

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Menurut data dari Susenas Maret 2019, kurang lebih dari 9 persen (sekitar 23,3 juta orang) dari penduduk Indonesia mengalami disabilitas, dengan 2,2 persen (sekitar 5,7 juta) mengalami disabilitas berat. Angka-angka ini hampir sama dengan data disabilitas lain yang tersedia, yaitu data Survei Penduduk Antar Sensus (SUPAS) 6 yang menyatakan hampir 9 persen dari populasi dengan disabilitas sedang atau disabilitas sedang atau berat. Sekitar 3,76 persen nya merupakan penyandang tuna daksa dan 2,75 persen tidak memakai alat bantu *prosthetic foot*, disabilitas fisik di Indonesia mencapai angka yang signifikan. Secara spesifik, estimasi penduduk dengan gangguan mobilitas berjalan mencapai 0,4% dari total populasi atau setara dengan lebih dari 1,1 juta jiwa. Tingginya angka ini, yang dikombinasikan dengan data Kemenkes mengenai peningkatan risiko amputasi akibat diabetes, menunjukkan urgensi kebutuhan akan alat bantu mobilitas ekstremitas bawah yang terjangkau (Badan Pusat Statistik Indonesia, 2019).

Teknologi kaki prostetik *Energy Storing and Return* (ESAR) menawarkan keunggulan signifikan dibandingkan kaki pasif konvensional melalui mekanisme penyimpanan dan pengembalian energi yang meniru biomekanika, menghasilkan gaya berjalan yang lebih efisien dan energik dengan biaya metabolik yang rendah. Namun, adopsi teknologi ini di negara berkembang terhambat biaya material seperti serat karbon (*Carbon Fiber*) yang mahal, sehingga sulit dijangkau oleh mayoritas pasien. Di tengah kendala tersebut, terdapat kekosongan kajian yang nyata mengenai penggunaan material alternatif; literatur yang ada masih minim mengeksplorasi perbandingan material AL 7075, *Nylon* dan UHMWPE, padahal material ini berpeluang menyeimbangkan kinerja fungsional ESAR dengan aksesibilitas ekonomi yang krusial bagi konteks demografi seperti Indonesia (Adamczyk et al., 2017).

Kaki prostetik tipe *Energy Storing and Return* (ESAR) memiliki struktur (*core*) sebagai komponen krusial yang terdapat didalam *cushion*, *core* tidak hanya mendistribusikan beban tetapi juga menjadi pusat mekanisme penyimpanan energi di beberapa penelitian, sehingga menuntut material dengan kekuatan dan reliabilitas tinggi untuk menunjang aktivitas harian. Mengingat peran vital *core* sebagai tulang punggung struktural yang menanggung beban siklik ekstrem, desain komponen ini wajib memenuhi standar keselamatan internasional ISO 10328 untuk menjamin keamanan pengguna. Namun,

metode pengujian fisik konvensional (*trial-and-error*) pada tahap pengembangan awal sering kali tidak efisien dari segi biaya dan waktu (Webber & Kaufman, 2017). Oleh karena itu, penerapan *Finite Element Analysis* (FEA) hadir sebagai solusi pra-manufaktur yang strategis metode ini memungkinkan simulasi uji beban statis sesuai standar ISO 10328 secara virtual, sehingga prediksi kegagalan struktur dan identifikasi titik kritis tegangan dapat dilakukan secara akurat sebelum fabrikasi fisik direalisasikan. Hal ini dapat hanya menghemat waktu dan biaya (Tabucol et al., 2022). Metode pengujian berbasis standar ISO 10328 menjadi salah satu acuan utama dalam memastikan kualitas, daya tahan dan kenyamanan kaki prostetik. Standar ini menjadi acuan penting dalam pengujian dan evaluasi *core* prostetik model ESAR meliputi pengujian kekuatan statis dan dinamis untuk mensimulasikan beban yang dihadapi selama penggunaan sehari hari.

Dalam ranah rekayasa biomekanika, literatur mengenai kaki prostetik ESAR terus berkembang, tetapi mayoritas studi yang ada saat ini sebagian besar mengeksplorasi material karbon/komposit (Istiqomah et al., 2021). Sangat sedikit penelitian yang meneliti pada potensi material kelas menengah seperti *Nylon* dan UHMWPE (Kadhim et al., 2022), apalagi membandingkannya dengan Aluminium 7075 menggunakan data gaya berjalan (*Ground Reaction Force*) khas subjek lokal. Di samping isu ketersediaan material, terdapat pula keterbatasan dari sisi metodologi penelitian terdahulu yang sering kali tidak menyeluruh. Literatur yang tersedia cenderung memisahkan evaluasi fungsi dan evaluasi keamanan. Padahal, untuk menghasilkan desain yang optimal, diperlukan analisis yang menyandingkan seberapa efisien prosthesis tersebut dalam mekanisme penyimpanan energi dengan ketahanannya terhadap nilai deformasi permanen yang diatur oleh standar ISO 10328 (Aizawa et al., 2016).

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja struktur *core* kaki prostetik ESAR melalui studi komparasi tiga variasi material inti Aluminium 7075, *Nylon*, dan UHMWPE sebagai upaya pencarian alternatif material yang optimal. Kontribusi utama studi ini terletak pada penerapan skema simulasi kondisi pembebanan yang mengintegrasikan data *Ground Reaction Force* (GRF) eksperimental dari subjek lokal dengan analisis biomekanik pada siklus berjalan (*heel strike*, *mid-stance*, dan *toe-off*) dan kondisi pembebanan yang mengacu pada standar ISO 10328. Melalui pendekatan ini, kelayakan desain divalidasi secara mendalam berdasarkan parameter deformasi total, distribusi tegangan *Von Mises*, faktor keamanan (*safety factor*), serta perhitungan efisiensi energi, guna menghasilkan rekomendasi material yang menyeimbangkan keamanan struktural dengan performa dinamis.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana merancang model telapak kaki prostetik tipe ESAR dengan kebutuhan biomekanik pengguna?
2. Bagaimana pengaruh variasi material inti (AL7075, PE, dan *Nylon*) terhadap kinerja mekanik telapak kaki prostetik tipe ESAR?
3. Bagaimana distribusi gaya pada telapak kaki prostetik tipe ESAR selama tiga fase siklus gait dan standar ISO 10328?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Merancang model telapak kaki prostetik ESAR yang optimal menggunakan metode simulasi berbasis elemen hingga.
2. Menganalisis kinerja mekanik deformasi, tegangan *Von Mises* dan faktor keamanan pada berbagai material inti.
3. Mengevaluasi desain telapak kaki prostetik berdasarkan distribusi gaya pada fase *heel strike, midstance, toe-off*.

1.4 Manfaat Penelitian

1. Memberikan kontribusi terhadap pengembangan desain kaki prostetik yang lebih terjangkau dan efisien.
2. Menyediakan referensi teknis bagi industri prostetik dalam memilih material yang optimal.
3. Membantu meningkatkan aksesibilitas alat bantu prostetik bagi masyarakat Indonesia.

1.5 Batasan Masalah

1. Penelitian ini hanya berfokus pada desain dan simulasi berbasis elemen hingga model kaki prostetik tipe ESAR.
2. Simulasi yang dilakukan hanya statik saja yang menghasilkan respon (deformasi, tegangan *Von Mises*, dan faktor keamanan).
3. Simulasi hanya dilakukan dengan tiga kondisi saja (*heel strike, midstance* dan *toe-off*).
4. Pengujian akan dilakukan hanya dalam konteks simulasi saja dan tidak ada validasi eksperimental.
5. Pengujian ini difokuskan mengamati bagian *core* dari model kaki prostetik ESAR, meskipun simulasi dilakukan dengan menggabungkan semua bagian.

6. Penelitian akan mengacu pada standar ISO 10328 saja.
7. Pembebanan yang digunakan berdasarkan data sampling dari seorang dengan berat badan 64 Kg dan tinggi badan 166 cm.
8. Material dimodelkan sebagai linear elastis isotropik dengan sifat mekanik dari literatur.