

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Prostetik telapak kaki merupakan salah satu komponen utama dalam prostesis ekstremitas bawah yang secara langsung berhubungan dengan kenyamanan dan fungsionalitas pengguna. Penggunaan telapak kaki prostetik dikhususkan bagi difabel tuna daksa yang tidak memiliki kaki secara utuh akibat amputasi pada bagian kaki dimana produk tersebut berfungsi sebagai pengganti fungsi kaki tetapi juga memainkan peran penting dalam membantu aktivitas sehari-hari seperti berjalan, berdiri, dan berlari sehingga diharapkan dapat meningkatkan kualitas hidup, serta memperbaiki kondisi ekonomi (Ramadhan Fitrianto & Dharmastiti, 2023). Prostetik telapak kaki juga meningkatkan kepercayaan diri pada penggunanya. Desain prostetik ini wajib mengutamakan prinsip biomekanis dan ergonomis untuk menjamin fungsionalitas dan kenyamanan pengguna.

Proses pembuatan telapak kaki prostetik dimulai dari perancangan yang mencakup pembuatan model, desain cetakan, sampai distribusi suhu. Pada tahapan perancangan, penting untuk memastikan bahwa bentuk, ukuran, dan distribusi tekanan pada telapak kaki prostetik sesuai dengan kebutuhan pengguna. Tahapan pengolahan data serta konstruksi model digital tiga dimensi merupakan aspek krusial untuk memperoleh objek 3D digital berkualitas tinggi melalui teknik fotogrametri. (Gadih Pratomo & Arief Budiman, 2023). Dalam konteks manufaktur modern, penggunaan teknologi digital seperti fotogrametri 3D *scanning* dan simulasi komputer telah menjadi solusi inovatif untuk mempermudah proses perancangan dan meningkatkan akurasi desain.

Teknologi fotogrametri 3D *scanning* memungkinkan pemindaian telapak kaki pengguna secara langsung sehingga dapat diperoleh model 3D yang akurat sesuai dengan anatomi kaki individu. Melakukan pengukuran pada objek yang berbentuk kompleks seperti kaki manusia pasti memiliki keterbatasan. Sesuai dengan perkembangan teknologi di bidang industri, proses pengukuran dapat

dilakukan dengan metode menembakkan sinar laser, menggunakan sensor dan metode pemindaian objek tiga dimensi (Sofyandi et al., 2022). Model telapak kaki ini menjadi dasar dalam perancangan telapak kaki prostetik yang dipersonalisasi sesuai kebutuhan pengguna. Setelah model telapak kaki selesai proses berikutnya adalah perancangan cetakan (*molding*), yang akan digunakan untuk membentuk protesis dengan material tertentu.

Tantangan dalam perancangan *molding* tidak hanya terletak pada akurasi bentuk akan tetapi juga pada distribusi panas selama proses pembentukan. Distribusi suhu yang tidak merata dalam cetakan dapat menyebabkan cacat pada produk akhir, seperti deformasi, retak, atau *void* dan *shrinkage* yang dapat memengaruhi kekuatan dan kenyamanan protesis. *Void* merujuk pada rongga atau kekosongan internal yang timbul akibat udara terjebak di dalam cetakan. *Shrinkage* adalah penyusutan volume yang terjadi ketika plastik beralih dari fase cair ke padat. Kedua jenis ketidaksempurnaan ini dapat menurunkan kualitas dan kekuatan produk akhir yang berakibat pada menurunnya kelayakan pakai produk tersebut (Dewi et al., 2024). Analisis gradien termal adalah solusi untuk mengatasi masalah ini pada desain cetakan.

Penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Junianto & Kuswanto (2018). Metode penelitian ini menerapkan *rapid prototyping* (khususnya 3D *Print*) dan *reverse engineering*. Teknik 3D *Scan* digunakan untuk memindai bagian kaki pasien yang telah diamputasi guna mendapatkan ukuran yang presisi untuk *socket* telapak kaki palsu. Penelitian ini bertujuan untuk membuat *prosthesis* bawah lutut dengan metode *custom* agar *socket* sesuai dengan kaki pengguna. Penelitian yang dilakukan oleh Anggaraksa (2022) Pembuatan cetakan dan *core cavity* nya menggunakan 3D *print*. Berdasarkan hasil 3D *print* yang telah dilakukan dengan parameter *layer height* sebesar 0.15 mm hasil yang didapat cukup halus terutama pada cetakan telapak kaki palsu.

Penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Atmoko et al., (2024) penelitian ini menggunakan *software Fusion 360* untuk merancang dan

memprediksi/mensimulasikan aliran material ke dalam cetakan selama proses injeksi, mencakup aspek waktu, suhu material, dan suhu cetakan. Dalam perancangan *mold*, dilakukan simulasi injeksi dengan 6 variasi dimensi *runner* untuk mengidentifikasi dimensi yang menghasilkan *defect sink marks* dan *weldlines* yang paling minim. Penelitian terdahulu yang dilakukan oleh (Mulyana, 2024) penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh suhu cetakan terhadap transfer panas dalam material polimer serta dampaknya terhadap kerusakan yang terjadi pada produk *air traps*. Produk ini terbuat dari *polyethylene* (PE) dan diproduksi dengan metode *injection molding*.

Penelitian ini tidak melibatkan manufaktur secara langsung namun berfokus pada perancangan dan simulasi. Fokus utamanya adalah menganalisis distribusi suhu cetakan menggunakan perangkat lunak. Analisis gradien termal atau variasi distribusi suhu ini sangat penting untuk memprediksi area rentan cacat. Hasilnya membantu perancangan cetakan yang lebih optimal sebelum produksi. Melalui simulasi gradien termal diharapkan dapat ditemukan solusi desain terbaik untuk meningkatkan kualitas prostesis dan meminimalkan kegagalan produksi.

Keunikan dari penelitian ini adalah pendekatan berbasis simulasi yang diterapkan pada alur kerja digital yang lengkap. Alur kerja ini dimulai dari desain *core* kaki yang didapatkan dari proses *3D scan*. Desain *core* tersebut kemudian dijadikan acuan untuk membuat desain cetakan prostetik telapak kaki, yang kemudian dianalisis melalui simulasi untuk mengatasi masalah kualitas produk sebelum cetakan diproduksi secara fisik. Dengan metode simulasi ini, biaya dan waktu yang diperlukan untuk uji coba fisik dapat dikurangi, sementara hasil yang akurat dan optimal tetap bisa dicapai. Optimal dalam konteks penelitian ini didefinisikan sebagai pencapaian efisiensi waktu produksi tertinggi dan kinerja termal terbaik. Hal ini menjadi kontribusi yang signifikan dalam bidang desain prostetik, di mana personalisasi produk dan kualitas hasil akhir sangat penting bagi pengguna.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang cetakan telapak kaki prostetik dengan memperhitungkan distribusi suhu

melalui analisis gradien termal. Pendekatan ini akan mengintegrasikan alur kerja digital penuh, mulai dari *reverse engineering* model kaki menggunakan *photogrammetry* hingga simulasi elemen hingga. Fokus utama optimasi adalah pada perbandingan kinerja termal material cetakan yang berbeda material AISI 1020 dan AISI 1030 untuk mengidentifikasi solusi paling efisien dan memitigasi hot spot. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam meningkatkan kualitas produk prostetik melalui optimasi desain cetakan, serta menyediakan metode perancangan yang lebih efisien dan efektif di masa mendatang.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang didapatkan rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana proses *reverse engineering* dari file hasil 3D *scan* telapak kaki dapat dilakukan hingga menghasilkan desain geometris menggunakan *solidworks*?
2. Bagaimana merancang cetakan (*molding*) telapak kaki prostetik yang sesuai dengan desain telapak kaki?
3. Bagaimana distribusi suhu selama proses simulasi pembentukan telapak kaki prostetik pada cetakan, dan bagaimana gradien termal mempengaruhi kualitas hasil cetakan?

1.3 Tujuan

Adaupun beberapa tujuan yang dilakukannya penelitian ini, yaitu:

1. Melakukan *reverse engineering* dari file hasil 3D *scan* telapak kaki sehingga dapat menghasilkan desain geometris telapak kaki menggunakan *software solidworks*.
2. Merancang desain cetakan (*molding*) telapak kaki prostetik sesuai dengan model yang telah dibuat.
3. Melakukan analisis simulasi gradien termal untuk menganalisis distribusi panas selama proses pembentukan.

1.4 Batasan Masalah

Adaupun batasan masalah dalam penelitian ini, yaitu:

1. Penelitian ini hanya sampai desain cetakan (*molding*) tanpa melibatkan proses manufaktur fisik dari cetakan maupun telapak kaki prostetik.
2. Analisis gradien termal dilakukan secara digital menggunakan perangkat lunak simulasi *Ansys Workbench* 2024 R2 untuk memodelkan distribusi panas pada cetakan selama proses pembentukan material. Hasil simulasi ini tidak divalidasi melalui eksperimen atau pengukuran suhu secara langsung pada cetakan fisik. Validasi terhadap efektivitas desain cetakan hanya berdasarkan pada hasil *grid independence test* simulasi termal tanpa uji coba fisik pada produk prostetik.
3. Material yang digunakan untuk cetakan adalah material AISI 1020 dan AISI 1030
4. Penelitian ini hanya mempertimbangkan distribusi suhu sebagai parameter utama dalam analisis gradien termal. Faktor-faktor lain, seperti tekanan, dan pendinginan pada cetakan, tidak dianalisis secara mendetail.
5. Pemindaian telapak kaki dilakukan menggunakan teknologi 3D *scanning*, dan model 3D yang dihasilkan digunakan langsung sebagai dasar perancangan.

1.5 Manfaat

Adaupun manfaat yang diharapkan dari penelitian ini, yaitu:

1. Manfaat bagi peneliti
 - a. Peneliti dapat meningkatkan pengetahuan dan keterampilan dalam proses *reverse engineering* dan mejadikan suatu produk yang berguna bagi masyarakat dan institusi.
 - b. Penelitian ini akan memberikan wawasan baru dan menyumbangkan pengetahuan dalam bidang *biomedic* manufaktur, khususnya dalam proses pembuatan cetakan kaki prostetik.

- c. Sebagai salah satu syarat kelulusan dan mendapat gelar sarjana teknik.
2. Manfaat bagi institusi
- a. Hasil dari penelitian ini dapat dijadikan referensi ilmiah untuk penelitian selanjutnya, khususnya yang berkaitan dengan prostetik.
 - b. Hasil penelitian skripsi yang aplikatif dapat membuka peluang kerja sama dengan pihak industri, pemerintah, atau masyarakat dalam menyelesaikan masalah dibidang *biomedic*.
3. Manfaat bagi industri
- a. Menghasilkan proses perancangan *molding* telapak kaki prostetik yang lebih efisien dan tepat guna.
 - b. Menyediakan metode perancangan yang mengintegrasikan simulasi gradien termal untuk meningkatkan kualitas hasil cetakan prostetik.
 - c. Memberikan solusi dalam proses desain sebelum masuk ke tahap manufaktur, mengurangi resiko kegagalan produksi.