

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kaki prostesis merupakan perangkat yang menggantikan bagian tubuh bawah yang hilang akibat penyakit, kecelakaan, kelainan bawaan, maupun faktor lainnya. Secara umum, komponen utama kaki prostetik meliputi *core*, *EVA foam* (*Ethylene Vinyl Acetate Foam*), *foot shell*, *pyramid adaptor*, *pyramid receiver*, *pylon*, dan *cap*. *Core* berfungsi memberikan stabilitas dan menjadi struktur internal utama (Marimon dkk., 2024). *EVA foam* menjadi lapisan pelindung yang ringan dan elastis untuk meningkatkan kenyamanan pengguna (Xing dkk., 2023). *Foot shell* melindungi *core* dan *EVA foam* dari keausan dan kerusakan selama penggunaan (Salsabila & Nazyah, 2022; Wahyudi, 2017). *Pyramid adaptor* berperan sebagai penghubung antara prostesis dan socket, sedangkan *pyramid receiver* memastikan adaptor terkunci pada posisi yang tepat. *Pylon* berfungsi menyalurkan beban dari kaki prostetik ke tubuh secara merata (Kang dkk., 2017; Marimon dkk., 2024). *Cap* terletak di bagian atas *pylon* untuk membantu mendistribusikan beban dari struktur di atasnya (Kang dkk., 2017; Marimon dkk., 2024).

Pembuatan kaki prostetik berbahan karet umumnya menggunakan metode vulkanisasi panas, yang bertujuan meningkatkan kekuatan, elastisitas, dan ketahanan material. Teknik *Hot Press Vulcanizing* memungkinkan proses pemanasan dan pemberian tekanan berlangsung lebih merata sehingga komponen prostetik memiliki performa biomekanik yang baik, termasuk dalam hal penyerapan dan pengembalian energi saat berjalan atau berlari (Sasaki dkk., 2017). Salah satu jenis kaki prostetik yang banyak digunakan adalah *Solid Ankle Cushion Heel* (SACH). Model ini dikenal stabil dan nyaman, namun belum mampu sepenuhnya meniru kompleksitas gerakan pergelangan kaki manusia (Brackx dkk., 2013).

Proses pembuatan cetakan telapak kaki prostetik melibatkan tahap perancangan, penentuan material, serta metode pembentukan. Perangkat lunak CAD dimanfaatkan untuk membuat model tiga dimensi yang akurat sebagai acuan pembuatan cetakan (Fitrianto & Dharmastiti, 2023). Baja AISI 1020 menjadi salah satu pilihan material cetakan karena sifatnya yang tangguh, tidak mudah terdeformasi, serta mampu menahan beban berulang, sehingga mendukung kualitas dan efisiensi produksi (Cardoso dkk., 2024). Material seperti aluminium dapat digunakan untuk proses yang membutuhkan bobot ringan dan penggerjaan cepat, sementara baja lebih sesuai untuk kebutuhan produksi masif (Wu dkk., 2017). Tahapan pembuatan cetakan mencakup pemotongan material, pembentukan menggunakan

teknik seperti CNC milling atau pengecoran, kemudian dilanjutkan dengan perakitan dan pengujian untuk memastikan ketelitian dimensi.

Vulkanisasi merupakan proses penting dalam meningkatkan sifat mekanik karet yang digunakan pada komponen prostetik. Proses ini membentuk ikatan silang pada rantai molekul karet sehingga menghasilkan struktur tiga dimensi yang kuat dan stabil pada berbagai kondisi operasi (Chen dkk., 2017). Selain metode konvensional, tersedia pula teknik vulkanisasi berbasis radiasi seperti vulkanisasi *microwave*, yang mampu memberikan pemanasan merata dan hasil yang konsisten meskipun terdapat perbedaan ketebalan material (Ariff dkk., 2020). Karet vulkanisir banyak digunakan karena fleksibel, tahan aus, dan memiliki gaya gesek tinggi, meskipun sifat gesek tersebut dapat memicu keausan pada komponen tertentu (Nosaka dkk., 2021). Dengan demikian, tahapan vulkanisasi yang tepat menjadi faktor penting dalam menghasilkan komponen prostetik berkualitas.

Pembuatan profil telapak kaki prostetik dapat dilakukan melalui dua pendekatan, yaitu pengecoran dan CNC *milling*. Pengecoran, seperti *sand casting*, menawarkan fleksibilitas dan biaya rendah, memanfaatkan cetakan pasir yang mampu menahan suhu tinggi (Fiyana dkk., 2023). Alternatif lainnya adalah *die casting*, yang menggunakan cetakan permanen dan tekanan tinggi untuk menghasilkan komponen dengan akurasi dimensi tinggi serta kualitas permukaan yang baik (Taufik, 2022). Metode CNC *milling* memberikan ketelitian lebih tinggi melalui serangkaian tahapan mulai dari desain CAD, pemilihan material, pengaturan alat potong, pemrograman CAM, simulasi, hingga proses pemotongan. Simulasi diperlukan untuk menghindari cacat yang dapat muncul akibat kesalahan pemrograman.

Penggunaan CNC *milling* memiliki sejumlah keunggulan, termasuk presisi tinggi, fleksibilitas pemrosesan material, serta efisiensi waktu. Penelitian Usman & Sanjaya, (2019) menunjukkan bahwa pengaturan parameter pemesinan seperti *feed rate* dan *depth of cut* sangat berpengaruh terhadap kualitas permukaan. Di sisi lain, kompleksitas pemrograman CNC menuntut keterampilan teknis yang baik, karena kesalahan perhitungan atau input kode berpotensi menimbulkan cacat dimensi maupun *reject* produk (Hendra dkk., 2022).

Penelitian optimasi parameter CNC milling banyak menggunakan metode Taguchi karena pendekatannya yang sistematis, efisien, dan mampu mengidentifikasi faktor dominan dalam proses pemesinan (Rachman dkk., 2024). Studi Nalbant dkk., (2007) menunjukkan bahwa desain eksperimen berbasis *orthogonal array* efektif untuk menganalisis pengaruh parameter pemotongan terhadap kekasaran permukaan. Dalam penelitian ini digunakan desain eksperimen L₂₇ untuk menentukan kombinasi optimal parameter *Stepover*, *Feed Rate*,

dan *Depth of Cut* pada proses pembuatan cetakan telapak kaki prostetik berbahan Baja AISI 1020. CNC *milling* dipilih untuk menghasilkan cetakan yang akurat, presisi, serta konsisten dalam kualitas sehingga mampu mendukung kebutuhan produksi prostetik.

1.2. Rumusan Masalah

Berikut merupakan beberapa rumusan masalah terkait pengujian spesimen yang digunakan sebagai molding adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh variasi *Stepover*, *Feed Rate*, dan *Depth of Cut* pada hasil simulasi CNC *Milling* terhadap waktu pemesinan pada pembuatan cetakan telapak kaki prostetik berbahan AISI 1020?
2. Bagaimana pengaruh variasi *Stepover*, *Feed Rate*, dan *Depth of Cut* pada hasil eksperimen menggunakan CNC *Milling* terhadap kekasaran permukaan pada pembuatan cetakan telapak kaki prostetik berbahan AISI 1020?
3. Bagaimana kombinasi parameter *Stepover*, *Feed Rate*, dan *Depth of Cut* pada CNC *Milling* yang optimal berdasarkan pendekatan multi-respon (*Desirability Function*) memberikan waktu pemesinan paling efisien dan kekasaran permukaan yang sesuai dengan standar kualitas cetakan?

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis pengaruh variasi *Stepover*, *Feed Rate*, dan *Depth of Cut* pada hasil simulasi CNC *Milling* terhadap waktu pemesinan pada pembuatan cetakan telapak kaki prostetik berbahan AISI 1020.
2. Menganalisis pengaruh variasi *Stepover*, *Feed Rate*, dan *Depth of Cut* pada hasil eksperimen menggunakan CNC *Milling* terhadap kekasaran permukaan pada pembuatan cetakan telapak kaki prostetik berbahan AISI 1020.
3. Menganalisis pengaruh variasi *Stepover*, *Feed Rate*, dan *Depth of Cut* pada CNC *Milling* yang memberikan waktu pemesinan paling efisien dan kekasaran permukaan yang sesuai dengan standar kualitas cetakan.

1.4. Batasan Penelitian

Adapun Batasan-batasan pada penelitian ini antara lain:

1. Material yang digunakan sebagai cetakan adalah AISI 1020 dan tidak mencakup material lain, sehingga hasil optimasi hanya berlaku untuk material tersebut.

2. Jenis mesin *Milling* yang digunakan untuk pembuatan spesimen adalah SMTCL BRIO MILLER 8 dengan kondisi pendinginan menyala.
3. Simulasi pengambilan data menggunakan *Software* Mastercam 2025.
4. Proses simulasi pembuatan cetakan telapak kaki prostetik dibagi menjadi 2 tahap yaitu *Roughing* dan *Finishing*.
5. Proses *Roughing* menggunakan *toolpath*, *tools*, dan parameter yang ditetapkan sama untuk 27 percobaan.
6. Pahat yang digunakan untuk proses *finishing* adalah *Ballnose Endmill Carbide* 10 mm.
7. Pengolahan data menggunakan *Software* Minitab 21 dengan menggunakan metode Taguchi (L_{27}).
8. Produk yang dihasilkan dari cetakan telapak kaki prostetik bisa digunakan secara universal, baik pria maupun wanita.