

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi manufaktur modern tidak dapat dilepaskan dari penerapan Computer Numerical Control (CNC) yang memungkinkan proses pemesinan dilakukan secara otomatis, presisi, dan konsisten. Teknologi ini menjadi sangat penting dalam produksi komponen teknik karena mampu menghasilkan tingkat akurasi tinggi serta geometri kompleks yang sulit dicapai menggunakan mesin konvensional (Groover, 2016; Kalpakjian & Schmid, 2014).

Dalam bidang manufaktur alat kesehatan, teknologi CNC memiliki peran strategis, khususnya pada tahap pembuatan prototipe cetakan implan. Cetakan implan umumnya memiliki bentuk geometri bebas (*free-form surface*) yang mengikuti kontur anatomi tubuh manusia, sehingga menuntut tingkat ketelitian geometris dan kualitas permukaan yang tinggi agar sesuai dengan kebutuhan fungsional serta proses manufaktur lanjutan (Abellán-Nebot, Vila Pastor, & Siller, 2024). Ketidaktepatan pada tahap pemesinan dapat berdampak pada kualitas akhir cetakan implan dan memengaruhi efektivitas penggunaannya pada tahap produksi berikutnya.

Salah satu parameter utama yang digunakan untuk menilai kualitas hasil pemesinan adalah kekasaran permukaan. Kekasaran permukaan yang umumnya dinyatakan dengan parameter arithmetical mean roughness (Ra) berpengaruh terhadap performa fungsional, ketahanan, serta kualitas kontak antarpermukaan komponen (Mladenović et al., 2015). Dalam konteks aplikasi implan, kekasaran permukaan tidak hanya dipandang sebagai karakteristik hasil manufaktur, tetapi juga sebagai kebutuhan fungsional yang harus berada pada rentang tertentu agar sesuai dengan persyaratan biologis dan proses lanjutan. Oleh karena itu, kekasaran permukaan yang tidak terkontrol dapat menurunkan kualitas cetakan implan dan berpotensi memengaruhi kualitas produk akhir (Yusron, 2023).

Pada pemesinan permukaan dengan geometri kompleks, proses finishing memegang peranan penting dalam menentukan kualitas akhir permukaan. Salah satu strategi finishing yang banyak digunakan adalah finishing scallop, yaitu strategi pemesinan yang menghasilkan lintasan pahat sejajar mengikuti kontur permukaan benda kerja sehingga mampu menghasilkan permukaan yang lebih halus (Soori, 2024). Strategi ini dinilai sesuai untuk pemesinan bentuk organik karena mampu mengurangi jejak lintasan pahat pada permukaan hasil pemesinan.

Keberhasilan proses finishing scallop sangat dipengaruhi oleh pemilihan parameter pemesinan, khususnya nilai *step over*. *Step over* merupakan jarak lateral antar lintasan pahat yang secara langsung menentukan tinggi scallop yang tersisa pada permukaan benda kerja (Soori, 2024). Nilai *step over* yang lebih kecil cenderung menghasilkan tinggi scallop yang lebih rendah sehingga menghasilkan permukaan yang lebih halus, namun berdampak pada meningkatnya jumlah lintasan pahat dan waktu pemesinan secara keseluruhan (VMT CNC, 2025). Sebaliknya, penggunaan *step over* yang lebih besar dapat mempercepat waktu pemesinan, tetapi berpotensi menghasilkan kekasaran permukaan yang lebih tinggi akibat meningkatnya tinggi scallop yang terbentuk (Fictiv, 2024). Kondisi ini menunjukkan adanya hubungan timbal balik antara kebutuhan kekasaran permukaan dan waktu pemesinan.

Material Aluminium 6061 banyak digunakan dalam penelitian dan pengembangan prototipe karena memiliki sifat *machinability* yang baik, ketahanan korosi yang tinggi, serta kekuatan mekanik yang memadai untuk aplikasi *non-load bearing* (Yusron, 2023). Karakteristik tersebut menjadikan Aluminium 6061 sesuai digunakan sebagai material prototipe cetakan implan, khususnya pada tahap evaluasi dan optimasi parameter pemesinan CNC.

Berdasarkan uraian tersebut, diperlukan suatu kajian yang secara khusus menganalisis pengaruh variasi nilai *step over* terhadap pencapaian kekasaran permukaan yang sesuai dengan kebutuhan aplikasi implan, serta dampaknya

terhadap waktu pemesinan pada proses finishing scallop. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan dengan memanfaatkan mesin CNC 5-Axis yang dioperasikan menggunakan G-code 3-Axis untuk memproduksi prototipe cetakan implan klavikula dari Aluminium 6061. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan acuan ilmiah dalam pemilihan nilai *step over* yang mampu menghasilkan kekasaran permukaan sesuai kebutuhan implan.

1.2 Identifikasi Masalah

Permasalahan utama yang diidentifikasi dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Cetakan implan klavikula yang tersedia saat ini belum sepenuhnya disesuaikan dengan karakteristik anatomi tubuh masyarakat Indonesia, sehingga diperlukan pengembangan prototipe cetakan implan yang dapat diproduksi secara lokal dengan tingkat presisi yang memadai (Abidin, 2023).
2. Tingginya harga serta ketergantungan terhadap produk implan impor mendorong perlunya pengembangan cetakan implan secara mandiri melalui pemanfaatan teknologi manufaktur berbasis CNC.
3. Pembuatan prototipe cetakan implan klavikula menuntut kualitas permukaan yang sesuai dengan kebutuhan, sehingga proses *finishing* menjadi tahap yang sangat menentukan dalam pemesinan.
4. Pada proses *finishing scallop*, nilai *step over* merupakan parameter utama yang memengaruhi kekasaran permukaan dan waktu pemesinan, namun acuan pemilihan nilai *step over* yang optimal pada penggunaan mesin CNC 5-Axis dengan G-code 3-Axis masih terbatas.

1.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan identifikasi masalah di atas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

- a. Bagaimana pengaruh variasi nilai step over terhadap pencapaian kekasaran permukaan (R_a) Aluminium 6061 pada proses finishing scallop menggunakan mesin CNC 5-Axis dengan G-code 3-Axis?
- b. Bagaimana pengaruh variasi nilai step over terhadap waktu pemesinan pada proses finishing scallop?
- c. Nilai step over manakah yang mampu menghasilkan kekasaran permukaan yang sesuai dengan kebutuhan aplikasi implan?
- d. Bagaimana perbedaan waktu antara proses pemesinan simulasi CAM dan pada mesin riil?

1.4 Batasan Masalah

Untuk menjaga agar ruang lingkup penelitian tetap terfokus dan terarah, penelitian ini membatasi aspek-aspek berikut:

- a. Penelitian menggunakan mesin CNC 5-Axis yang dioperasikan dengan *G-code* 3-Axis.
- b. Gerakan simultan sumbu rotasi (A dan B/C) tidak dimanfaatkan dalam proses pemesinan.
- c. Proses pemesinan difokuskan pada proses *finishing scallop*.
- d. Alat potong yang digunakan adalah *end mill ballnose* dengan diameter 2 mm.
- e. Objek pemesinan dibatasi pada bagian *cavity* dari cetakan implan klavikula, sedangkan pembuatan bagian *core* dan sistem cetakan secara keseluruhan tidak dibahas.
- f. Material benda kerja yang digunakan adalah Aluminium 6061.
- g. Variasi nilai *step over* yang diteliti meliputi 0,30 mm; 0,20 mm; 0,10 mm; dan 0,05 mm.
- h. Parameter pemotongan lainnya, seperti kecepatan spindle dan *feed rate*, dijaga tetap konstan.

1.5 Tujuan Penelitian

Tujuan utama dari penelitian ini adalah:

- a. Menganalisis pengaruh variasi nilai *step over* terhadap pencapaian kekasaran permukaan (R_a) Aluminium 6061 pada proses finishing scallop.
- b. Menganalisis pengaruh variasi nilai *step over* terhadap waktu pemesinan pada proses finishing scallop.
- c. Menentukan nilai *step over* yang mampu menghasilkan kekasaran permukaan yang sesuai dengan kebutuhan aplikasi implan dengan tetap mempertimbangkan waktu pemesinan pada prototipe cetakan implan klavikula.

1.6 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat baik secara teoretis maupun praktis:

1. Manfaat Teoretis

Penelitian ini diharapkan dapat memperkaya kajian ilmiah mengenai pengaruh parameter proses pemesinan CNC terhadap kekasaran permukaan hasil pemesinan, khususnya pada metode *finishing scallop*. Selain itu, penelitian ini memberikan kontribusi dalam pemahaman hubungan antara parameter *step over* dan pencapaian kekasaran permukaan yang sesuai dengan kebutuhan aplikasi implan, serta menambah wawasan mengenai karakteristik kinerja mesin CNC melalui analisis perbedaan antara waktu pemesinan simulasi dan waktu pemesinan aktual.

2. Manfaat Praktis

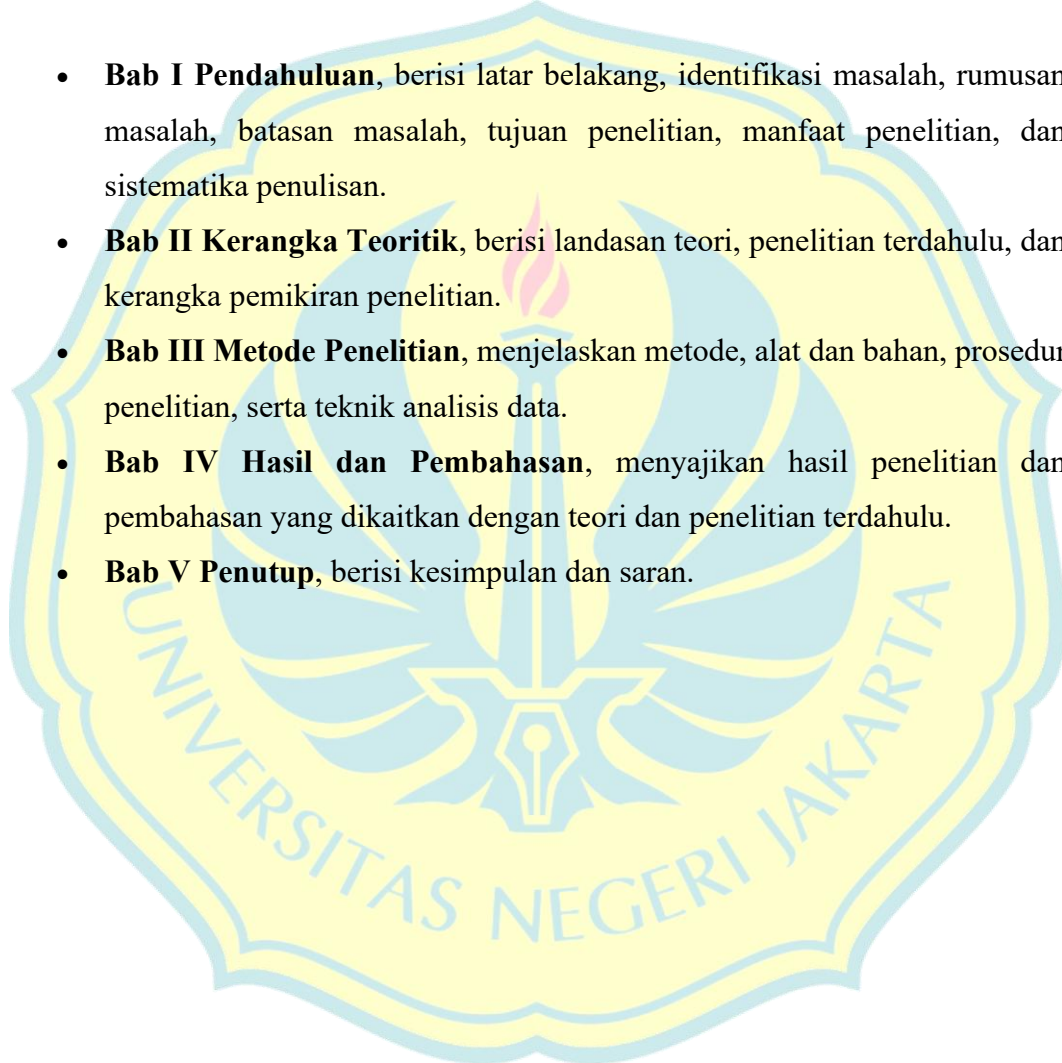
- a. Memberikan acuan bagi operator dan praktisi CNC dalam menentukan nilai *step over* yang mampu menghasilkan kekasaran permukaan sesuai dengan kebutuhan aplikasi implan pada proses *finishing scallop*.
- b. Menjadi referensi bagi perancang dan manufaktur dalam memahami karakteristik kinerja mesin CNC yang digunakan, khususnya terkait perbedaan antara waktu pemesinan hasil simulasi CAM dan kondisi pemesinan aktual,

sebagai dasar pertimbangan dalam perencanaan proses pembuatan prototipe cetakan implan klavikula.

1.7 Sistematika Penulisan

Susunan penulisan skripsi ini disusun sebagai berikut:

- **Bab I Pendahuluan**, berisi latar belakang, identifikasi masalah, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.
- **Bab II Kerangka Teoritik**, berisi landasan teori, penelitian terdahulu, dan kerangka pemikiran penelitian.
- **Bab III Metode Penelitian**, menjelaskan metode, alat dan bahan, prosedur penelitian, serta teknik analisis data.
- **Bab IV Hasil dan Pembahasan**, menyajikan hasil penelitian dan pembahasan yang dikaitkan dengan teori dan penelitian terdahulu.
- **Bab V Penutup**, berisi kesimpulan dan saran.



Intelligentia - Dignitas