

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Teknologi prostetik memainkan peran yang sangat penting dalam rehabilitasi amputasi, memberikan harapan baru bagi individu yang mengalami kehilangan anggota tubuh atau disebut penderita disabilitas. Dalam konteks rehabilitasi, teknologi prostetik tidak hanya berfungsi sebagai alat bantu fisik, tetapi juga sebagai sarana untuk meningkatkan kualitas hidup, mobilitas, dan kemandirian penderita disabilitas (Subiantari et al., 2014). Salah satu jenis prostetik yang paling banyak digunakan adalah *solid ankle cushion heel* (SACH), yang dikenal karena desainnya yang sederhana, ekonomis, dan mudah dalam perawatan. Meskipun demikian, kaki prostetik tipe SACH sering kali menghadapi tantangan dalam hal kenyamanan, daya tahan, dan kemampuan untuk meniru fungsi kaki alami. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (2022), jumlah penyandang disabilitas di Indonesia mencapai 23,3 juta jiwa atau sekitar 9% dari total populasi. Dari jumlah tersebut, sekitar 2,2% atau 5,7 juta orang mengalami disabilitas berat. Sebagian besar penyandang disabilitas ini tersebar pada kelompok usia produktif (58,8%) dan lansia (42%), yang mengindikasikan tingginya kebutuhan akan alat bantu mobilitas yang fungsional.

Meskipun kaki prostetik yang lebih canggih, seperti kaki prostetik *energy storing and recovery (ESR)* yang terbuat dari komposit yang diperkuat serat karbon atau serat kaca, mampu menyimpan dan mengembalikan energi yang cukup, namun harganya sering kali sangat mahal bagi individu di negara berkembang. Menurut *World Health Organization*, (2022), sekitar 35-40 juta individu di dunia membutuhkan prostetik atau ortotik, namun hanya 5-15% yang memiliki akses terhadap perangkat tersebut. Maka dari itu perlu dikembangkan kaki prostetik jenis *solid ankle cushion heel* (SACH) yang merupakan jenis kaki prostetik yang paling dasar dan tersedia secara luas di pasar Indonesia (Yoanita et al., 2023). Jenis kaki prostetik ini dikenal karena kekokohannya, harganya yang terjangkau, ketersediaan yang baik, dan perawatannya yang mudah.

Meskipun kebutuhan tinggi, belum banyak studi yang secara spesifik mengevaluasi material inti (*core*) ekonomis yang relevan dengan konteks manufaktur di Indonesia. Lebih jauh lagi, mayoritas penelitian terdahulu belum mengintegrasikan data *Ground Reaction Force* (GRF) aktual secara simultan dengan standar uji ISO 10328 dalam satu kerangka simulasi untuk memvalidasi keamanan desain secara komprehensif. Dengan simulasi ini, parameter-parameter penting seperti deformasi, tegangan, dan faktor keamanan dapat dievaluasi sesuai kondisi pembebanan aktual berdasarkan standar internasional ISO 10328.

Standar ISO 10328 adalah pedoman penting dalam pengujian kaki prostetik yang bertujuan untuk memastikan keselamatan dan efektivitas produk prostetik dengan menetapkan metode pengujian struktural yang mencakup pengujian kekuatan dan ketahanan terhadap beban yang dihadapi selama penggunaan sehari-hari. Mematuhi standar ini sangat penting untuk mengurangi risiko kegagalan struktural yang dapat menyebabkan cedera pada pengguna, serta meningkatkan kepercayaan pada desain dan manufaktur prostetik (Webber & Kaufman, 2017). Salah satu pengujian yang diterapkan pada standar ISO 10328 adalah gaya reaksi terhadap tanah atau *ground reaction force* (GRF). GRF adalah gaya yang dihasilkan oleh permukaan tanah sebagai respons terhadap gaya yang diterapkan oleh tubuh saat berjalan atau berlari. Dalam analisis biomekanik, GRF memainkan peran krusial dalam memahami interaksi antara kaki prostetik dan permukaan tanah, serta dalam mengevaluasi kinerja prostetik selama fase-fase siklus berjalan (*heel strike*, *mid-stance* dan *toe-off*). Variasi dalam desain kaki prostetik dapat mempengaruhi pola GRF, yang pada gilirannya memengaruhi kinerja dan kenyamanan pengguna (Houdijk et al., 2018). Pemahaman yang mendalam tentang ISO 10328 dan GRF serta pengaruhnya terhadap desain prostetik menjadi sangat penting dalam pengembangan kaki prostetik yang lebih baik dan lebih responsif terhadap kebutuhan pengguna.

Desain prostetik yang baik sangat penting dalam meningkatkan kenyamanan dan fungsionalitas bagi penggunanya. Kenyamanan adalah salah satu faktor utama yang mempengaruhi penerimaan dan penggunaan prostetik oleh individu yang mengalami amputasi. Desain yang ergonomis dan fungsional dapat meningkatkan kemampuan pengguna untuk beradaptasi dengan prostetik mereka, yang pada gilirannya meningkatkan kepercayaan diri dan kemandirian mereka (Sang et al., 2016). Selain itu, desain yang baik juga harus mempertimbangkan aspek ketahanan dalam pemakaian. Salah satu cara untuk mengetahui apakah kaki prostetik memiliki ketahanan yang bagus adalah dengan cara melakukan simulasi. Dengan memanfaatkan simulasi terutama simulasi jenis statik, proses pengembangan kaki prostetik dapat dilakukan dengan lebih efisien dan efektif,

menghasilkan produk yang lebih baik untuk pengguna. Simulasi ini memungkinkan peneliti untuk memprediksi bagaimana kaki prostetik akan berperilaku di bawah berbagai kondisi beban dan penggunaan sehari-hari (Ginestra et al., 2016).

Berangkat dari permasalahan tersebut tujuan dari skripsi ini adalah untuk merancang model telapak kaki prostetik jenis *solid ankle cushion heel* (SACH) yang efektif dan efisien, dengan memanfaatkan simulasi statik sebagai alat analisis utama. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja desain prostetik melalui analisis deformasi, tegangan *von Mises*, dan faktor keselamatan menggunakan perangkat lunak ANSYS dengan pendekatan teknis yang ketat. Simulasi ini tidak hanya menerapkan pembebanan statis sederhana, tetapi juga menyertakan studi konvergensi *mesh* untuk akurasi data, model kontak gesek (*frictional contact*) yang realistis, serta skenario pembebanan pada berbagai fase *gait cycle* dan beban ekstrem ISO 10328 Level P3.

Melalui penelitian ini, diharapkan dapat diperoleh desain kaki prostetik tipe SACH yang tidak hanya ekonomis tetapi juga memenuhi standar kekuatan dan kenyamanan yang dibutuhkan pengguna. Selain itu, hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan dalam pengembangan teknologi prostetik yang lebih terjangkau dan mudah diakses oleh masyarakat Indonesia, khususnya bagi individu yang memerlukan alat bantu untuk menjalani kehidupan sehari-hari secara lebih mandiri.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana merancang model telapak kaki prostetik jenis *Solid Ankle Cushion Heel* (SACH) yang memenuhi kriteria geometrik dan struktural sesuai kebutuhan biomekanika pengguna dan standar ISO 10328 level P3?
2. Bagaimana distribusi deformasi, tegangan *von Mises*, dan faktor keamanan pada telapak kaki prostetik tipe SACH selama fase *gait cycle* (*heel strike*, *mid-stance* dan *toe-off*) berdasarkan standar ISO 10328 P3?
3. Bagaimana pengaruh variasi material inti (Aluminium 7075, UHMWPE, dan *Nylon Series 6*) terhadap kinerja mekanik (deformasi, tegangan dan faktor keamanan) telapak kaki prostetik tipe SACH?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Merancang model telapak kaki prostetik jenis *Solid Ankle Cushion Heel* (SACH) yang memenuhi kriteria geometrik dan struktural sesuai kebutuhan biomekanika pengguna dan standar ISO 10328 level P3
2. Menganalisis distribusi deformasi, tegangan *von Mises*, dan faktor keamanan pada telapak kaki prostetik tipe SACH selama fase *gait cycle* (*heel strike*, *mid-stance* dan *toe-off*) berdasarkan standar ISO 10328 P3
3. Membandingkan pengaruh variasi material inti (Aluminium 7075, UHMWPE, dan *Nylon Series 6*) terhadap kinerja mekanik (deformasi, tegangan dan faktor keamanan) telapak kaki prostetik tipe SACH

1.4 Batasan Penelitian

Agar penelitian ini lebih terarah dan fokus pada tujuan yang ingin dicapai, maka ditetapkan batasan-batasan masalah yang dikelompokkan sebagai berikut:

1. Analisis dalam penelitian ini difokuskan secara khusus pada evaluasi kekuatan struktur komponen inti (*core*) kaki prostetik SACH menggunakan simulasi jenis *static structural* (pembebanan diam), bukan simulasi dinamis atau *transient*. Adapun fase siklus berjalan (*gait cycle*) yang dianalisis dibatasi pada tiga kondisi kritis utama, yaitu *Heel Strike*, *Mid-stance*, dan *Toe-off*, serta pengujian beban ekstrem berdasarkan standar ISO 10328 Level P3.
2. Material penyusun model diasumsikan bersifat *linear elastic isotropic* dan homogen tanpa memodelkan perilaku viskoelastis yang kompleks, sedangkan lantai tumpuan (*support surface*) diasumsikan sebagai *fixed support* yang kaku sempurna tanpa memperhitungkan deformasi tanah riil. Selain itu, interaksi kontak dimodelkan menggunakan gesekan (*frictional*) antara *foot shell* dan lantai, sementara komponen rakitan lainnya diasumsikan terikat sempurna (*bonded*).
3. Penelitian ini merupakan studi berbasis simulasi numerik (*computational*) tanpa disertai validasi uji eksperimental fisik di laboratorium dan tidak mencakup analisis perhitungan umur kelelahan (*fatigue*) material akibat beban berulang. Data gaya reaksi tanah (*Ground Reaction Force*) yang digunakan hanya mengacu pada satu sampel subjek spesifik sehingga tidak merepresentasikan variasi gaya berjalan populasi umum secara luas