

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri manufaktur mempunyai peran penting dalam pembangunan ekonomi di Indonesia. Data dari Haedzar et al (2022), menunjukkan bahwa sektor ini secara konsisten memberikan kontribusi sekitar 20% terhadap produk domestik bruto (PDB) nasional dan data tersebut juga di dukung oleh Kementerian Perindustrian dan BPS sehingga menjadi salah satu motor utama pertumbuhan ekonomi nasional dalam beberapa tahun terakhir. Seiring meningkatnya persaingan global dan tuntutan kualitas produk, industri manufaktur termasuk sektor yang memproduksi komponen otomotif dituntut untuk mampu menghasilkan produk berkualitas dan diproduksi secara efisien. Sedangkan pada bengkel industri kecil masih menghadapi masalah berupa produktivitas yang belum optimal, efisiensi proses yang rendah dan penggunaan teknologi konvensional yang mulai tertinggal.

Kemajuan teknologi *Computer Numerical Control* (CNC) menjadi salah satu solusi penting untuk meningkatkan kualitas dan daya saing produk manufaktur. Penggunaan mesin CNC terbukti mampu meningkatkan presisi pengerjaan, konsistensi kualitas, serta efisiensi waktu produksi dibandingkan mesin konvensional manual. Meski demikian performa mesin CNC tidak hanya ditentukan oleh kecanggihan mesin dan komponen terbarunya, melainkan juga bergantung pada kemampuan operator dalam memilih strategi *toolpath* dan parameter pemesinan yang di gunakan. Di banyak bengkel kecil manufaktur pemilihan startegi *toolpath* dan *cutting speed* CNC masih dilakukan secara *trial and error* sehingga berpotensi menyebabkan pemborosan material, energi, dan waktu, serta hasil permukaan yang tidak konsisten (Suhendra et al.,2025).

Salah satu komponen otomotif yang membutuhkan tingkat presisi adalah *cover* master rem yaitu komponen yang berfungsi menutup dan melindungi ruang fluida pada sistem pengereman. Kualitas dimensi dan kekasaran permukaan komponen ini sangat menentukan kinerja sistem rem karena ketidaksempurnaan permukaan dapat menyebabkan kebocoran fluida atau gangguan fungsi rem. Pada proses pembuatan variasi *cover* master rem menggunakan fitur *pocket milling* dikarenakan sesuai dengan bentuknya. Material yang sering digunakan di Indonesia menggunakan material *billet* atau *aluminium* 6061 yang dipilih karena sifatnya yang ringan, kuat, dan mudah diproses. Parameter yang menentukan kualitas dan biaya produksi adalah kekasaran permukaan *pocket* dan *material removal rate* (MRR).

Dalam proses *pocket milling* dua parameter penting yang menentukan performa proses adalah kekasaran permukaan (Ra) sebagai indikator kualitas dan *Material removal rate* (MRR) sebagai indikator produktivitas. Nilai Ra yang rendah menunjukkan permukaan yang lebih halus dan sesuai dengan standar komponen presisi, sedangkan nilai MRR yang tinggi menunjukkan laju penghilangan material yang lebih cepat sehingga meningkatkan efisiensi produksi. Dengan demikian, keseimbangan antara kualitas permukaan dan produktivitas menjadi aspek penting dalam optimasi proses pemesinan

Pada praktiknya sering ditemukan ketidakkonsistenan nilai kekasaran permukaan dan MRR pada proses *pocket milling*. Hal ini umumnya dipengaruhi oleh perbedaan strategi *toolpath* serta variasi *feed rate* yang belum teroptimasi. Strategi *zig-zag* memiliki keunggulan dalam mempercepat proses penghilangan material sehingga berpotensi menghasilkan MRR yang lebih tinggi namun perubahan arah pemotongan yang sering dapat menimbulkan bekas lintasan pahat (*tool mark*) yang mempengaruhi kekasaran permukaan. Sebaliknya strategi *spiral* dengan lintasan melingkar cenderung menghasilkan pergerakan pahat yang lebih kontinu dan stabil sehingga berpotensi menghasilkan permukaan yang lebih halus, meskipun laju penghilangan materialnya dapat berbeda dibandingkan strategi lainnya. Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa pemilihan strategi *toolpath* seperti *zig-zag*, *spiral*, maupun memberikan pengaruh signifikan terhadap kualitas permukaan dan performa pemesinan (Yazid & Razak, 2020).

Selain strategi *toolpath* parameter pemesinan seperti *feed rate* juga memiliki pengaruh langsung terhadap nilai Ra dan MRR. Peningkatan *feed rate* cenderung meningkatkan nilai MRR karena volume material yang terpotong per satuan waktu bertambah, namun di sisi lain dapat menyebabkan peningkatan kekasaran permukaan akibat bertambahnya ketebalan geram dan gaya potong. Oleh karena itu diperlukan pendekatan yang lebih sistematis dalam menentukan kombinasi strategi *toolpath* dan *feed rate* yang optimal untuk menghasilkan keseimbangan antara kualitas permukaan dan produktivitas proses.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh strategi *toolpath* dan *feed rate* dengan menggunakan desain faktorial terhadap kekasaran permukaan (Ra) dan *Material removal rate* (MRR) pada proses *pocket milling* Aluminium 6061. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi berbasis data yang dapat diterapkan pada industri dan bengkel manufaktur skala kecil dan menengah di Indonesia dalam memilih strategi pemesinan yang lebih produktif tanpa mengabaikan tuntutan kualitas pada pembuatan variasi cover master rem.

1.2 Rumusan Masalah

Setelah menjelaskan latar belakang pada penelitian, selanjutnya adalah merumuskan masalah pada penelitian. Adapun rumusan penelitian yang didapat selama penelitian sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh strategi *toolpath* dan *feed rate* terhadap kekasaran permukaan pada operasi *pocket milling*?
2. Bagaimana pengaruh strategi *toolpath* dan *feed rate* terhadap MRR pada operasi *pocket milling*?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah ditentukan, maka tujuan penelitian adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui pengaruh strategi *toolpath* dan *feed rate* terhadap kekasaran permukaan pada operasi *pocket milling*.
2. Mengetahui pengaruh strategi *toolpath* dan *feed rate* terhadap MRR pada oprasi *pocket milling*.

1.4 Batasan masalah

Penelitian ini perlu dibatasi dengan beberapa batasan masalah yang untuk mengendalikan hasil penelitian. Berikut merupakan batasan masalah dari penelitian:

1. Penelitian ini hanya meneliti respon kekasaran permukaan dan MRR.
2. Sistem pemotongan menggunakan metode *dry cutting* (tanpa *coolant*).
3. Proses pemesinan pemotongan dilakukan dengan metode penyayatan *down milling*.
4. Pengambilan data waktu pemesinan untuk uji MRR hanya pada saat oprasi fitur *pocket*.
5. Penelitian ini tidak membahas faktor-faktor lain yang juga dapat mempengaruhi kekasaran permukaan dan MRR pemesinan seperti :
 - Keausan pahat
 - Gaya potong
 - Temperature pemesinan
 - Getaran/ chatter dan defleksi pahat
 - Perubahan sifat material/struktur mikro akibat proses pemesinan

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan data eksperimental sebagai referensi pemilihan strategi *toolpath* dan *feed rate* pada CNC *milling* 3-axis.

2. Membantu industri manufaktur menengah kebawah dalam meningkatkan produktivitas proses pemesinan yang ditunjukkan melalui nilai *Material removal rate* (MRR), serta tetap menjaga kualitas permukaan hasil pemesinan sesuai dengan standar kekasaran permukaan pada pembuatan cover master rem.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan direncanakan terdiri dari lima bab yang akan dijelaskan sebagai berikut:

BAB I: PENDAHULUAN

Membahas latar belakang yang menjelaskan pemilihan strategi *toolpath* dan *feed rate* pada proses *pocket milling* khususnya pada pengerjaan material *aluminium 6061*. Permasalahan yang diangkat dalam bab ini adalah belum diketahuinya pengaruh dari startegi *toolpath* dan *feed rate* terhadap kekasaran permukaan dan waktu pemesinan, Bab ini juga memuat rumusan masalah, tujuan, manfaat, batasan penelitian serta sistematika penulisan secara menyeluruh.

BAB II: TINJAUAN PUSTAKA

Berisi kajian teori dan konsep ilmiah yang relevan dengan penelitian, seperti teori dasar proses *CNC milling*, konsep *pocket milling*, jenis-jenis strategi *toolpath*, parameter pemesinan, kekasaran permukaan dan waktu pemesinan, serta penjelasan mengenai metode faktorial desain. Bab ini memberikan landasan teoritis untuk memahami mengapa variasi strategi pemotongan dan parameter pemesinan dapat memengaruhi hasil akhir permukaan dan efisiensi waktu pengerjaan.

BAB III: METODE PERANCANGAN

Menjelaskan secara rinci metode yang digunakan dalam penelitian ini, termasuk desain faktorial, variabel yang diamati, alat dan bahan yang digunakan, serta prosedur pengujian. Permasalahan utama yang dijawab dalam bab ini adalah bagaimana merancang eksperimen yang dapat mengukur pengaruh strategi *toolpath* dan *cutting speed* terhadap kekasaran permukaan dan waktu pemesinan. Penjelasan tentang teknik pengambilan data dan metode analisis statistik yang digunakan seperti analisis ANOVA.

BAB IV: HASIL DAN PEMBAHASAN

Menyajikan data hasil pengujian pengaruh stategi *toolpath* parameter pemesinan terhadap kekasaran permukaan dan waktu pemesinan. Bab ini menganalisis hasil yang diperoleh pada setiap kombinasi parameter pemotongan berdasarkan

metode desain faktorial, serta menghubungkannya dengan teori yang telah dijelaskan pada bab 2.

BAB V: KESIMPULAM DAN SARAN

Berisi kesimpulan dari hasil analisis yang telah dilakukan, berisi jawaban dari rumusan masalah yang telah ditetapkan. Terdapat saran untuk penelitian lebih lanjut dan rekomendasi teknis yang dapat dijadikan acuan dalam praktik pemesinan CNC *pocket milling*, khususnya dalam pemilihan strategi *toolpath* dan parameter peemesinan yang optimal untuk mencapai kekasaran permukaan rendah dengan waktu pengerjaan yang efisien.