

## ANALISIS PERUBAHAN KECEPATAN SPINDLE TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN DAN KEAUSAN PAHAT PADA PEMBUBUTAN BAJA AISI 4340

1,3) Dosen Teknik Mesin,  
Institut Teknologi  
Kalimantan, Jl. Soekarno  
Hatta Km 15, Karang  
Joang, Kec.Balikpapan  
Utara, Kaltim 76127

2) Dosen Teknik Mesin,  
Politeknik Negeri Tanah  
Laut, Jl.A. Yani, Km.6 Ds.  
Panggung, Kec. Pelaihari,  
Kab. Tanah Laut, Kalsel  
70815

4) Mahasiswa Teknik Mesin,  
Institut Teknologi  
Kalimantan, Jl. Soekarno  
Hatta Km 15, Karang  
Joang, Kec.Balikpapan  
Utara, Kaltim 76127

Faisal Manta<sup>1\*</sup>, Kurnia Dwi Artika<sup>2)</sup>, Kholiq Deliasgarin  
Radyantho<sup>3)</sup>, Taufiq<sup>4)</sup>

Corresponding email <sup>1)</sup> :  
[faisal86@lecturer.itk.ac.id](mailto:faisal86@lecturer.itk.ac.id)

Received: 31.10.2022  
Accepted: 12.10.2024  
Published: 28.12.2024

©2024 Politala Press.  
All Rights Reserved.

**Abstrak.** Kualitas pemotongan mesin bubut dipengaruhi oleh berbagai parameter pemotongan. Kecepatan spindle sebagai parameter utama yang berpengaruh terhadap tingkat kekasaran permukaan dan keausan pahat. Penelitian bertujuan memahami dampak penggunaan pahat insert tipe VNMG 160408-MA pada pemotongan baja AISI 4340 terhadap nilai kekasaran permukaan dan keausan pahat. Kecepatan spindle yang digunakan adalah 190-1225 rpm, 0,5 mm kedalaman potong dan 0,209 mm/rev laju pemakanan. Metode eksperimental digunakan dan hasil penelitian diperoleh bahwa variasi kecepatan spindle berpengaruh signifikan terhadap nilai uji kekasaran, nilai keausan, dan temperatur potong dibuktikan dengan nilai P-Value < 0,05. Pada nilai pada kecepatan spindle 190 rpm diperoleh nilai kekasaran permukaan 6,195  $\mu\text{m}$ , keausan pahat sebesar 0,002 gram dan temperatur pahat sebesar 48,178 °C. Nilai kecepatan spindle 1.255 rpm terukur nilai kekasaran permukaan 1,971  $\mu\text{m}$ , keausan pahat 0,053 gram, temperatur pahat sebesar 90,389 °C.

**Kata Kunci:** AISI 4340, keausan pahat, kecepatan spindle, kekasaran permukaan, mesin bubut.

**Abstract.** The cutting quality of a lathe is influenced by various cutting parameters. Spindle speed is the main parameter that influences the level of wear number and roughness test point. The research aims to understand the impact of using a VNMG 160408-MA type insert tool in cutting AISI 4340 steel on surface roughness and tool wear values. The spindle speeds used are 190-1,255 rpm, 0.5 mm and 0.209 mm/rev. Experimental methods were used and the research results showed that variations in spindle speed had a significant on roughness test point, wear number and cutting temperature as evidenced by the P-Value < 0.05. At a value at a spindle speed of 190 rpm, the surface roughness value was 6.195  $\mu\text{m}$ , tool wear was 0.002 grams and tool temperature was 48.178 °C. The spindle speed value of 1,255 rpm measured a surface roughness value of 1.971  $\mu\text{m}$ , tool wear of 0.053 grams, tool temperature of 90.389 °C.

**Keywords:** AISI 4340, Tool wear, Spindle speed, Surface roughness, lathe machine.

To cite this article: <https://doi.org/10.34128/je.v11i2.210>

### 1. Pendahuluan

Pemanfaatan material baja paduan semakin luas digunakan seiring dengan kemajuan teknologi. Beberapa jenis baja paduan memiliki karakteristik khusus akibat unsur paduan yang ditambahkan. Unsur paduan yang sangat vital dalam mengatur karakteristik baja karbon adalah karbon (C). Contoh material baja yang banyak digunakan dalam industri yaitu baja AISI 4340. Material Baja AISI 4340 (*American Iron and Steel Institute*) ialah kategori baja paduan dengan kandungan karbon menengah yaitu antara 0,36% - 0,44%. Baja AISI 4340 digunakan pada bagian roda gigi, poros dan bantalan[1].

Suatu proses yang merubah wujud suatu benda ialah proses manufaktur. Proses tersebut vital pada industri permesinan yang berperan dalam kemajuan teknologi global. Permesinan dominan dan banyak digunakan di industri yaitu *turning machine* atau mesin bubut. Proses pemotongan pada mesin bubut memiliki 2 pergerakan yaitu gerak makan dan gerak potong. Pahat yang bergerak translasi terhadap sumbu putar benda kerja sebagai gerak makan dan putaran benda kerja pada poros *spindle* sebagai gerak potong[2]. Mesin bubut dapat dijalankan dengan CNC (*Computer Numerical Control*) dan konvensional. Mesin konvensional dijalankan sepenuhnya oleh manusia dengan cara manual, sehingga dibutuhkan operator dengan keahlian yang cukup untuk menghasilkan kualitas pemotongan baik. Mesin CNC (*Computer Numerical Control*) merupakan mesin yang dijalankan berdasarkan pemrograman, namun operator tetap dibutuhkan untuk mengisi program dan mengawasi proses pemotongan berjalan aman[3].

Kualitas pemotongan mesin bubut dapat dinyatakan dengan nilai kekasaran permukaan[4]. Nilai kekasaran permukaan merupakan bentuk topografi dari permukaan benda potong dengan mengukur nilai rerata antara titik tertinggi dan terendah dari permukaan potong[5]. Berdasarkan Standar ISO (*International Organization for Standardization*) kekasaran permukaan dibagi menjadi beberapa level yaitu N1 dengan nilai kekasaran permukaan (Ra) 0,025  $\mu\text{m}$  hingga N12 nilai kekasaran permukaan 50  $\mu\text{m}$ [2]. Jenis proses pemesinan dan parameter pemotongan yang digunakan berdampak terhadap nilai kekasaran permukaan benda kerja.

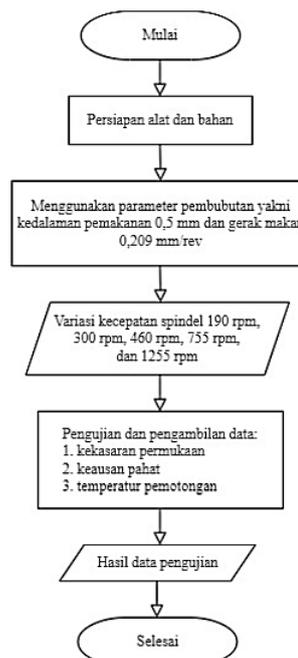
Pada bubut kecepatan *spindle* berpengaruh terhadap keausan pahat, temperatur pemotongan, dan kekasaran permukaan. Mekanisme kecepatan putaran mesin bubut dapat menghasilkan penyayatan dengan satuan putaran/menit, atau rpm. Tingkat penyayatan ini mempengaruhi kualitas benda kerja[6].

Keausan pada pahat khususnya pahat insert dipengaruhi oleh bentuknya, semakin kecil sudut yang tercakup semakin rendah kekuatan tepi tersebut. Untuk lebih meningkatkan kekuatan tepi dan mencegah terjadinya retak, tepi insert diasah, diberi bevel, dan dibuat dengan sudut potong minimum[7]. Pahat insert terbuat dari karbida, keramik digunakan sebagai pahat potong kecepatan tinggi.

Kecepatan *spindle* menandakan proses yang dijalankan sebagai gerak rotasi, namun pada mesin bubut kecepatan pemotongan menjadi lebih signifikan. Kecepatan potong merupakan jarak yang ditempuh oleh mata pahat saat memotong dalam 1 putaran benda kerja. Kecepatan potong secara teoritis berpengaruh terhadap luas bidang atau tebal geram yang terpotong sehingga mampu mengubah gaya potong yang dibutuhkan[8]. Maka penelitian fokus terhadap penggunaan pahat insert dengan perubahan kecepatan *spindle* terhadap keausan pahat dan kekasaran permukaan. Pada penelitian analisis data digunakan metode *anova one way* untuk mendapatkan perbedaan signifikan antara pengaruh kecepatan *spindle* dengan keausan pahat dan kekasaran permukaan.

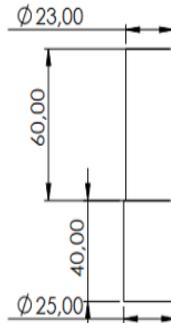
## 2. Metodologi

Penelitian menggunakan studi eksperimen dengan langkah awal yaitu studi literatur dilanjutkan pengumpulan data dan menganalisisnya terhadap parameter pembubutan baja AISI 4340. Parameter penelitian yaitu benda potong AISI 4340, pahat insert VNMG 160408-MA, *feed rate* 0,209 mm/rev, dan *deep cut* 0,5 mm. *Spindle speed* yang digunakan 190, 300, 460, 755 dan 1255 rpm. Nilai yang diukur adalah kekasaran permukaan dan keausan pahat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram penelitian

Penelitian dilakukan di SMK NEGERI 6 Balikpapan untuk proses pembubutan dan untuk uji kekasaran permukaan dilakukan di PT Mulia Perdana Mupeco dan uji keausan pahat dilakukan di laboratorium terpadu ITK. Penelitian dilakukan pada bulan Desember 2023 hingga Juni 2024. Proses diawali dengan melakukan setting parameter pada mesin, dilanjutkan dengan penempatan benda potong di *spindle head* dan pahat di *tool post*. Proses pemotongan dapat dimulai setelah meyakinkan semua parameter dan benda kerja telah sesuai. Setiap spesimen dilakukan pemotongan dua kali sebelum nilai kekasaran permukaan dan keausan pahat diukur. Tiap parameter dilakukan tiga kali pengulangan dengan spesimen dan pahat insert baru sesuai Gambar 2.



**Gambar 2.** Spesimen pembubutan

Perhitungan dalam proses pembubutan dilakukan untuk mengetahui pengaruh kecepatan *spindle* dan untuk menunjang data-data terkait pembubutan. Rumus tersebut seperti panjang gesekan per detik, gaya potong, energi atau daya pemotongan, kecepatan pemakanan, kecepatan potong, dan material removal rate (MRR). Rumus panjang gesekan per detik sesuai pada persamaan 1 [9]:

$$\begin{aligned} \text{Keliling lingkaran} &= 2 \times \pi \times r \\ \text{Kemudian rpm diubah ke detik} &= \frac{n}{60} \\ &= K_{\text{Lingkaran}} \cdot \frac{\text{putaran}}{\text{detik}} \cdot f \end{aligned} \quad (1)$$

Keterangan:

$r$  = Jari-jari benda kerja (mm)  
 $n$  = Kecepatan *spindle* (rpm)  
 $f$  = *Feeding* (mm/rev)

Rumus *feeding* sesuai dengan persamaan 2 [10]:

$$f = \frac{V_F}{n} \quad (2)$$

Keterangan:

$f$  = *Feeding* (mm/rev)  
 $V_F$  = *Feed rate* (mm/min)  
 $n$  = Kecepatan *Spindle* (rpm)

Rumus perhitungan *feed rate* sesuai persamaan 3 :

$$V_F = f \times n \quad (3)$$

Keterangan:

$V_F$  = *Feed rate* (mm/min)  
 $f$  = *Feeding* (mm/rev)  
 $n$  = *Spindle speed* (rpm)

Rumus *spindle speed* sesuai dengan persamaan 4 :

$$n = \frac{V_c \times 1000}{\pi \times d} \quad (4)$$

Keterangan:

$n$  = *spindle speed* (rpm)  
 $V_c$  = *cutting speed* (m/min)  
 $\pi$  = Nilai konstan (3,14)  
 $d$  = Diameter benda potong (mm)

Rumus *deep cut* sesuai persamaan 5 :

$$a = \frac{d_o - d_m}{2} \quad (5)$$

Keterangan:

$a$  = *Deep cut* (mm)

$d_0$  = Awal diameter sebelum pemotongan (mm)  
 $d_m$  = Akhir diameter setelah pemotongan (mm)

Rumus *cutting speed* sesuai persamaan 6 [11] :

$$V_c = \frac{\pi \times d \times n}{1000} \quad (6)$$

Keterangan:

$V_c$  = *Cutting speed* (m/min)

$\pi$  = Nilai konstan (3,14)

$n$  = *Spindle speed* (rpm)

$d$  = *Average diameter* (mm)

Rumus *cutting force* sesuai persamaan 7 [12]:

$$F_v = \tau_{shi} \times b \times h \frac{\cos(\eta-\gamma_0)}{\sin \phi \cos(\phi+\eta-\gamma_0)} \quad (7)$$

Keterangan:

$F_v$  = *Cutting force* (N)

$\tau_{shi}$  = *Shear strength* (N/mm<sup>2</sup>)

$b$  = *wide cutting* (mm)

$h$  = *Chip thickness before cutting* (mm)

$\Phi$  = *shear angle* (°)

$\Omega$  = *friction angle* (°)

$\gamma_0$  = *chip angle* (°)

Rumus daya potong sesuai persamaan 8 :

$$N_c = \frac{F_v \times V_c}{60.000} \quad (8)$$

Keterangan:

$N_c$  = Daya Potong (kW)

$F_v$  = *Cutting force* (N)

$V_c$  = *Cutting speed* (m/min)

Rumus *Material Removal Rate* (MRR) dsesuai persamaan 9 [13]:

$$Z = f \times a \times V_c \quad (9)$$

Keterangan:

$Z$  = *Material Removal Rate* (mm<sup>3</sup>/menit)

$f$  = *Feeding* (mm/rev)

$a$  = *Deep cut* (mm)

$V_c$  = *Cutting speed* (m/min)

Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian adalah sebagai berikut mesin bubut, jangka sorong, pahat insert, neraca analitik, *surface roughness tester*, mikroskop optik, holder pahat dan baja AISI 4340. Mesin bubut yang digunakan tipe UNI TECH C0636A-1000B merupakan jenis konvensional seperti pada Gambar 3.



**Gambar 3.** Mesin bubut *UNI TECH C0636A-1000B*

Jangka sorong dengan tingkat ketelitian 0,05 mm dengan merk Mitutoyo jepang, type manual, dan range 0-150 mm dan 0-6 inch seperti pada Gambar 4a Jangka dibutuhkan untuk mendapatkan nilai diameter awal dan akhir dari spesimen pembubutan. Pahat insert yang digunakan adalah tipe VNMG 160408-MA seperti pada Gambar 4b.



**Gambar 4.** Peralatan (a) Jangka Sorong; (b) Pahat *Insert*

Neraca Analitik merupakan timbangan digital, digunakan mengukur massa pahat dan benda kerja sebelum dan setelah proses pembubutan. Neraca Analitik dengan merk OHAUS dengan type pioneer PA213 dengan ketelitian 0,001 gram sesuai Gambar 5.



**Gambar 5.** Neraca Analitik

*Surface roughness tester* adalah alat pengukur kekasaran permukaan hasil hasil pembubutan. Alat ini bermerk Mitutoyo SJ-210 dengan menggunakan standar ISO 1997 sesuai Gambar 6.



**Gambar 6.** *Surface roughness tester*

Mikroskop optik adalah alat yang digunakan untuk mendapatkan kontur keausan pada pahat. Mikroskop optik yang digunakan adalah Zeiss dengan spesifikasi perbesaran 10x, 20x, 50x, dan 100x dengan type white light LED DIN EN 62471 sesuai Gambar 7.



**Gambar 7.** Mikroskop optik

Holder pahat adalah alat yang digunakan untuk menjepit pahat insert dengan stabil dan aman selama proses pemotongan berlangsung. Type holder pahat yakni MVJNR1616k16 dengan panjang holder 120 mm dan tebal holder 16 mm seperti Gambar 8.



Gambar 8. Holder pahat

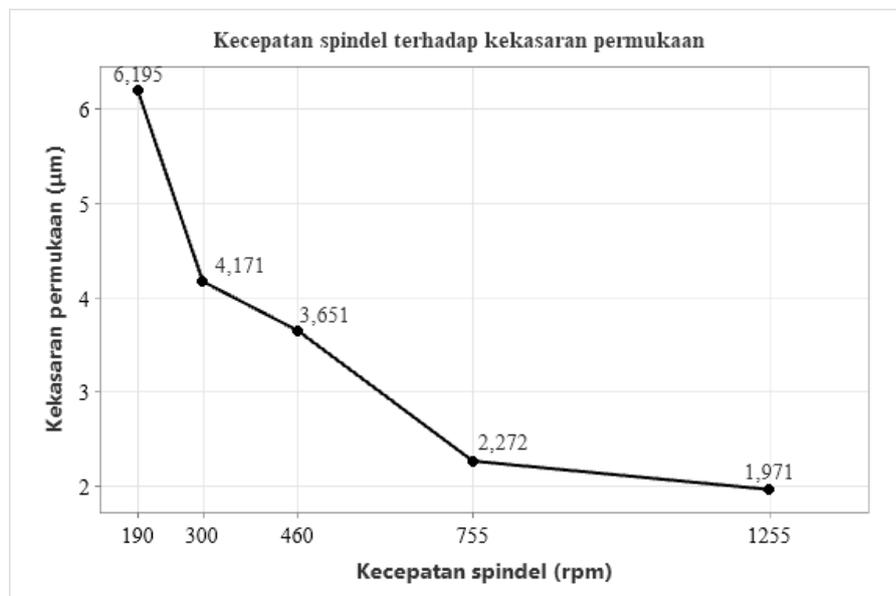
Material baja AISI 4340 adalah jenis baja Paduan dengan unsur Paduan seperti C, Si, S, P, Mn, Ni, Cr, dan Mo. Baja AISI 4340 yang digunakan dengan diameter 25 mm dan panjang 100 mm sesuai Gambar 9.



Gambar 9. Benda kerja AISI 4340

### 3. Hasil dan Pembahasan

Pengukuran nilai kekasaran permukaan dilakukan terhadap benda kerja setelah proses pembubutan dengan alat *surface roughness tester* sesuai standar ISO 1997. Grafik hasil kekasaran permukaan dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Grafik kekasaran permukaan

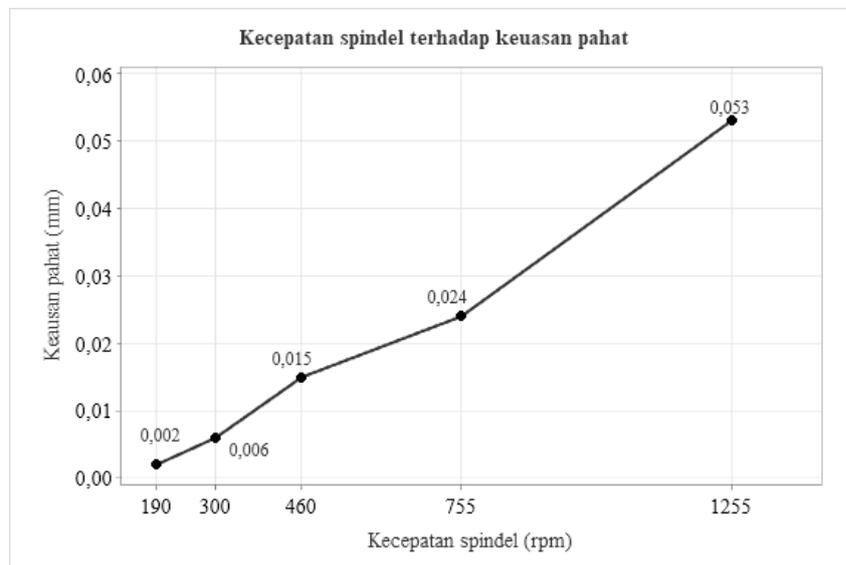
Pengaruh kecepatan *spindle* terhadap kekasaran permukaan ditunjukkan pada Gambar 10, diketahui hasil data pada variasi kecepatan 190, 300, 460, 755 dan 1255 rpm secara berturut nilai kekasaran permukaan 6,195; 4,171; 3,651; 2,272 dan 1,971  $\mu\text{m}$ . Maka grafik menunjukkan kecenderungan penurunan nilai kekasaran permukaan terhadap peningkatan kecepatan *spindle*. Maka perubahan kecepatan *spindle* mempengaruhi kekasaran permukaan benda hasil pembubutan. Nilai kekasaran permukaan yang dihasilkan akan berkurang seiring dengan kenaikan kecepatan *spindle* yang digunakan.

Pada Gambar 10 ditemukan bahwa peningkatan kecepatan *spindle* akan menurunkan nilai kekasaran permukaan, meskipun kecepatan *spindle* tidak berpengaruh terhadap gaya potong. Hal tersebut diketahui berdasarkan rumus gaya potong tidak memiliki variabel kecepatan *spindle*. Namun kecepatan *spindle* akan memberikan dampak pada daya yang dihasilkan [14]. Nilai tegangan geser material berpengaruh terhadap gaya potong yang dibutuhkan seperti aluminium akan membutuhkan gaya potong lebih kecil dibandingkan baja.

Perubahan nilai kekasaran terjadi karena adanya perubahan nilai daya potong. Pada tebal geram dan dalam pemotongan yang sama dihasilkan kenaikan daya potong saat kecepatan potong meningkat. Proses pemotongan mesin bubut merupakan tahapan pembentukan chip atau geram. Pada mesin bubut chip terbentuk saat daya potong yang diberikan melebihi dari kekuatan geser benda kerja persatuan waktu. maka saat daya potong yang tinggi, waktu yang dibutuhkan untuk melebihi kekuatan bahan menjadi pendek [15]. Proses pemotongan dan pembentukan geram menjadi cepat dan halus. Pengujian *analysis of variance (ANOVA) one way* dengan nilai

alpha ( $\alpha$ ) 0,05 diperoleh nilai P-Value sebesar 0,00014. Maka dengan itu hasil uji statistik dengan metode ANOVA memberikan penjelasan bahwa variasi kecepatan *spindle* berpengaruh signifikan terhadap kekasaran permukaan.

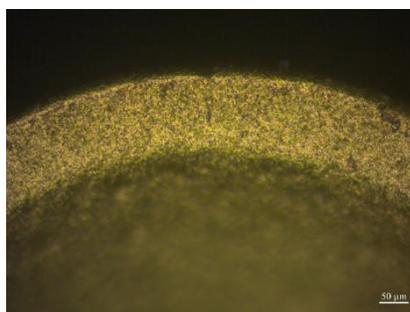
Pengukuran nilai keausan pahat dinyatakan dengan satuan panjang milimeter (mm), yaitu sebagai nilai dari pengukuran panjang bentuk keausan pada mata pahat. Mikroskop optik dengan perbesaran 20x digunakan untuk mengukur keausan pahat setelah proses pembubutan. Mikroskop optik mampu menunjukkan profil secara detail pahat yang terkikis dan mengukur profil tersebut. Maka nilai pengukuran profil keausan pahat terhadap kecepatan *spindle* dapat dilihat pada Gambar 11.



**Gambar 11.** Grafik keausan pahat

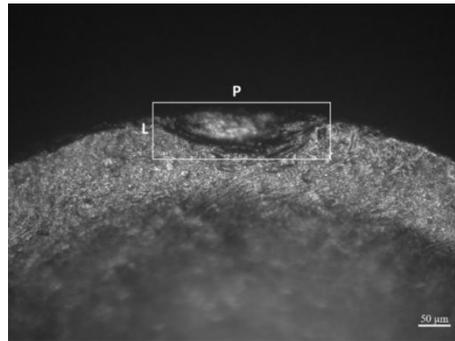
Pada Gambar 11 terukur variasi kecepatan 190, 300, 460, 755 dan 1255 rpm secara berturut nilai keausan pahat 0,002; 0,006; 0,015; 0,024; dan 0,053  $\mu\text{m}$ . Pada grafik menunjukkan tren kenaikan keausan pahat terhadap peningkatan kecepatan *spindle*. Oleh karena itu semakin tinggi kecepatan *spindle* yang digunakan, semakin tinggi tingkat keausan yang dihasilkan pada pahat.

Pahat bubut memotong benda kerja dengan variabel dalam pemotongan dan lebar geram yang sama sehingga tidak berdampak terhadap peningkatan gaya potong. Namun perubahan kecepatan spindle meningkatkan daya potong karena peningkatan kecepatan pada mesin bubut meningkatkan variabel jarak tempuh pahat bubut/*feeding*. Tingginya nilai *feeding* sebagai indikasi bahwa permukaan material yang terpotong dan gesekan pahat meningkat dalam satuan waktu. Tingginya nilai *feeding* menyebabkan pahat cepat panas dan ketika pahat mulai menunjukkan tanda-tanda kegagalan, proses pemesinan tidak akan berlangsung baik, seperti meningkatnya temperatur, getaran dan suara. Ketiga hal tersebut mendorong terjadinya keausan pahat yang berdampak terhadap hasil pembubutan[16]. Besarnya nilai keausan pahat sebanding dengan kekasaran permukaan potong. Keausan pahat dinyatakan dengan panjang dan bentuk profil, maka peninjauan bentuk profil pahat dengan mikroskop optik sebagai berikut.



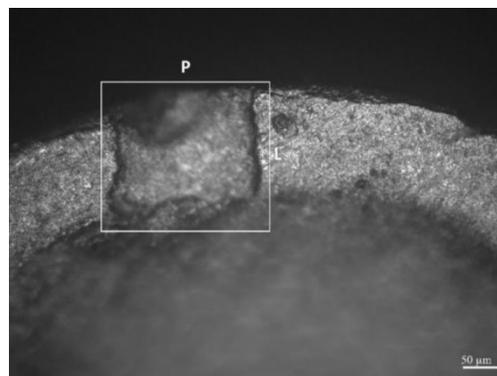
**Gambar 12.** Kondisi pahat sebelum pembubutan

Pada Gambar 12 merupakan kondisi pahat baru. Tampak pada ujung pahat tidak menunjukkan cacat atau keausan. Hal ini menjadi referensi sebagai kondisi pembandingan bagi pahat yang telah digunakan.



**Gambar 13.** Profil keausan pahat pada kecepatan *spindle* 190 rpm

Gambar 13 adalah profil keausan pahat pada kecepatan *spindle* 190 rpm. Keausan yang terjadi merupakan keausan tepi dengan panjang 0,002 mm dengan bentuk lembah yang cenderung melebar di sisi tengahnya. Pada kecepatan 190 rpm titik kontak berada di tepi pahat dan melebar. Hal ini cenderung terjadi saat pemotongan menggunakan kecepatan rendah sehingga aliran geram mengalir sesuai arah *feeding* yaitu bergeser ke kanan. Maka keausan melebar ke sisi kanan mengikuti aliran geram, karena keausan tidak hanya terjadi di titik kontak antara pahat dan benda kerja[9], namun juga arah aliran geram karena geram memiliki temperatur dan kekerasan tinggi.



**Gambar 14.** Pahat setelah dibubut pada variasi kecepatan *spindle* 1.255 rpm

Pada kecepatan 1255 rpm profil keausan yang terbentuk seperti Gambar 14, yaitu keausan melebar ke arah dalam pahat dan panjang terukur sepanjang 0,053 mm. Profile keausan tersebut terbentuk sebagai akibat nilai kecepatan *spindle* yang tinggi dibandingkan kecepatan *feeding*. Aliran geram yang terbentuk terdorong ke sisi dalam pahat oleh putaran spindel sehingga gesekan dan temperatur meningkat di sisi tersebut. Ketika nilai kecepatan *spindle* semakin tinggi, maka keausan lembah mungkin untuk terbentuk[15]. Keausan lebah merupakan keausan yang terbentuk di sisi dalam. Hasil uji statistik dengan metode ANOVA *one way* dengan nilai alpha ( $\alpha$ ) 0,05 diperoleh nilai P-Value sebesar 0,010 disimpulkan bahwa variasi kecepatan *spindle* berpengaruh signifikan terhadap keausan pahat.

#### 4. Kesimpulan

Pada peningkatan kecepatan *spindle* terukur nilai kekasaran turun atau semakin halus permukaan yang signifikan. Variasi kecepatan *spindle* 190 rpm menghasilkan nilai kekasaran permukaan sebesar 6,195  $\mu\text{m}$  dan variasi kecepatan *spindle* 1.255 rpm mampu menghasilkan nilai kekasaran permukaan sebesar 1,971  $\mu\text{m}$ . Keausan pahat terhadap kenaikan nilai *spindle* menunjukkan perubahan yang signifikan yaitu nilai keausan pahat sebesar 0,002 pada kecepatan *spindle* terendah yakni 190 rpm dan nilai keausan pahat sebesar 0,053 gram pada variasi kecepatan *spindle* tertinggi yakni 1.255 rpm. Perubahan kecepatan spindel meningkatkan daya potong karena peningkatan kecepatan pada mesin bubut meningkatkan variabel jarak tempuh pahat bubut/ *feeding*. Tingginya nilai *feeding* sebagai indikasi bahwa permukaan material yang terpotong dan gesekan pahat meningkat dalam satuan waktu. Tingginya nilai *feeding* menyebabkan pahat cepat panas dan pahat menunjukkan tanda-tanda kegagalan seperti keausan dan berdampak terhadap kualitas kekasaran permukaan.

#### Daftar Pustaka

- [1] D. Abimayu and H. Nurdin, "Pengaruh Gerak Makan Dan Kecepatan Putaran *Spindle* Terhadap Tingkat Kekasaran Permukaan Aluminium Pada Proses Pembubutan Menggunakan Mesin Bubut Konvensional," *Ranah Res. J. Multidiscip. Res. Dev.*, vol. 1, no. 4, pp. 783–790, Jul. 2019, Accessed: Dec. 06, 2024. [Online]. Available: <https://jurnal.ranahresearch.com/index.php/R2J/article/view/129>

- [2] M. Nopiansyah, Z. Zulfetriyanto, and E. Erwanto, "Pengaruh Kecepatan *Spindle* dan Kedalaman Pemakanan Terhadap Kekasaran Permukaan Pemesinan Bubut CNC Baja St41," *J. Syntax Admiration*, vol. 2, no. 7, pp. 1307–1316, Jul. 2021, doi: 10.46799/JSA.V2I7.272.
- [3] R. A. Heriyanto and R. A. Hanifi, "Analisis Pengaruh Kecepatan Putar *Spindle* Dan Kecepatan Pemakanan Terhadap Kekasaran Permukaan Baja S45C Pada Proses Bubut CNC," *J. Kaji. Tek. MESIN*, vol. 8, no. 2, pp. 211–220, Aug. 2023, doi: 10.52447/JKTM.V8I2.7108.
- [4] P. I. Gultom and Kiswandono, "Pengaruh Kecepatan Potong, Kecepatan Pemakanan Dan Sudut Potong Utama Terhadap Kekasaran Permukaan Pada Proses Bubut Medium Carbon Steel," *J. FLYWHEEL*, vol. 11, no. 2, pp. 13–18, Sep. 2020, doi: 10.36040/FLYWHEEL.V11I2.2846.
- [5] I. G. Wiratmaja, I. N. P. Nugraha, and I. G. A. Saputra, "Penurunan Surface Roughness Hasil Pembubutan Rata Baja ST 42 Akibat Pengaruh Variasi Sudut Potong Pahat Dan Kecepatan *Spindle* Mesin Bubut," *J. Inov.*, vol. 6, no. 1, pp. 26–28, May 2023, doi: 10.37338/INOVATOR.V6I1.8.
- [6] B. Margono and S. Wardoyo, "Studi Parameter Pemesinan Optimum Proses Bubut Pada Bahan Kuningan," *Teknika*, vol. 6, no. 4, pp. 209–216, Nov. 2020, Accessed: Dec. 06, 2024. [Online]. Available: <https://jurnal.sttw.ac.id/index.php/jte/article/view/101>
- [7] M. Zacharia, D. N. Zulfika, and A. Rijanto, "Hubungan Kemiringan Sudut Pahat Terhadap Kerataan Baja ST 42 Pada Bubut Konvensional," *Majamecha*, vol. 4, no. 1, pp. 44–50, Jun. 2022, doi: 10.36815/MAJAMECHA.V4I1.1304.
- [8] K. Arifin, D. N. Zulfika, and A. Rijanto, "Pengaruh Kedalaman Pemakanan Dan Kecepatan Spindel Terhadap Tingkat Kekasaran Permukaan Baja ST 42 Pada Proses Bubut," *Majamecha*, vol. 4, no. 2, pp. 96–102, Dec. 2022, doi: 10.36815/MAJAMECHA.V4I2.1312.
- [9] S. Widiyawati, O. Novareza, D. H. Sulistyarini, and W. W. Putro, "Pengaruh Penggunaan Cairan Pendingin (Coolant) terhadap Keausan Pahat Bubut HSS," *J. Rekayasa Mesin*, vol. 11, no. 3, pp. 467–475, Dec. 2020, doi: 10.21776/UB.JRM.2020.011.03.19.
- [10] A. A. Ismail and I. A. Hendaryanto, "Pengaturan Kecepatan *Spindle* Mesin Bubut Retrofit Menggunakan VSD (Variable Speed Drive)," *J. Engine Energi, Manufaktur, dan Mater.*, vol. 8, no. 1, pp. 75–80, May 2024, doi: 10.30588/JEEMM.V8I1.1672.
- [11] A. Susanto, R. E. Wicaksono, M. E. Echsony, R. M. Bisono, P. H. W. Mudmainah, and R. Alfiyani, "Pengaruh Variasi Kecepatan Rotasi *Spindle* terhadap Gaya Potong dan Frekuensi Karakteristik Proses Bubut," *Manutech J. Teknol. Manufaktur*, vol. 16, no. 01, pp. 37–46, Aug. 2024, doi: 10.33504/MANUTECH.V16I01.374.
- [12] H. B. Soemardi, "Perawatan Preventif Mesin Bubut Menggunakan Metode Analisis Getaran Dalam Berbagai Kondisi Kecepatan *Spindle*," *Otopro*, vol. 15, no. 2, pp. 40–44, May 2020, doi: 10.26740/OTOPRO.V15N2.P40-44.
- [13] F. Paliling, C. G. Simon, Z. Sudirman, R. Lazarus, F. R. Bethony, and Z. Jhoy, "Analisis Pengaruh Kecepatan *Spindle* dan Variasi Pahat HSS terhadap Kekasaran Permukaan Baja ST 42 dalam Proses Bubut Konvensional dengan Metode Taguchi," *J. CRANKSHAFT*, vol. 7, no. 2, pp. 93–103, Jun. 2024, doi: 10.24176/CRA.V7I2.12721.
- [14] B. Suroso and D. Prayogi, "Pengaruh Kecepatan Putaran *Spindle* Dan Kedalaman Penggerindaan Terhadap Kekasaran Permukaan Material Baja St 37 Menggunakan Mesin Bubut Bergerinda," *J. Rekayasa Mater. Manufaktur dan Energi*, vol. 2, no. 1, pp. 24–33, Mar. 2019, doi: 10.30596/RMME.V2I1.3066.
- [15] N. Hayati, T. Hidayat, and G. R. Pamungkas, "Pengaruh Geometri Pahat Hss Dan Parameter Pemesinan Terhadap Keausan Tepi Pahat Pada Pembubutan Rata Baja Karbon Rendah (St 37) Dengan Metode Taguchi," *Elem. J. Tek. MESIN*, vol. 9, no. 1, pp. 01–06, Aug. 2022, doi: 10.34128/JE.V9I1.163.
- [16] B. S. Widodo, A. R. Krisnanda, and K. A. Widi, "Analisa Pengaruh Kecepatan Putar Spindel Dan Kecepatan Pemakanan Terhadap Kekasaran Permukaan Dan Kekerasan Baja AISI 1020 Pada Mesin Bubut CNC," *J. FLYWHEEL*, vol. 14, no. 2, pp. 74–81, Oct. 2023, doi: 10.36040/FLYWHEEL.V14I2.7796.