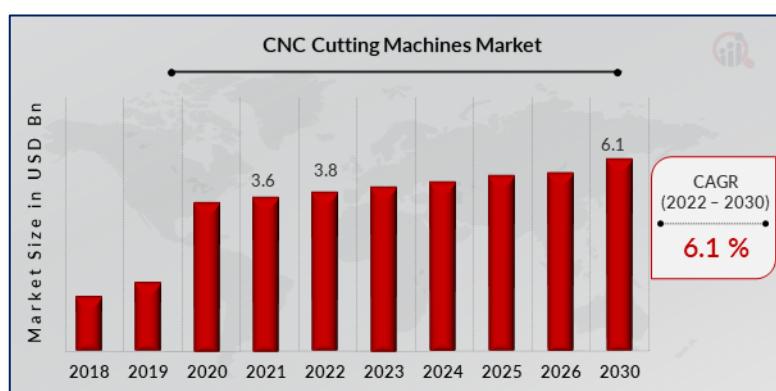


## BAB 1

### PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang

Proses pemesinan yang dikendalikan komputer atau teknologi CNC (*Computer Numerical Control*) telah menjadi pilihan utama untuk memproduksi suku cadang presisi untuk banyak aplikasi. Industri pasar mesin CNC diproyeksikan tumbuh dari USD 3,8 miliar pada tahun 2022 menjadi USD 6,1 miliar pada tahun 2030 dan menunjukkan CAGR (*Compound Annual Growth Rate*) sebesar 6,1% selama periode perkiraan 2022 hingga 2030 (Singh, S. 2022). Grafik peningkatan pasar mesin CNC tersebut dapat dilihat pada Gambar 1.1.



**Gambar 1.1** Grafik Pasar Mesin CNC

Sumber: (Singh, S. 2022)

Faktor yang mendorong pertumbuhan pasar mesin CNC adalah meningkatnya permintaan untuk industri otomotif. Industri otomotif merupakan salah satu industri pengguna terbesar pada pasar mesin CNC. Pertumbuhan pendapatan dari industri otomotif meningkat sekitar 30% sehingga permintaan terhadap mesin dan peralatan pemotong CNC juga meningkat secara substansial. (Singh, S. 2022). Industri manufaktur modern lainnya, terutama yang bergerak di bidang permesinan juga semakin menggantungkan diri pada teknologi CNC, seperti CNC *milling* untuk menghasilkan komponen-komponen presisi.

CNC *milling* merupakan salah satu jenis mesin perkakas yang dapat membuat produk dengan bentuk persegi, roda gigi, kontur mesin dan lainnya secara otomatis. Mesin CNC *milling* bekerja dengan sistem kontrol komputer menggunakan bahasa mesin (Hendra, dkk. 2022). Pemantauan kondisi alat atau *Tool Condition Monitoring* (TCM) umumnya dapat dilakukan melalui proses pemantauan langsung dan tidak langsung. Namun, kerugian dari metode langsung adalah bahwa proses pemesinan harus berhenti dan mesin harus dimatikan terlebih dahulu untuk mengamati keausan pada alat yang dipasang menggunakan visual atau perangkat optik. Metode ini tidak cocok untuk industri manufaktur, yang menuntut pengolahan cepat. Selain itu, akan secara signifikan mengganggu tingkat produktivitas. Dengan metode tidak langsung, pemantauan keausan masih dapat dilakukan meskipun mesin CNC sedang beroperasi (Rahman, A. Z., dkk. 2024).

Para peneliti telah sepakat bahwa getaran adalah salah satu sinyal yang paling direkomendasikan untuk *Tool Condition Monitoring* (TCM). Hal ini dikarenakan percepatan adalah reaksi pertama pada gaya yang bekerja, seperti yang telah dijelaskan dalam hukum Newton (Navarro-Devia, J.H., dkk. 2023). Dengan menganalisis getaran, tanda-tanda awal keausan pahat dapat diidentifikasi sebelum terjadi kerusakan besar atau penurunan kualitas komponen mesin. Hal ini dapat mencakup variasi dimensi, kekasaran permukaan, penyelesaian permukaan yang buruk, toleransi yang salah, atau penyimpangan lain dari spesifikasi yang diinginkan (Bouchama, R., dkk. 2024).

Kekasaran permukaan merupakan indikator penting kualitas pemesinan dan dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti kualitas pahat, sifat benda kerja, dan kondisi pemesinan (Andrews, A., dkk. 2023). Kekasaran permukaan disebabkan oleh gesekan antara benda kerja dan pahat, getaran relatif antara pahat dan benda kerja, serta deformasi plastis akibat pemisahan chip pada proses pemesinan. Karena proses pemesinannya sangat kompleks, sulit untuk mempelajari secara langsung dari sudut pandang prinsip kekasaran permukaan (Wu, L., dkk. 2023).

Berdasarkan uraian di atas, diperlukan penelitian untuk dapat mengetahui kualitas proses CNC *milling* dengan mengidentifikasi sinyal getaran yang

dihasilkan. Perubahan dalam sinyal getaran dapat menunjukkan tanda-tanda keausan atau kerusakan pada alat pemotong sehingga dapat melakukan kontrol terhadap kualitas permukaan yang dihasilkan. Penelitian ini menggunakan material *stainless steel* 420 J2 yang memiliki kekerasan tinggi serta sifat mekanik dan ketahanan korosi yang baik. Selain itu, popularitas penggunaan *stainless steel* semakin luas dalam berbagai bidang, seperti industri makanan hingga kesehatan, kimia hingga elektronik, industri pertahanan hingga reaktor nuklir, otomotif dan industri dirgantara (Yang, Y., dkk. 2021). Hasil penelitian ini juga diharapkan dapat memberikan kontribusi positif terhadap kebutuhan industri dalam melakukan pemantauan kualitas. Dengan pemahaman yang lebih baik tentang faktor-faktor yang mempengaruhi kekasaran permukaan, produsen juga dapat mengontrol kondisi keausan alat pemotong.

## 1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan dari latar belakang tersebut, maka penelitian ini memiliki rumusan masalah sebagai berikut.

1. Bagaimana proses pemantauan pahat secara tidak langsung dilakukan pada proses CNC *milling*?
2. Bagaimana pengaruh kondisi pahat terhadap karakteristik sinyal getaran pada proses CNC *milling*?
3. Bagaimana pengaruh kondisi pahat terhadap kekasaran permukaan (*surface roughness*) pada proses CNC *milling*?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa tujuan sebagai berikut.

1. Untuk mengetahui proses pemantauan pahat secara tidak langsung pada proses CNC *milling*.
2. Untuk mengetahui pengaruh kondisi pahat terhadap karakteristik sinyal getaran pada proses CNC *milling*.
3. Untuk mengetahui pengaruh kondisi pahat terhadap kekasaran permukaan (*surface roughness*) pada proses CNC *milling*.

## 1.4 Batasan Masalah

Penelitian ini memiliki beberapa batasan masalah sebagai berikut.

1. Material yang digunakan dalam proses CNC *milling* ini adalah *stainless steel 420 J2* dengan dimensi 200 mm x 50 mm x 40 mm.
2. Penelitian ini menggunakan mesin CNC *milling 3 axis* Leadwell V30 dan jenis pahat *end mill HSS-Co Nachi* berdiameter 10 mm.
3. Parameter yang digunakan adalah parameter yang sesuai standar proses CNC *milling* pada *stainless steel grade 420* dengan menggunakan *end mill HSS*, yaitu kecepatan spindel 600 rpm, *feed rate* 40 mm/min, *dept of cut* 2 mm (*axial*) dan panjang pemotongan 18 mm dengan metode *slot milling*.
4. Penelitian ini tidak menggunakan media pendingin (*coolant*).
5. Pengukuran kekasaran permukaan menggunakan *surface roughness tester*.
6. Pengukuran sinyal getaran menggunakan sensor akselerometer yang dihubungkan dengan *scopemeter Yokogawa DL750*.
7. Proses pengolahan data menggunakan *software Matlab*.
8. Tidak membahas mengenai analisis statistik pada sinyal getaran.
9. Tidak berfokus pada faktor-faktor lainnya, seperti suhu dan kelembaban lingkungan.

## 1.5 State of The Art

Revolusi Industri 4.0 mendorong integrasi teknologi kontrol canggih dengan menggabungkan kecerdasan buatan dan pembelajaran mesin yang mengarah pada pengembangan sistem permesinan CNC yang cerdas (Ntemi, M., dkk. 2022). *Tool Condition Monitoring* (TCM) membuka jalan bagi pemesinan otomatis melalui pemantauan keadaan alat pemotong, termasuk terjadinya keausan, retak, terkelupas dan patah, dengan tujuan meningkatkan efisiensi dan keekonomian proses pemesinan (Mohamed, A., dkk. 2022).

*Tool Condition Monitoring* (TCM) adalah sistem pemeliharaan prediktif yang digunakan untuk sistem mekanis atau peralatan mesin yang memantau kondisi suatu alat pemotong. TCM terdiri dari bagian perangkat keras dan

perangkat lunak untuk mencapai pengumpulan dan pemrosesan sinyal, ekstraksi dan pemilihan fitur serta pengambilan keputusan (Patange, A. D., dkk. 2022). Parameter umum untuk TCM tidak langsung dalam CNC *milling* mencakup pemotongan gaya yang diukur menggunakan dinamometer, getaran yang diukur menggunakan *accelerometer* dan emisi akustik (Wong, S. Y., dkk. 2020). Metode tidak langsung dipilih untuk aplikasi industri karena kemudahan implementasinya (Gomes, M. C., dkk. 2021). Ini membantu pengguna mewujudkan pemantauan jarak jauh terhadap keadaan peralatan mesin CNC dan prediksi kekasaran permukaan secara *real time* serta memperoleh informasi yang diperlukan melalui jaringan, seperti sinyal daya dan getaran benda kerja (Wu, L., dkk. 2023).

Sinyal getaran adalah gelombang mekanis yang dihasilkan oleh gerakan alat potong selama proses CNC *milling*. Berbagai informasi dapat diekstraksi dari sinyal getaran tergantung pada proses yang diukur (Brito, L. C., dkk. 2023). Sinyal getaran yang disebabkan oleh keausan pahat dapat lebih mudah diidentifikasi dalam domain frekuensi karena sinyal tersebut berasal dari interaksi pemotong dan benda kerja (Rahman, A. Z., dkk. 2023). Alat pemotong yang bersentuhan langsung dengan benda kerja selama proses pemesinan menyebabkan kerusakan alat akibat terjadinya keausan sehingga berpengaruh secara langsung dan signifikan terhadap kekasaran permukaan (Kang, W. T., dkk. 2020).

Metode pemrosesan sinyal dapat dianalisis dengan domain waktu, domain frekuensi dan domain frekuensi waktu. Jenis fitur yang diekstraksi dari sinyal domain waktu, seperti rata-rata aritmatika, rata-rata, besaran, *Root Mean Square* (RMS), standar deviasi, kemiringan, kurtosis, kekuatan sinyal, *peak to peak*, faktor *peak*, rasio sinyal dan peningkatan sinyal untuk metode statistik dan *Auto Regression* (AR), *Auto Regressive Moving Average* (ARMA), rata-rata domain waktu dan informasi lainnya. Domain frekuensi adalah sinyal yang diperoleh dari sinyal domain waktu yang diubah menjadi domain frekuensi melalui *Fast Fourier Transform* (FFT). Sinyal domain frekuensi hanya terdiri dari amplitudo frekuensi tanpa waktu informasi, seperti spektrum daya, amplitudo *peak to peak* dan frekuensi gigi (Ahmad, M. I., dkk. 2020).

## 1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam penyusunan Proposal Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut.

### 1. BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, *state of the art* dan sistematika penulisan yang berkaitan dengan mesin CNC *milling*.

### 2. BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi tinjauan umum, referensi pustaka untuk mendukung penelitian tentang uraian dasar teori terkait material *stainless steel* 420, proses CNC *milling*, hubungan dan korelasi getaran dengan kekasaran permukaan, pengolahan data dan dasar perhitungan yang digunakan.

### 3. BAB 3 METODE PENELITIAN

Bab ini berisi tentang mekanisme atau proses yang akan dilakukan dalam melakukan penelitian hubungan antara getaran dan kekasaran permukaan pada proses CNC *milling* dengan menggunakan diagram alir beserta penjelasannya.

### 4. BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi gambar dan data-data penelitian terkait parameter yang digunakan, sinyal getaran, nilai kekasaran yang diperoleh, dan analisa dari data-data tersebut.

### 5. BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi tentang kesimpulan yang diperoleh dari hasil penelitian, pengujian dan perhitungan analisis yang dilakukan serta saran penulis yang diharapkan dapat memberikan manfaat.

### 6. DAFTAR PUSTAKA

Berisi referensi yang menjadi acuan dalam penelitian dan pengujian yang dilakukan.

### 7. LAMPIRAN