi rentang RoM yang aman dan nyaman untuk mendukung proses fisioterapi pasien tahap awal.
5. Perancangan eksoskeleton yang mampu menjamin pergerakan poros fisioterapi tahap awal dengan RoM yang tepat pada setiap DoF.
6. Mengembangkan suatu sistem kendali dengan *actuator* berbasis motor dengan *encoder* untuk *feedback* sehingga eksoskeleton memiliki performa sistem kendali yang responsif dan akurat guna hasil fisioterapi yang tepat.

1.5 Batasan Masalah

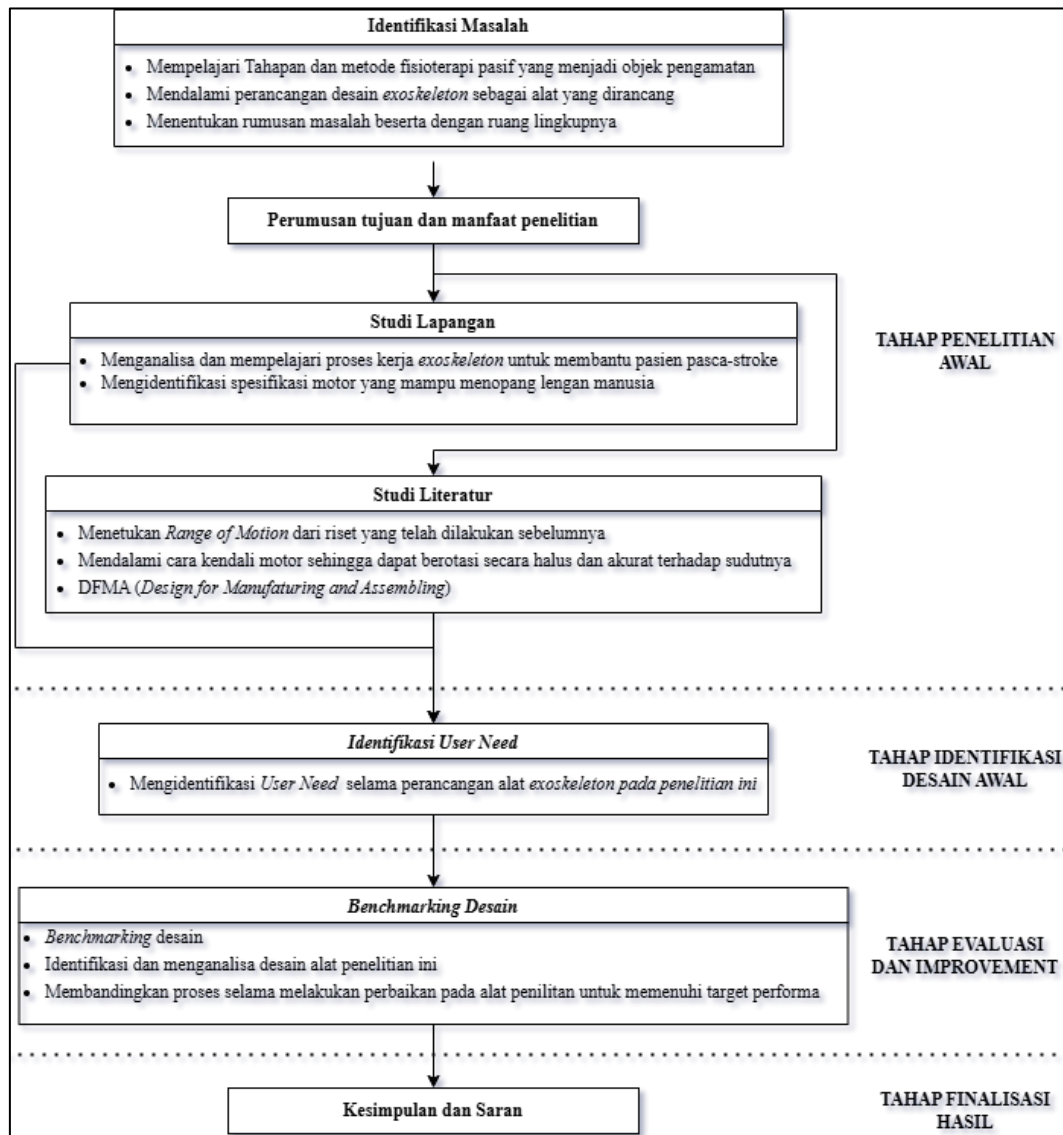
Batasan masalah sebagai acuan penelitian antara lain:

1. Alat ini dirancang pada penelitian ini adalah pasien pasca-stroke yang menjalani tahapan fisioterapi tahap awal (fisioterapi pasif).
2. Alat ini dirancang dengan RoM dengan 1 DoF yang dapat memenuhi gerakan ekstremitas siku untuk gerakan dasar ADL seperti makan, minum, dan berpakaian.

3. Alat rehabilitasi penelitian ini hanya berfokus pada gerakan ekstensor dan fleksor pada persendian siku bagian kanan pasien dengan kecepatan motor yang telah dibatasi.
4. Komponen kendali gerak motor alat belum dilengkapi dengan *driver* motor *Field-Oriented Control* dan masih mengandalkan ESC sebagai kendali tiga fasa BLDC.

1.6 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan fokus kontrol variabel kelompok dengan mengutamakan target objektif sebagai acuan dalam prosedur kontrol sistem robot fisioterapi dan sebagai objek pengolahan analisis data. Metode yang digunakan pada pengolahan dan analisis adalah metode kuantitatif untuk mendapatkan referensi pemodelan dinamik gerak. Metode dan perancangan penelitian yang di gunakan dalam penelitian ini tergambar pada diagram metode di bawah ini.



Gambar 1. 1 Diagram Metode Penelitian

1.7 Proyeksi Pengguna

Hasil penelitian ini diperkirakan akan memberikan manfaat bagi berbagai kelompok pengguna, antara lain:

Universitas dan Lembaga Penelitian

Fakultas Kedokteran dan Teknik dapat menggunakan temuan penelitian ini sebagai dasar untuk pengembangan lebih lanjut dalam bidang robotika rehabilitasi. Peneliti di bidang biomedis dan teknik biomedis dapat memanfaatkan hasil penelitian ini untuk studi lanjutan mengenai interaksi antara manusia dan robot dalam konteks rehabilitasi.

Institusi Kesehatan

Rumah sakit dan klinik rehabilitasi dapat memanfaatkan eksoskeleton ini untuk meningkatkan efektivitas program fisioterapi yang ditujukan bagi pasien pasca-stroke. Pusat rehabilitasi medis dapat mengintegrasikan alat ini ke dalam protokol perawatan mereka, guna mempercepat pemulihan fungsi motorik pasien.

Industri Alat Kesehatan

Perusahaan yang bergerak di sektor alat bantu medis dapat mengadopsi teknologi ini untuk mengembangkan produk komersial yang dapat digunakan secara luas. *Startup* yang berfokus pada teknologi kesehatan dapat menjadikan hasil penelitian ini sebagai landasan untuk inovasi produk baru.

Dengan demikian, hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi yang signifikan, mulai dari peningkatan kualitas perawatan kesehatan hingga pengembangan industri teknologi medis di Indonesia.

1.8 Jadwal Pelaksanaan

Jadwal pelaksanaan akan menjadi acuan dalam mengevaluasi tahap-tahap pekerjaan seperti yang tertuang dalam *milestone* yang sudah ditetapkan.

Tabel 1.1 Jadwal dan Milestone

No.	Deskripsi Tahapan	Durasi	Tanggal Selesai	Milestone
1	Desain Sistem	2 minggu	2 Sept 2024	Diagram Blok dan spesifikasi <i>Input-Output</i>
2	Pemilihan Komponen	2 minggu	5 Sept 2024	Daftar komponen yang akan digunakan

3	Implementasi Perangkat Keras, dll	3 bulan	16 Des 2024	Prototipe 1 selesai
4	Penyusunan laporan/buku TA	1 bulan	Jan 2024	Buku TA selesai