

ANALISIS VARIASI KECEPATAN SPINDEL DAN WAKTU POTONG TERHADAP KEAUSAN ALAT POTONG DAN KEKASARAN PERMUKAAN MATERIAL PADA PROSES PEMBUBUTAN BAJA S45C

Fahmi Jaffar Aji Maulana¹, Priyagung Hartono², Unung Lesmanah³

¹ Program Studi Teknik Mesin, Universitas Islam Malang, Jl. Letjen. M.T. Haryono No. 139 65144 Kota Malang
Jawa Timur

e-mail : fahmijaffaraji2017@gmail.com

² Program Studi Teknik Mesin, Universitas Islam Malang, Jl. Letjen. M.T. Haryono No. 139 65144 Kota Malang
Jawa Timur

e-mail : priyagung@unisma.ac.id

³ Program Studi Teknik Mesin, Universitas Islam Malang, Jl. Letjen. M.T. Haryono No. 139 65144 Kota Malang
Jawa Timur

e-mail : ununglesmanah@unisma.ac.id

ABSTRAK

Material Baja S45C adalah jenis baja dalam golongan “medium carbon steel” yang memiliki kadar karbon (0.3-0.5%C). Kandungan karbon yang sedang pada material menjadikan sifat mekanik material dapat ditingkatkan. Meningkatkan sifat mekanis logam agar lebih tahan gesekan atau tekanan yaitu dengan cara memberikan perlakuan panas. Proses pemanasan dan pendinginan pada material baja untuk memperoleh kekasaran dan ketangguhan yang diinginkan memerlukan pemanasan pada suhu tertentu, waktu penahanan pemanasan dan pendinginan. Dalam proses pembubutan material, tentu tak akan lepas dengan adanya konsep kerja pembentukan geram baik bagi material maupun alat bubut itu sendiri, dimana hal tersebut merupakan faktor penting yang menyebabkan beberapa masalah salah satunya keausan pada alat potong atau pahat. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode eksperimental dan analisa data menggunakan alat *Toolmaker Microscope* guna mengindikasi keausan alat potong pada pembubutan *facing material* baja S45C. Hasil penelitian ini adalah 1) Kecepatan spindel yang lebih tinggi cenderung mempercepat keausan pahat akibat peningkatan gaya gesek dan suhu pemotongan. 2) Semakin lama waktu potong, semakin tinggi tingkat keausan alat potong. 3) Analisis *Two-Way* ANOVA menunjukkan bahwa baik kecepatan spindel maupun waktu potong memiliki pengaruh yang signifikan terhadap keausan alat potong. 4) Kekasaran permukaan (R_a) cenderung meningkat dengan fleksibel seiring dengan bertambahnya waktu potong dan kecepatan spindel dengan pengaruh lingkungan dan proses saat melakukan pengujian. 5) Keausan pahat yang terjadi akibat gaya gesek, suhu tinggi, dan interaksi mekanis antara alat potong dan benda kerja menyebabkan degradasi ketajaman pahat. 6) kombinasi kecepatan spindel 110 rpm dan waktu potong 5 menit menghasilkan tingkat keausan pahat yang paling rendah dan kualitas permukaan yang lebih baik.

Kata Kunci: Keausan Alat Potong, Kekasaran Permukaan Material, Baja S45c.

ABSTRACT

S45C steel is a type of steel in the "medium carbon steel" category, containing carbon levels between 0.3–0.5%. The moderate carbon content in the material allows its mechanical properties to be improved. One way to enhance the mechanical properties of metals to make them more resistant to friction or pressure is by applying heat treatment. The process of heating and cooling steel to achieve the desired hardness and toughness requires specific heating temperatures, holding times, and cooling rates. In the turning process of materials, the concept of chip formation is inseparable, both for the material and the cutting tool itself. This is an important factor that can lead to several issues, including wear on the cutting tool or insert. This study was conducted using experimental methods and data analysis with a Toolmaker Microscope to observe tool wear during the facing process of S45C steel. The results of this research are as follows: 1) Higher spindle speeds tend to accelerate tool wear due to increased friction and cutting temperatures. 2) The longer the cutting time, the

higher the degree of tool wear. 3) Two-Way ANOVA analysis shows that both spindle speed and cutting time significantly affect tool wear. 4) Surface roughness (Ra) tends to increase flexibly along with increased cutting time and spindle speed, influenced by environmental conditions and the testing process. 5) Tool wear occurs due to frictional forces, high temperatures, and mechanical interaction between the cutting tool and the workpiece, leading to a degradation in tool sharpness. 6) The combination of a 110 rpm spindle speed and a cutting time of 5 minutes results in the lowest tool wear and better surface quality.

Keywords: Tool Wear, Surface Roughness of Material, S45C Steel

PENDAHULUAN

Material Baja S45C adalah jenis baja dalam golongan “medium carbon steel” yang memiliki kadar karbon (0.3-0,5%C). Kandungan karbon yang sedang pada material menjadikan sifat mekanik material dapat ditingkatkan. Meningkatkan sifat mekanis logam agar lebih tahan gesekan atau tekanan yaitu dengan cara memberikan perlakuan panas. Dilihat dari penggunaannya material baja karbon ini sering di aplikasikan dalam pembuatan komponen atau sparepart seperti: roda gigi, rails, pully, sprocket, axles. Baja karbon S45C sering digunakan karena memiliki keunggulan harga yang lebih murah sehingga mudah didapat dibandingkan bahan atau material yang lainnya. Untuk meningkatkan sifat-sifat mekanik diberikan perlakuan panas seperti normalizing, annealing, tempering dan quenching. Proses peningkatan sifat-sifat mekanik baja guna memperoleh kualitas yang baik sangat tergantung pada proses perlakuan panas yang di terapkan.

Proses pemanasan dan pendinginan pada material baja untuk memperoleh kekasaran dan ketangguhan yang diinginkan memerlukan pemanasan pada suhu tertentu, waktu penahanan pemanasan dan pendinginan. Perbandingan material sebelum dan setelah melalui proses pemanasan dan pendinginan diperlukan guna melihat sifat mekanis akibat pengaruh pemanasan (Sofyan et al., 2020). Dalam proses pembubutan material, tentu tak akan lepas dengan adanya konsep kerja pembentukan geram baik bagi material maupun alat bubut itu sendiri, dimana hal tersebut merupakan faktor penting yang menyebabkan beberapa masalah salah satunya keausan pada alat potong atau pahat.

Keausan adalah sebuah fenomena yang sering terjadi dalam engineering. Keausan bukan hanya proses tunggal, tetapi beberapa proses berbeda yang dapat berlangsung independen atau secara bersamaan. Kompleksitas proses keausan dapat dibaca dengan mengetahui berbagai variabel yang terlibat pada alat potong yaitu kekasaran, ketangguhan, kelenturan, modulus elastisitas, kekuatan tarik, kelelahan dan struktur permukaan yang saling bertemu, seperti geometri, temperatur, tegangan, distribusi tegangan, koefisien gesek dan atmosfer dari permukaan yang aus

(Abidin, 2010). Keausan pahat akan muncul dengan sendirinya ketika dalam proses pemotongan logam berlangsung yang terkadang bersumber dari berbagai faktor meliputi waktu potong. Untuk itu proses penelitian ini diharapkan dapat mengetahui pengaruh kecepatan potong, dan kedalaman potong terhadap umur pahat dan nilai korelasi antara variabel pemesinan terhadap umur waktu pahat. Umur waktu pahat sangat penting karena sangat mempengaruhi biaya yang digunakan dalam proses pemesinan. Kecepatan potong memiliki pengaruh yang signifikan pada umur waktu pahat diiringi dengan gerak makan dan kedalaman potong (Johan, 2021).

Berdasarkan latar belakang tersebut, peneliti tertarik untuk melakukan penelitian dengan judul "Analisis Variasi Kecepatan Spindel dan Waktu Potong terhadap Keausan Alat Potong dan Kekasaran Permukaan Spesimen pada Proses Pembubutan Material Baja S45C" guna menghindari risiko kerusakan alat potong serta meningkatkan efisiensi dalam proses pemesinan.

METODE

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode eksperimental dan analisa data menggunakan alat *Toolsmaker Microscope* guna mengindikasikan keausan alat potong pada pembubutan facing material baja S45C. Setiap kombinasi variasi antara dua variabel penelitian akan dilakukan tiga percobaan yang dilakukan akan menjadikan sebuah data utama melalui nilai rata-rata. Nilai dari setiap faktor keausan akan didasarkan pada rekomendasi pahat, mesin dan material yang berkaitan dalam proses pemesinan. Berikutnya, nilai dari setiap faktor waktu akan didasarkan pada perhitungan rumus yang dilandasi parameter yang digunakan dalam proses pemesinan.

Bahan Penelitian

Dalam proses penelitian, terdapat beberapa alat dan bahan yang digunakan dalam proses pengujian. Alat tersebut harus memenuhi kriteria syarat layak untuk digunakan. Daftar alat dan bahan dapat di lihat dalam tabel di bawah ini.

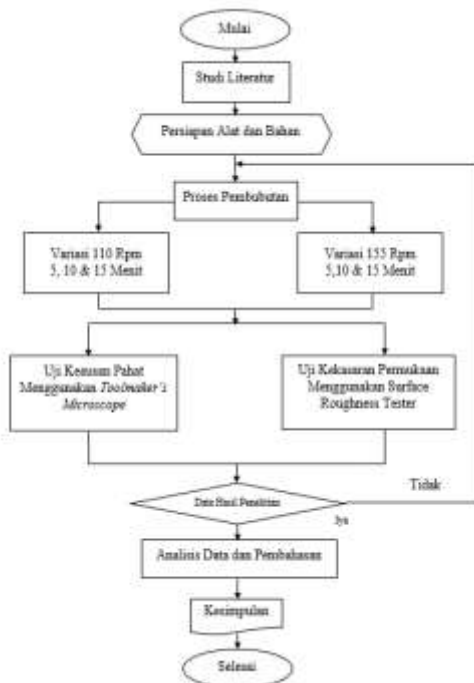
Tabel 1. Alat Penelitian

Alat Penelitian	Jumlah
Mesin Bubut Konvensional	1
Pahat <i>Insert</i> Karbida DCMT 070204EN	1
Tool Holder	1
Jangka Sorong	1
<i>Microscope</i>	1
<i>Software Dino-lite</i>	1
Kacamata Safety	1
Saput	1
Thermometer Digital Infrared	1
<i>Surface Roughness Tester</i>	1

Tabel 2. Bahan Penelitian

Bahan penelitian	Jumlah
Bahan bakar RON 92	2 liter
<i>Methanol</i>	1 liter

Diagram Alir Penelitian



HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Hasil Penelitian

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh variasi kecepatan spindle dan waktu potong terhadap keausan alat potong dalam proses pembubutan facing pada material baja S50C. Kecepatan spindle yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari dua tingkat, yaitu 110 Rpm dan 155 Rpm, sementara waktu potong divariasikan menjadi tiga tingkatan, yaitu 5, 10, dan 15 menit. Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mengetahui bagaimana perubahan parameter pemesinan tersebut mempengaruhi tingkat keausan alat potong, yang pada akhirnya akan berdampak pada efisiensi proses pemesinan, umur pakai alat potong, serta kualitas permukaan benda kerja yang dihasilkan.

Penelitian ini juga dikumpulkan data kekasaran permukaan sebagai informasi pendukung guna memberikan pemahaman lebih lanjut mengenai hubungan antara parameter pemesinan, keausan alat potong, dan kualitas hasil pemesinan. Pengukuran kekasaran permukaan dilakukan dengan mengamati beberapa parameter standar, yaitu Ra (rata-rata kekasaran), Rz (kekasaran puncak-ke-lembah), Rq (akar kuadrat rata-rata kekasaran), dan Rt (total tinggi kekasaran). Selain data keausan dan kekasaran permukaan, dalam penelitian ini juga dilakukan pengukuran kekasaran material, namun hanya dilakukan pada material awal sebelum proses pembubutan. Tidak ada pengukuran kekasaran yang dilakukan setelah proses pemesinan, karena penelitian ini lebih difokuskan pada pengaruh variasi parameter pemesinan terhadap keausan alat potong dan kualitas permukaan yang dihasilkan.

Data Numerik Keausan Pahat

Pada tabel 4.1 menampilkan distribusi nilai keausan pada pahat DCMT 070204EN.

Table 4. 1 Tabel Hasil Pengujian Keausan

Spindel Speed (rpm)	Waktu Potong (min)		
	5 Menit	10 Menit	15 Menit
110	481.364	729.191	1071.071
155	892.013	799.389	1178.771
Total	1173.377	1528.580	2249.842
Rata-rata	$\bar{X}_1$	$\bar{X}_2$	$\bar{X}_3$

Keterangan:

Nilai rata-rata keausan pada insert DCMT 070204EN pada pembubutan material baja S45C menggunakan parameter kecepatan putaran spindle sebesar 110 Rpm 155 Rpm dan waktu 5 menit dengan

metode silindris, dapat diketahui melalui persamaan sebagai berikut:

$$X1 = \frac{X1a + X1b}{2}$$

$$X1 = \frac{481.364 + 692.013}{2}$$

$$\bar{X1} = 586.689 \mu m$$

Nilai rata-rata keausan pada insert DCMT 070204EN pada pembubutan material baja S45C menggunakan parameter kecepatan putaran spindel sebesar 110 Rpm 155 Rpm dan waktu 10 menit dengan metode silindris, dapat diketahui melalui persamaan sebagai berikut:

$$X1 = \frac{X2a + X2b}{2}$$

$$X1 = \frac{729.191 + 799.389}{2}$$

$$\bar{X1} = 764.290 \mu m$$

Nilai rata-rata keausan pada insert DCMT 070204EN pada pembubutan material baja S45C menggunakan parameter kecepatan putaran spindel sebesar 110 Rpm 155 Rpm dan waktu 10 menit dengan metode silindris, dapat diketahui melalui persamaan sebagai berikut:

$$X1 = \frac{X3a + X3b}{2}$$

$$X1 = \frac{1071.071 + 1178.771}{2}$$

$$\bar{X1} = 1124.921 \mu m$$

Table 4. 2 Data Rata Rata- Hasil Uji Keausan

Waktu Potong (min)	5 Menit	10 Menit	15 Menit
Spindel Speed (rpm)			
110	481.364	729.191	1071.071
155	692.013	799.389	1178.771
Total	1173.377	1528.580	2249.842
Rata-rata	586.689	764.290	1124.921



Diagram 4. 1 Data Keausan pada Kecepatan Spindel 110 Rpm

Pada diagram 4.1 dapat dilihat (*min*) yang berada pada angka waktu 15 menit memiliki keausan paling tinggi sebesar 1,071,071 μm pada variasi (*n*) sebesar 110 Rpm . Tidak berlaku sebaliknya, nilai keausan pada variasi (*min*) pada waktu 5 menit yang notabene bukan yang terendah justru memiliki nilai keausan yang paling kecil yaitu 481,364 μm , sedangkan nilai keausan pada variasi (*min*) pada waktu 10 menit

memiliki nilai keausan tengah tengah diantara 3 sampel hasil yaitu 729,191 μm .



Diagram 4. 2 Data Keausan pada Kecepatan Spindel 155 Rpm

Pada diagram 4.1 dapat dilihat (*min*) yang berada pada angka waktu 15 menit memiliki keausan paling tinggi sebesar 1,178,771 μm pada variasi (*n*) sebesar 155 Rpm . Tidak berlaku sebaliknya, nilai keausan pada variasi (*min*) pada waktu 5 menit yang notabene bukan yang terendah justru memiliki nilai keausan yang paling kecil yaitu 695,013 μm , sedangkan nilai keausan pada variasi (*min*) pada waktu 10 menit memiliki nilai keausan tengah tengah diantara 3 sampel hasil yaitu 799,389 μm .

Meninjau dari diagram 4.1 yang mana nilai keausan muncul secara tidak beraturan sesuai variasi (*f*) yang digunakan, kali ini data keausan yang dimiliki diagram 4.2 pada variasi (*n*) sebesar 155 Rpm menunjukkan data yang selaras berurutan. Hal ini dipengaruhi oleh tiga data variasi waktu potong (*min*) yang dapat dikatakan bekerja optimal jika dipadukan dengan variasi (*n*) sebesar 155 Rpm.



Diagram 4. 3 Data Nilai Rata-rata pada Kecepatan Spindel 110 dan 155 Rpm

Pada diagram 4.3 diatas menunjukkan nilai rata-rata keausan (*VB*) dari 3 macam variasi uji (*min*) yaitu 5, 10, 15 (*m/s*) dengan paduan variasi parameter (*n*) sebesar 110 dan 155 Rpm. Pada pembubutan baja S45C menggunakan pahat *insert* karbida DCMT 070204EN bermetode silindris dengan variasi (*n*) sebesar 110 Rpm dan paduan variasi waktu (*min*) 5 menit menghasilkan nilai keausan sebesar 481,364 μm , 10 menit sebesar 729,191 μm , dan 15 menit sebesar 1,071,071 μm . Sedangkan dengan variasi parameter (*n*) sebesar 155 Rpm dan paduan variasi waktu (*min*)

5 menit menghasilkan nilai keausan sebesar 692,013 μm , 10 menit sebesar 799,389 μm , 15 menit sebesar 1,178,771 μm .

Analisis visual terhadap grafik hasil pengujian mengungkapkan beberapa pola yang dapat dijadikan dasar dalam memahami hubungan antara parameter pemessinan dan keausan alat potong diantaranya :

1. Tren Peningkatan Keausan Seiring Waktu Potong

Berdasarkan pola yang terlihat dalam diagram, keausan pahat secara umum menunjukkan tren peningkatan seiring bertambahnya waktu potong. Hal ini konsisten dengan teori keausan yang menyatakan bahwa proses keausan bersifat kumulatif, di mana semakin lama alat potong bersentuhan dengan benda kerja, semakin besar degradasi material yang terjadi pada ujung potongnya. Dengan bertambahnya durasi pemessinan, gesekan antara pahat dan benda kerja semakin tinggi, sehingga meningkatkan laju keausan akibat mekanisme abrasi, adhesi, dan difusi termal. Selain itu, semakin lama waktu potong, semakin tinggi akumulasi panas pada alat potong, yang dapat menyebabkan pelunakan material pahat dan mempercepat keausan.

2. Kecepatan Spindel yang Lebih Tinggi Berkontribusi pada Keausan yang Lebih Besar

Dari hasil pengujian, terlihat bahwa pada setiap nilai waktu potong, kecepatan spindel yang lebih tinggi (155 rpm) cenderung menghasilkan tingkat keausan yang lebih besar dibandingkan dengan kecepatan spindel yang lebih rendah (110 rpm). Hal ini dapat dijelaskan oleh fakta bahwa peningkatan kecepatan spindel meningkatkan gaya potong dan suhu di zona pemotongan, yang pada akhirnya mempercepat proses degradasi alat potong. Pada kecepatan tinggi, material pahat mengalami siklus pemanasan dan pendinginan yang lebih cepat, yang dapat menyebabkan perubahan mikrostruktur dan mengurangi ketahanan aus alat potong. Selain itu, gesekan yang lebih tinggi pada kecepatan spindel yang lebih besar meningkatkan kemungkinan terbentuknya *built-up edge* (penumpukan material pada ujung pahat), yang dapat mempengaruhi kestabilan pemotongan dan mempercepat keausan.

3. Kondisi Keausan Ektrem dan Optimal

Berdasarkan pengujian, keausan terbesar terjadi pada kecepatan spindel 155 rpm dengan waktu potong 15 menit. Kombinasi ini menunjukkan kondisi pemessinan yang paling agresif, di mana peningkatan kecepatan putaran spindel dan durasi pemotongan menyebabkan akumulasi panas yang signifikan dan tekanan pemotongan yang lebih tinggi, sehingga mempercepat degradasi alat potong. Sebaliknya, keausan paling kecil tercatat pada kecepatan spindel 110 rpm dengan waktu potong 5 menit. Kondisi ini

mencerminkan parameter pemessinan yang lebih ringan, dengan gaya pemotongan dan suhu yang lebih rendah, sehingga memperlambat proses keausan dan memperpanjang umur pakai alat potong.

Uji T

Uji-t berpasangan (paired t-test) adalah salah satu metode pengujian hipotesis dimana data yang digunakan tidak bebas (berpasangan). Ciri-ciri yang paling sering ditemui pada kasus yang berpasangan adalah satu individu (objek penelitian) mendapat 2 buah perlakuan yang berbeda. Walaupun menggunakan individu yang sama, peneliti tetap memperoleh 2 macam data sampel, yaitu data dari perlakuan pertama dan data dari perlakuan kedua (Montolalu C & Langi Y, 2018).

Penelitian ini menggunakan software SPSS (*Statistical Package for the Social Sciences*). SPSS adalah sebuah program aplikasi yang memiliki kemampuan analisis statistik cukup tinggi serta sistem manajemen data pada lingkungan grafis dengan menggunakan menu- menu deskriptif dan kotak-kotak dialog yang sederhana sehingga mudah untuk dipahami cara pengoperasiannya.

Table 4. 3 Table Uji T

	TINGKAT SIGNIFIKANSI							
df								
dua sisi	20%	10%	5%	2%	1%	0.2%	0.1%	
satu sisi	10%	5%	2.5%	1%	0.5%	0.1%	0.05%	
1	3,078	6,314	12,706	31,821	63,657	318,309	636,619	
2	1,886	2,920	4,303	6,965	9,925	22,327	31,599	
3	1,638	2,353	3,182	4,541	5,841	10,215	12,924	
4	1,533	2,132	2,776	3,747	4,604	7,173	8,610	
5	1,476	2,015	2,571	3,365	4,032	5,893	6,869	
6	1,440	1,943	2,447	3,143	3,707	5,208	5,959	
7	1,415	1,895	2,365	2,998	3,499	4,785	5,408	
8	1,397	1,860	2,306	2,896	3,355	4,501	5,041	
9	1,383	1,833	2,262	2,821	3,250	4,297	4,781	
10	1,372	1,812	2,228	2,764	3,169	4,144	4,567	

Analisis Uji T Keusan Pahat

Paired Samples Statistics				
	Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1: Kecepatan Spindel 110	760.5420	3	296.10891	176.95394
Kecepatan Spindel 155	899.0577	3	255.73217	147.64704

Gambar 4. 2 Paired Simple Statistic Keausan Rpm 110 dan Rpm 155

Paired Samples Correlations			
	N	Correlation	Sig.
Pair 1: Kecepatan Spindel 110 & Kecepatan Spindel 155	3	.976	.140

Gambar 4. 3 Paired Sample Corelasyon dari kedua Variable

Pada gambar 4.2 terdapat perbedaan deskriptif nilai dimana pada uji spesimen di variable penggunaan kecepatan pada spindel dengan 110 Rpm waktu 5,10,15 menit memiliki nilai rata rata rendah sebesar 760.5420 μm dengan standart deviasi tinggi sebesar 296.10091 μm , sedangkan

pada variable penggunaan kecepatan spindel 155 *Rpm* waktu 5,10,15 menit memiliki nilai rata rata tinggi sebesar 890.0577 μm dengan standart deviasi rendah sebesar 255.73217 μm .

Pada Gambar 4.3 dapat disimpulkan bahwa apakah hubungan korelasi antara kedua variable tersebut melalui korelasi (*person product moment*) . Maka dari itu diketahui nilai signifikasi sebesar 0.140 artinya nilai ini lebih besar dari nilai utama Uji T 0.05 , sebagaimana dasar pengambilan keputusan uji korelasi karena nilai signifikasi lebih besar dari 0.05 maka indikasinya adalah t ada hubungan antara kedua variable tersebut.

Hipotesis :

H_0 : Jika nilai Sig. (2-tailed) < 0.05, maka tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara penggunaan data variable uji kecepatan spindel *Rpm* 110 waktu 5,10,15 Menit dan *Rpm* 155 waktu 5,10,15 Menit.

H_1 : Jika nilai Sig. (2-tailed) > 0.05, maka terdapat perbedaan yang signifikan antara penggunaan data variable uji kecepatan spindel *Rpm* 110 waktu 5,10,15 Menit dan *Rpm* 155 waktu 5,10,15 Menit.

Maka, diketahui bahwa nilai Sig. (2-tailed) sebesar 0.091 > 0.05, maka kita dapat simpulkan bahwa ada perbedaan yang nyata dari hasil uji variable antara uji kecepatan spindel *Rpm* 110 dan *Rpm* 155 pada variable waktu 5,10 dan 15 menit.

Data Visual

Berdasarkan pola yang terlihat dalam grafik, keausan pahat secara umum menunjukkan tren peningkatan seiring bertambahnya waktu potong. Hal ini konsisten dengan teori keausan yang menyatakan bahwa proses keausan bersifat kumulatif, di mana semakin lama alat potong bersentuhan dengan benda kerja, semakin besar degradasi material yang terjadi pada ujung potongnya. Dengan bertambahnya durasi pemesinan, gesekan antara pahat dan benda kerja semakin tinggi, sehingga meningkatkan laju keausan akibat mekanisme abrasi, adhesi, dan difusi termal. Selain itu, semakin lama waktu potong, semakin tinggi akumulasi panas pada alat potong, yang dapat menyebabkan pelunakan material pahat dan mempercepat keausan.

Data Numerik Kekasaran Permukaan

Pada tabel 4.3 menampilkan distribusi nilai kekasaran permukaan pada material baja S45C.

Waktu Potong (min)	5 Menit	10 Menit	15 Menit
Spindel Speed (rpm)	Ra (μm)	Ra (μm)	Ra (μm)
110	2,219	2,167	4,901
	2,594	2,765	4,394
	2,219	3,070	3,384
Rata Rata	Rata-rata	Rata-rata	Rata-rata
155	4,756	3,124	3,239
	2,963	2,850	4,611
	4,708	3,175	2,933
Rata Rata	Rata-rata	Rata-rata	Rata-rata

Table 4. 4 Tabel Hasil Uji Kekasaran Permukaan
Keterangan:

Nilai rata-rata kekasaran permukaan pada material baja S45C pada pembubutan menggunakan parameter kecepatan putaran spindel sebesar 110 *Rpm* dan waktu 5 menit dengan metode silindris, dapat diketahui melalui persamaan sebagai berikut:

$$Ra = \frac{Ra1+Ra2+Ra3}{3}$$

$$Ra = \frac{2,219+2,594+2,219}{3}$$

$$\bar{Ra} = 2,344 \mu\text{m}$$

Nilai rata-rata kekasaran permukaan pada material baja S45C pada pembubutan menggunakan parameter kecepatan putaran spindel sebesar 110 *Rpm* dan waktu 10 menit dengan metode silindris, dapat diketahui melalui persamaan sebagai berikut:

$$Ra = \frac{Ra1+Ra2+Ra3}{3}$$

$$Ra = \frac{2,167+2,765+5,070}{3}$$

$$\bar{Ra} = 3,334 \mu\text{m}$$

Nilai rata-rata kekasaran permukaan pada material baja S45C pada pembubutan menggunakan parameter kecepatan putaran spindel sebesar 110 *Rpm* dan waktu 15 menit dengan metode silindris, dapat diketahui melalui persamaan sebagai berikut:

$$Ra = \frac{Ra1+Ra2+Ra3}{3}$$

$$Ra = \frac{4,901+4,394+5,384}{3}$$

$$\bar{Ra} = 4,893 \mu\text{m}$$

Nilai rata-rata kekasaran permukaan pada material baja S45C pada pembubutan menggunakan parameter kecepatan putaran spindel sebesar 155 *Rpm* dan waktu 5 menit dengan metode silindris, dapat diketahui melalui persamaan sebagai berikut:

$$Ra = \frac{Ra1+Ra2+Ra3}{3}$$

$$Ra = \frac{4,756+2,963+4,708}{3}$$

$$\bar{Ra} = 4,142 \mu\text{m}$$

Nilai rata-rata kekasaran permukaan pada material baja S45C pada pembubutan menggunakan parameter kecepatan putaran spindel sebesar 155 *Rpm* dan waktu 10 menit dengan metode silindris, dapat diketahui melalui persamaan sebagai berikut:

$$Ra = \frac{Ra1+Ra2+Ra3}{3}$$

$$Ra = \frac{3,124+2,850+3,175}{3}$$

$$\bar{Ra} = 3,049 \mu m$$

Nilai rata-rata kekasaran permukaan pada material baja S45C pada pembubutan menggunakan parameter kecepatan putaran spindle sebesar 155 *Rpm* dan waktu 15 menit dengan metode silindris, dapat diketahui melalui persamaan sebagai berikut:

$$Ra = \frac{Ra1+Ra2+Ra3}{3}$$

$$Ra = \frac{5,239+4,611+2,953}{3}$$

$$\bar{Ra} = 4,267 \mu m$$

Table 4. 5 Tabel Rata-rata Hasil Uji Kekasaran Permukaan

Waktu Potong (min)	5 Menit	10 Menit	15 Menit
Spindel Speed (rpm)	Ra (μm)	Ra (μm)	Ra (μm)
110	2,219	2,167	4,901
	2,594	2,763	4,194
	2,219	3,070	3,384
Rata Rata	2,344	3,334	4,893
155	4,756	3,124	5,239
	2,963	2,850	4,621
	4,708	3,175	2,953
Rata Rata	4,142	3,049	4,267

Diagram 4. 4 Kekasaran Permukaan Kecepatan Spindel 110



Pada gambar 4.4 dapat dilihat bahwa nilai kekasaran permukaan (*Ra*) terbaik dengan kecepatan spindle ini terdapat pada waktu tertinggi yaitu 15 menit dengan hasil 4,893 μm . Nilai kekasaran pada waktu 5 menit menjadi yang terendah dengan hasil 2,344 μm , sedangkan nilai kekasaran pada waktu 10 menit menjadi nilai tengah di antara keduanya diatas dengan hasil 3,334 μm .



Diagram 4. 5 Kekasaran Permukaan Kecepatan Spindel 155

Pada gambar 4.4 dapat dilihat bahwa nilai kekasaran permukaan (*Ra*) terbaik dengan kecepatan spindle ini terdapat pada waktu tertinggi yaitu 15 menit dengan hasil 4,267 μm . Nilai kekasaran pada waktu 10 menit menjadi yang terendah dengan hasil 3,094 μm , sedangkan nilai kekasaran pada waktu 5 menit menjadi nilai tengah di antara keduanya diatas dengan hasil 4,142 μm .

Dengan memahami bagaimana variasi kecepatan spindle dan waktu potong mempengaruhi baik keausan alat maupun kekasaran permukaan, penelitian ini dapat membantu dalam merancang strategi pemesinan yang lebih optimal. Pengendalian parameter pemesinan yang tepat tidak hanya dapat memperpanjang umur alat potong, tetapi juga meningkatkan kualitas permukaan benda kerja, yang pada akhirnya berkontribusi pada efisiensi dan efektivitas proses manufaktur secara keseluruhan. Dalam industri yang mengutamakan presisi dan ketahanan material, pemahaman yang lebih mendalam mengenai interaksi antara keausan alat potong dan kekasaran permukaan dapat menjadi langkah penting dalam meningkatkan kinerja dan keandalan produk akhir.



Diagram 4. 6 Grafik Scatter Kekasaran Kecepatan Spindel 110 dan 155 Rpm Variasi Waktu 5, 10, 15 Menit

Pada gambar 4.6 perbeaan nilai kekasaran permukaan pada kecepatan spindle 100 *Rpm* menggunakan pahat insert karbida DCMT 070204EN dan material baja S45C dengan waktu 5 menit sebesar

2,344 μm , waktu 10 menit sebesar 3,334 μm , waktu 15 menit sebesar 4,893 μm , sedangkan pada kecepatan spindel 155 menggunakan pahat insert karbida DCMT 070204EN dan material baja S45C dengan waktu 5 menit sebesar 4,142 μm , waktu 10 menit sebesar 3,094 μm , waktu 15 menit sebesar 4,267 μm . Berdasarkan grafik diagram 4.6 di atas pada berbagai kombinasi parameter, dapat dilihat bahwa kekasaran permukaan (R_a) dipengaruhi oleh waktu potong dan kecepatan spindel. Pada waktu potong 5 menit, kecepatan spindel 110 menghasilkan nilai R_a yang lebih rendah yaitu 2,334 μm dan konsisten dibandingkan dengan kecepatan 155, yang menunjukkan nilai R_a lebih tinggi dan lebih bervariasi yaitu 4,142 μm .

Hal ini mengindikasikan bahwa pada durasi pemotongan yang lebih singkat, kecepatan spindel yang lebih tinggi cenderung meningkatkan kekasaran permukaan. Sementara itu, pada waktu potong 10 menit, kecepatan spindel 110 menunjukkan distribusi nilai R_a yang lebih lebar dengan variasi yang cukup besar, sedangkan kecepatan spindel 155 menghasilkan distribusi yang lebih stabil dengan nilai R_a yang lebih terkonsentrasi dalam rentang yang lebih sempit.

Pada waktu potong 15 menit, baik kecepatan spindel 110 maupun 155 menunjukkan peningkatan nilai R_a , tetapi kecepatan spindel 155 memiliki rentang distribusi yang lebih besar, menandakan bahwa variasi kekasaran permukaan lebih tinggi dibandingkan kecepatan spindel 110. Dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa kekasaran permukaan (R_a) cenderung meningkat seiring dengan bertambahnya waktu potong, yang kemungkinan disebabkan oleh efek keausan alat potong yang semakin meningkat.

Selain itu, kecepatan spindel yang lebih tinggi (155) cenderung menghasilkan kekasaran yang lebih besar dalam beberapa kondisi, yang dapat dikaitkan dengan efek panas yang lebih tinggi serta gaya potong yang lebih besar, yang menyebabkan permukaan benda kerja menjadi lebih kasar. Oleh karena itu, dalam proses pemesinan, pemilihan parameter yang optimal menjadi sangat penting untuk mencapai kekasaran permukaan yang diinginkan. lebih stabil dan sesuai dengan spesifikasi yang diharapkan.

Grafik hasil pengujian menunjukkan bahwa parameter kecepatan spindel dan waktu potong berpengaruh terhadap nilai kekasaran permukaan (R_a , R_z , R_q , dan R_t). Dari analisis yang dilakukan:

- a. Pada kecepatan spindel yang lebih tinggi (155 rpm), nilai kekasaran permukaan cenderung lebih besar dibandingkan dengan kecepatan spindel yang lebih rendah (110 rpm). Hal ini dapat disebabkan oleh meningkatnya gaya potong dan efek termal pada permukaan benda kerja.

- b. Semakin lama waktu potong, nilai kekasaran permukaan cenderung meningkat. Hal ini menunjukkan bahwa degradasi alat potong akibat gesekan yang terus menerus mengakibatkan permukaan benda kerja menjadi lebih kasar.
- c. Pada parameter kecepatan spindel 110 rpm dan waktu potong 5 menit, kekasaran permukaan masih dalam kategori rendah. Namun, pada waktu potong yang lebih lama, terutama 15 menit, terjadi peningkatan kekasaran yang signifikan.
- d. Pada kecepatan spindel 155 rpm, variasi kekasaran permukaan lebih besar dibandingkan dengan 110 rpm. Ini menunjukkan bahwa pada kecepatan yang lebih tinggi, variasi kekasaran menjadi lebih tidak stabil.

Analisis Uji Anova Kekasaran Permukaan

Setelah dilakukan pengujian keausan menggunakan microscope dan *software* Dino-Lite selanjutnya dilakukan uji anova pada kekasaran permukaan dan melakukan perhitungan statistik menggunakan *Analysis of Variance* (ANOVA) dua arah sebagai berikut :

1. Menentukan formulasi hipotesis.
 - a. $H_0: \alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = 0$
 H_1 : sekurang-kurangnya satu α_i tidak sama dengan nol.
 - b. $H_0: \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = 0$
 H_1 : sekurang-kurangnya satu β_j tidak sama dengan nol.
 - c. $H_0: (\alpha\beta)_{11} = (\alpha\beta)_{12} = (\alpha\beta)_{13} = (\alpha\beta)_{21} = (\alpha\beta)_{22} = (\alpha\beta)_{23} = (\alpha\beta)_{31} = (\alpha\beta)_{32} = (\alpha\beta)_{33} = 0$
 H_1 : sekurang-kurangnya satu $(\alpha\beta)_{ij}$ tidak sama dengan nol.
2. Menentukan taraf signifikansi (α) beserta F tabel
 $\alpha = 5\% = 0.05$
 - d. Untuk baris (v_1) = 1; (v_2) = $2 \times 3 \times (3 - 1) = 18$; $F_{0.05} = 0.35$
 - e. Untuk kolom (v_1) = 2; (v_2) = $2 \times 3 \times (3 - 1) = 18$; $F_{0.05} = 4.49$
 - f. Untuk interaksi (v_1) = 2; (v_2) = $2 \times 3 \times (3 - 1) = 18$; $F_{0.05} = 3.68$
3. Menentukan kriteria pengujian.
 - g. H_0 : diterima apabila F hitung ≤ 4.49
 H_0 : ditolak apabila F hitung > 4.49
 - h. H_0 : diterima apabila F hitung ≤ 4.49
 H_0 : ditolak apabila F hitung > 4.49
 - i. H_0 : diterima apabila F hitung ≤ 3.68
 H_0 : ditolak apabila F hitung > 3.68

Table 4. 6 Perhitungan Data Kekasaran untuk Uji Anova (μm)

Waktu Potong (min)	5 Menit Ra (μm)	10 Menit Ra (μm)	15 Menit Ra (μm)	Total
110 Rpm	2.219	2.167	4.901	31.713
	2.594	2.765	4.394	
	2.219	5.070	5.384	
155 Rpm	4.756	3.124	5.239	34.379
	2.963	2.850	4.611	
	4.708	3.175	2.953	
Total	19.459	19.151	27.482	66.092

Perhitungan Uji Hipotesis ANOVA

- $\frac{T^2}{bkn} = \frac{66.092^2}{18} = 242.6751$
- $\sum_{i=1}^n \frac{1}{k} \times \sum_{j=1}^J \frac{1}{k} \times \sum_{k=1}^K \frac{1}{k} \times X_{ijk}^2 = 2.219^2 + 2.594^2 + 2.219^2 + 2.167^2 + 2.765^2 + 5.070^2 + 4.901^2 + 4.394^2 + 5.384^2 + 4.756^2 + 2.963^2 + 4.708^2 + 3.124^2 + 2.850^2 + 3.175^2 + 5.239^2 + 4.611^2 + 2.953^2 = 265.8926$
- $\frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K X_{ijk}^2}{n} = ((2.219 + 2.594 + 2.219)^2 + (2.167 + 2.765 + 5.070)^2 + (4.901 + 4.394 + 5.384)^2 + (4.756 + 2.963 + 4.708)^2 + (3.124 + 2.850 + 3.175)^2 + (5.239 + 4.611 + 2.953)^2) / 3 = 255.671$
- Jumlah Kuadrat Total (JKT)

$$JKT = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K X_{ijk}^2 - \frac{T^2}{bkn}$$

$$= 265.8926 - 242.6751$$

$$= 23.21745$$
- Jumlah Kuadrat Baris (JKB)

$$JKB = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^J T_{ij}^2}{kn} - \frac{T^2}{bkn}$$

$$= \frac{31.713^2 + 34.379^2}{9} - 242.6751$$

$$= 243.07 - 242.6751$$

$$= 0.394864$$
- Jumlah Kuadrat Kolom (JKK)

$$JKK = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^J T_{ij}^2}{bn} - \frac{T^2}{bkn}$$

$$= \frac{31.713^2 + 34.379^2 + 34.379^2}{6} - 242.6751$$

$$= 250.1123 - 242.6751$$

$$= 7.437164$$
- Jumlah Kuadrat Interaksi (JKI)

$$JKI = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K X_{ijk}^2}{n} - \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^J T_{ij}^2}{kn} - \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^J T_{ij}^2}{bn} + \frac{T^2}{bkn}$$

$$= 255.671 - 243.07 - 250.1123 + 242.6751$$

$$= 5.163971$$
- Jumlah Kuadrat Error (JKE)

$$JKE = JKT - JKB - JKK - JKI$$

$$= 23.21745 - 0.394864 - 7.437164 - 5.163971$$

$$= 10.22145$$

Table 4. 7 Hasil Perhitungan Uji Anova

Sumber Varian	Jumlah Kuadrat	Derajat Bebas	Rata-rata Kuadrat	F Hitung	F Tabel
Kecepatan Spindel	0.394864	1	0.394864	0.464	4.49
Waktu Potong	7.437164	2	3.718582	4.366	3.68
Interaksi	5.163971	2	2.581985	3.031	3.68
Error	10.22145	12	85.17875		
Total	23.21745	17			

Kesimpulan :

- F Hitung = 0.464 < F_{0.05} 4.49 artinya H₀ diterima. Maka tidak terdapat adanya pengaruh yang signifikan pada variasi kecepatan spindel terhadap kekasaran permukaan pada material baja S45C yang sudah mengalami pembubutan. Kasus ini disebabkan oleh data kekasaran yang diperoleh tidak berbanding secara linier dengan perubahan variasi pada kecepatan spindel dari 110 Rpm ke 155 Rpm, seperti yang sudah tertera pada Diagram 4.6 Grafik Linier Hasil Uji Kekasaran Permukaan.
- F hitung = 4.366 > F_{0.05} 3.68 artinya H₀ ditolak. Maka terdapat adanya pengaruh yang signifikan pada variasi waktu potong yang dihasilkan proses pemessinan terhadap kekasaran permukaan baja S45C yang sudah mengalami pembubutan.
- F hitung = 3.031 > F_{0.05} 3.68 artinya H₀ diterima. Maka tidak terdapat adanya interaksi antara variasi kecepatan spindel dan waktu potong yang dihasilkan proses pemessinan dalam mempengaruhi kekasaran permukaan.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan mengenai pengaruh variasi kecepatan spindel dan waktu potong terhadap keausan alat potong dalam proses pembubutan material baja S45C, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- Pengaruh Kecepatan Spindel terhadap Keausan Pahat. Dari hasil pengujian, keausan pahat pada kecepatan spindel 155 rpm lebih besar dibandingkan kecepatan spindel 110 rpm dalam semua variasi waktu potong yang digunakan.
- Pengaruh Waktu Potong terhadap Keausan Pahat. Waktu potong yang lebih lama menyebabkan gesekan yang lebih banyak antara pahat dan benda kerja, sehingga meningkatkan keausan pahat secara signifikan.
- Interaksi Antara Kecepatan Spindel dan Waktu Potong. Analisis Two-Way ANOVA menunjukkan bahwa baik kecepatan spindel maupun waktu potong memiliki pengaruh yang

signifikan terhadap keausan alat potong. Namun, waktu potong memiliki pengaruh yang lebih dominan dibandingkan kecepatan spindle terhadap tingkat keausan pahat.

4. Pengaruh Parameter Pemesinan terhadap Kekasaran Permukaan. Kecepatan spindle yang lebih tinggi meningkatkan suhu pemotongan, yang dapat menyebabkan deformasi material dan memperburuk kualitas permukaan benda kerja.
5. Keausan Pahat dan Kekasaran Permukaan. Keausan pahat yang terjadi akibat gaya gesek, suhu tinggi, dan interaksi mekanis antara alat potong dan benda kerja menyebabkan degradasi ketajaman pahat. Hal ini terbukti dari peningkatan nilai kekasaran permukaan (Ra) seiring dengan bertambahnya keausan pahat.
6. Optimasi Parameter Pemesinan. Berdasarkan hasil penelitian ini, kombinasi kecepatan spindle 110 rpm dan waktu potong 5 menit menghasilkan tingkat keausan pahat yang paling rendah dan kualitas permukaan yang lebih baik.

REFERENSI

1. Anshori, M., Hartono, P., & Lesmanah, U. (2019). Analisis Perbandingan Kekasaran Permukaan Pada Proses Turning. *Jurnal Teknik Mesin*, 11 (01), Hal 1-6.
2. Asbullah, A. (2023). Perencanaan Sistem Kerja Roda Gigi Mesin Bubut dengan Jarak Titik Senter 2000 MM (Doctoral dissertation, Universitas Tjut Nyak Dhien), 16-22.
3. Dorlin, T., Fromentin, G., Costes, J. P., & Karaouni, H. (2016, October). Mechanistic cutting force model including the stress state induced by the chip flow contribution for cylindrical turning on Ti6Al4V alloy with two different nose radii. In *13th International Conference on High Speed Machining*, 1-7.
4. Handoko, E. D., & Bayuseno, A. P. (2012). Analisis Korosi Erosi pada Baja Karbon Rendah dan Baja Karbon Sedang Akibat Aliran Air Laut (Doctoral dissertation, Mechanical Engineering Departement, Faculty Engineering of Diponegoro University), 1-27.
5. Johan, C. (2020). Optimasi Umur Pahat Pada Proses Pembubutan Baja ST 42. *Journal Dynamic Saint*, 5(2), 968-972.
6. Kida, K., Ishida, M., Furuse, M., Mizobe, K., & Santos, E. C. (2016). Effect of plastic deformation on magnetic fields around fatigue crack tips
7. Montolalu, C., & Langi, Y. (2018). Pengaruh pelatihan dasar komputer dan teknologi informasi bagi guru-guru dengan uji-t berpasangan (paired sample t-test). *d'Cartesian: Jurnal Matematika dan Aplikasi*, 7(1), 44-46.
8. Purnomo, A. (2021). Analisis Gaya Potong Pada Pembubutan Baja AISI 1018 Dengan Metode Elemen Hingga (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember), 1- 148.
9. Rochim, T. (1993). Teori dan Teknologi Proses Pemesinan. Jakarta: Laboratorium Teknik Produksi.
10. Rosandi, A., Sumbodo, W., Yudiono, H., & Kriswanto, K. (2021). Analisis Variasi Kecepatan Potong Dan Kedalaman Potong Terhadap Nilai Kekasaran Permukaan Dan Getaran Pada Pembubutan Silindris Material Baja ST 60. *Jurnal Inovasi Mesin*, 3(1), 1-12.
11. Salam, A., Sonda, L., & Herianto, A. (2015). Optimasi Keausan Pahat Pada Proses Penggurdian Benda Kerja Silindris. *Jurnal Teknik Mesin Sinergi*, 13(2), 131-144.
12. Sugiyono. (2006). Statistika Untuk Penelitian. Bandung: CV ALFABETA.
13. Yusuf, M., Helmy, P., & Darmanto, D. (2020). Analisis Pengaruh Suhu Tempering Pada Baja S50c Hasil Pengerasan Permukaan Terhadap Struktur Mikro Dan Sifat Mekanik (Doctoral dissertation, Universitas Wahid Hasyim), 1-48.