

PENGARUH KECEPATAN POTONG DAN SUDUT POTONG UTAMA TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN PADA PEMBUBUTAN BAJA ST60 MENGUNAKAN MATA PAHAT BUBUT INSERT

M. Ali Sukron *¹
Razali ²

^{1,2} Politeknik Negeri Bengkalis

*e-mail: asukron898@gmail.com , razali@polbeng.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi kecepatan spindle, jenis pendingin, sudut tool holder, dan gerak makan terhadap kekasaran permukaan baja karbon St60 dalam proses pembubutan. Percobaan dilakukan dengan menggunakan mesin bubut pada variasi kecepatan spindle 325 rpm, 500 rpm, dan 813 rpm, serta pendingin udara, cutting oil, dan air. Variasi sudut tool holder yang digunakan adalah 10°, 15°, dan 20°, sedangkan variasi gerak makan yang diterapkan adalah 0.19 mm/put, 0.23 mm/put, dan 0.29 mm/put dengan kedalaman potong 2 mm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kecepatan spindle yang lebih tinggi menghasilkan permukaan yang lebih halus. Penggunaan cutting oil sebagai pendingin memberikan hasil kekasaran permukaan yang lebih rendah dibandingkan pendingin udara dan air. Sudut tool holder dan gerak makan juga berpengaruh terhadap hasil kekasaran permukaan, dimana sudut tool holder 20° dan gerak makan 0.23 mm/put menghasilkan permukaan yang paling halus. Nilai kekasaran permukaan terendah yang dicapai adalah 1.96 µm pada kecepatan spindle 500 rpm, pendingin udara, sudut tool holder 20°, dan gerak makan 0.23 mm/put.

Kata kunci: Baja Karbon st60; Gerak Makan; Kekasaran Permukaan; Kecepatan Spindle; Pembubutan; Pendingin; Sudut Tool Holder

Abstract

This research aims to analyze the effect of variations in spindle speed, type of coolant, tool holder angle, and feed motion on the surface roughness of St60 carbon steel in the turning process. Experiments were carried out using a lathe at various spindle speeds of 325 rpm, 500 rpm and 813 rpm, as well as air, cutting oil and water cooling. The tool holder angle variations used are 10°, 15°, and 20°, while the variations in feed motion applied are 0.19 mm/put, 0.23 mm/put, and 0.29 mm/put with a cutting depth of 2 mm. The research results show that a higher spindle speed produces a smoother surface. The use of cutting oil as a coolant produces lower surface roughness compared to air and water cooling. The tool holder angle and feeding motion also influence the surface roughness results, where the tool holder angle of 20° and the feeding motion of 0.23 mm/put produce the smoothest surface. The lowest surface roughness value achieved was 1.96 µm at a spindle speed of 500 rpm, air cooling, tool holder angle of 20°, and feed motion of 0.23 mm/put.

Keywords: st60 Carbon Steel' Feed Motion; Surface; Spindle Speed; Roughness; Coolant; Tool Holder Angle

PENDAHULUAN

Proses manufaktur merupakan serangkaian teknik yang digunakan untuk mengubah bentuk material menjadi produk akhir dengan bentuk, ukuran, dan struktur tertentu. Bidang manufaktur sangat terkait erat dengan rekayasa teknik dan memiliki tujuan utama untuk menghasilkan komponen-komponen dari material tertentu dengan mempertimbangkan berbagai faktor, seperti bentuk, ukuran, dan struktur. Dalam hal ini, dunia permesinan memegang peranan penting dalam kemajuan teknologi.

Salah satu mesin yang vital dalam proses manufaktur adalah mesin bubut, yang digunakan untuk memotong benda kerja yang diputar. Mesin ini bekerja dengan cara memutar benda kerja yang kemudian dikenakan pada pahat yang bergerak secara translasi sejajar dengan sumbu putar benda

kerja. Kecepatan putaran spindel pada mesin bubut sangat berpengaruh terhadap kekasaran permukaan benda kerja. Menurut Abdillah (2022), semakin tinggi kecepatan putaran spindel, semakin halus hasil permukaan benda kerja. Hal ini menunjukkan bahwa kecepatan putaran mesin bubut memiliki kemampuan signifikan dalam menentukan kualitas akhir produk. Selain kecepatan putaran, kualitas hasil pembubutan juga dipengaruhi oleh berbagai faktor lainnya, termasuk gerak makan, jenis pendingin yang digunakan, dan sudut pada tool holder. Gerak makan adalah gerakan relatif antara pahat dan benda kerja yang memungkinkan pahat bergerak sepanjang permukaan benda kerja, menentukan jumlah material yang dihilangkan dalam satu kali lintasan pahat. Pendingin berfungsi untuk mengurangi panas, meningkatkan umur pahat, dan memperbaiki kualitas permukaan benda kerja. Pemilihan jenis pendingin dan metode aplikasinya harus sesuai dengan jenis material, jenis pahat, dan kondisi pemotongan untuk mencapai hasil yang optimal.

Sudut pada tool holder memainkan peranan penting dalam menentukan kinerja pahat dan hasil akhir pemotongan. Pengaturan sudut yang tepat, seperti sudut rake, clearance, oblique, nose radius, dan lead angle, sangat penting untuk menghasilkan kualitas permukaan yang baik, memperpanjang umur pahat, dan meningkatkan efisiensi pemotongan. Kekasaran permukaan yang baik sangat penting, terutama pada bagian yang mengalami kontak terus menerus, karena permukaan dengan kekasaran tinggi dapat menyebabkan gesekan tinggi dan keausan yang cepat (I Made Budi Suadyana dkk, 2022).

Faktor-faktor yang mempengaruhi tingkat kekasaran permukaan benda kerja pada mesin bubut meliputi kecepatan spindel, gerak makan, kedalaman pemakanan, kondisi mesin, bahan benda kerja, sudut pahat potong, material alat potong, pendinginan, kecepatan potong, dan operator (Yufriзал dkk, 2019). Untuk mencapai hasil pembubutan yang berkualitas tinggi, penting untuk mengatur dan mengoptimalkan semua faktor tersebut. Penelitian ini berfokus pada analisis pengaruh mata potong insert terhadap kualitas dan produktivitas proses bubut pada material logam St60. Penelitian ini akan menentukan kecepatan potong, jenis pendingin, sudut tool holder, dan gerak makan yang optimal untuk mencapai kualitas dan produktivitas yang maksimal dalam proses bubut.

METODE

Beberapa alat dan bahan yang digunakan penulis uraikan pada tabel berikut:

No	Kategori	Nama	Keterangan
1	Alat	Mesin Bubut	Mesin untuk pemesinan bubut, membentuk benda kerja menjadi berbagai bentuk.
2	Alat	Dial Indicator dan Dudukan	Alat pengukur presisi untuk perubahan kecil dalam dimensi/posisi objek, dengan dudukan stabil.
3	Alat	Jangka Sorong	Alat pengukur presisi untuk dimensi benda dengan ketelitian tinggi.
4	Alat	Alat Pengukur Kekasaran (<i>Roughness</i>)	Alat mengukur kekasaran permukaan benda kerja, dinyatakan dalam Ra (<i>Roughness Average</i>).
5	Alat	Alat Pengukur Kecepatan (<i>Tachometer</i>)	Alat mengukur perputaran mesin dalam satuan rpm (<i>rotation per minute</i>).
6	Alat	Kunci L	Alat untuk mengencangkan atau mengendurkan baut dengan lubang segi enam (heksagonal).
7	Alat	Kunci Chuck Bubut	Alat untuk mengendurkan dan menyetatkan kepala spindle pada mesin bubut.

8	Alat	Alat Pelindung Diri (APD)	Perlengkapan untuk melindungi tubuh dari risiko/bahaya selama bekerja. Terdiri dari kacamata safety, sarung tangan, pakaian pelindung, dan sepatu safety.
9	Alat	Kacamata Safety	Melindungi mata dari partikel mikro dan benda berbahaya.
10	Alat	Sarung Tangan	Melindungi tangan dari cedera saat bekerja dengan bahan tajam/panas.
11	Alat	Pakaian Pelindung	Melindungi tubuh dari suhu ekstrem, api, bahan kimia, cairan, logam panas, uap panas, radiasi, dan patogen.
12	Alat	Sepatu Safety	Mengurangi risiko kecelakaan kerja dengan melindungi kaki dari benda berat.
13	Bahan	Material Baja Karbon St60	Baja karbon sedang dengan grade carbon 0,3%-0,8%, sering digunakan pada komponen mesin seperti poros roda motor.
14	Bahan	Mata Pahat Insert	Bagian pahat yang dapat diganti, terbuat dari bahan keras seperti karbida atau keramik, untuk pembubutan logam.

Penelitian dilakukan melalui beberapa tahap, pertama yaitu tahap persiapan spesimen. Pada tahap ini terdapat 4 kegiatan yaitu persiapan pengaturan mesin bubut sesuai parameter, pembubutan, dan proses pengukuran. Tahap kedua yaitu pembentukan sampel. Penelitian ini juga menggunakan 81 jenis sampel yang dibubut dengan variasi kecepatan spindle (325 rpm, 500 rpm, 813 rpm), gerak makan (0,19 mm/put, 0,23 mm/put, 0,29 mm/put), sudut tool holder (10°, 15°, 20°), dan kedalaman 2 mm, dengan menggunakan pendingin udara, cutting oil, dan air. Setiap sampel berbeda karena pengaruh kecepatan spindle, gerak makan, pendingin, dan sudut potong saat pembubutan. Dan terakhir adalah pengujian. Tahapan pengujian kekasaran benda kerja meliputi: mempersiapkan alat uji kekasaran, mempersiapkan spesimen, melakukan uji kekasaran sesuai panduan alat, mengulang uji kekasaran sebanyak empat kali untuk memperoleh rata-rata tingkat kekasaran permukaan, dan mengolah data hasil pengujian oleh penulis.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini memperoleh data kekasaran permukaan baja karbon ST 60 pada berbagai perlakuan. Pengujian dilakukan di Laboratorium Uji Bahan Politeknik Negeri Bengkalis pada empat titik ukur tiap spesimen, kemudian dirata-ratakan. Proses pembubutan menggunakan mata pahat bubut insert dengan variasi kecepatan putaran mesin (325 rpm, 500 rpm, dan 813 rpm), pendingin (udara, cutting oil, dan air), sudut tool holder (10°, 15°, 20°), serta gerak makan (0,19 mm/put, 0,23 mm/put, 0,29 mm/put). Hasilnya menunjukkan pengaruh kecepatan potong, sudut tool holder, pendingin, dan gerak makan terhadap kekasaran permukaan benda kerja.

Setelah pembubutan dan pengujian, nilai kekasaran permukaan benda kerja diukur menggunakan Surface Roughness Tester.

A. Data Mentah Hasil Pengujian Kekasaran Permukaan

Guna membahas lebih lanjut, berikut terlebih dahulu peneliti sajikan data mentah hasil pengujian kekasaran permukaan.

Tabel 1. Data Mentah Hasil Pengujian Kekasaran Permukaan

No	Kecepatan spindle (rpm)	Kecepatan potong (m/min)	Pendingin	Sudut tool holder (der)	Gerakan makan (mm/put)	Kedalaman potong (mm)	Tingkat kekasaran permukaan (μm)				Tata-rata
							Ra 1	Ra 2	Ra 3	Ra 4	Total
1	325 rpm	19.38 m/min	udara	10°	0.19 mm/put	2 mm	16.1	16.56	15.7	15.67	16.00
2					0.23 mm/put	2 mm	15.7	14.5	14.65	15.3	15.03
3					0.29 mm/put	2 mm	15.6	14.1	15.35	15.1	15.03
4				15°	0.19 mm/put	2 mm	15.7	14.5	14.89	15.36	15.12
5					0.23 mm/put	2 mm	14.5	13.3	14.1	14.01	13.99
6					0.29 mm/put	2 mm	15.21	14.26	15.71	15.69	15.21
7				20°	0.19 mm/put	2 mm	14.57	14.58	15.21	15.8	15.04
8					0.23 mm/put	2 mm	11.49	12.1	11.5	11.25	11.58
9					0.29 mm/put	2 mm	12.29	12.76	12.36	13.1	12.62
10			cuting oil	10°	0.19 mm/put	2 mm	8.21	8.5	8.06	9	8.44
11					0.23 mm/put	2 mm	10.68	11.74	13.82	11.51	11.93
12					0.29 mm/put	2 mm	15.7	13	14.43	11.35	13.62
13				15°	0.19 mm/put	2 mm	8.96	7.13	9.05	10.82	8.99
14					0.23 mm/put	2 mm	13.47	9.36	11.12	11.65	11.4
15					0.29 mm/put	2 mm	10.46	11.53	11.42	12.55	11.49
16				20°	0.19 mm/put	2 mm	8.27	9.82	8.89	10.11	9.27
17					0.23 mm/put	2 mm	13.04	10.4	13.23	13.64	12.57
18					0.29 mm/put	2 mm	5.08	5.25	7.04	5.38	5.68
19			air	10°	0.19 mm/put	2 mm	12.35	13.1	12.5	12.1	12.51
20					0.23 mm/put	2 mm	10.25	12.55	11.26	11.1	11.29
21					0.29 mm/put	2 mm	9.26	8.66	10.1	9.59	9.40

No	Kecepatan spindle (rpm)	Kecepatan potong (m/min)	Pendingin	Sudut tool holder (der)	Gerakan makan (mm/put)	Kedalaman potong (mm)	Tingkat kekasaran permukaan (μm)				Tata-rata
							Ra 1	Ra 2	Ra 3	Ra 4	Total
22				15	0.19 mm/put	2 mm	12.26	13.11	13.46	12.31	12.78
23					0.23 mm/put	2 mm	14.26	13.56	13.5	12.35	13.41
24					0.29 mm/put	2 mm	12.1	13.56	13.5	12.35	12.87
25				20°	0.19 mm/put	2 mm	13.35	13.65	13.1	14.25	13.58
26					0.23 mm/put	2 mm	12.12	13.02	10.74	10.25	11.53
27					0.29 mm/put	2 mm	7.91	6.98	7.5	7.25	7.41
28	500 rpm	29.83 m/min	udara	10°	0.19 mm/put	2 mm	6.73	9.4	6.31	6.41	7.21
29					0.23 mm/put	2 mm	6.37	5.5	7.13	6.35	6.33
30					0.29 mm/put	2 mm	4.15	3.26	3.84	4	3.81
31				15°	0.19 mm/put	2 mm	3.66	2.34	3.58	2.6	3.04
32					0.23 mm/put	2 mm	3.53	2.67	3.37	4.49	3.51
33					0.29 mm/put	2 mm	2.72	4.23	4.48	2.71	3.53
34				20°	0.19 mm/put	2 mm	2.66	3.59	1.17	2.32	2.43
35					0.23 mm/put	2 mm	1.93	1.53	1.8	2.6	1.96
36					0.29 mm/put	2 mm	10.27	10.13	9.7	10.7	10.2
37			cuting oil	10°	0.19 mm/put	2 mm	8.1	9.3	8.35	8.5	8.56
38					0.23 mm/put	2 mm	6.95	7.64	7.1	7.5	7.29
39					0.29 mm/put	2 mm	8.48	8.27	9.2	8.31	8.56
40				15°	0.19 mm/put	2 mm	8.96	8.32	6.68	7.5	7.86
41					0.23 mm/put	2 mm	9.36	10.12	9.31	9.86	9.66
42					0.29 mm/put	2 mm	10.38	9.29	9.7	9.1	9.61

No	Kecepatan spindle (rpm)	Kecepatan potong (m/min)	Pendingin	Sudut tool holder (der)	Gerakan makan (mm/put)	Kedalaman potong (mm)	Tingkat kekasaran permukaan (μm)				Tata-rata
							Ra 1	Ra 2	Ra 3	Ra 4	Total
43				20°	0.19 mm/put	2 mm	7.99	7.31	8.83	9.21	8.33
44					0.23 mm/put	2 mm	5.52	8.35	6.89	7.25	7.00
45					0.29 mm/put	2 mm	9.72	11	12.15	11.35	11.05
46			air	10°	0.19 mm/put	2 mm	14.88	13.23	14.1	13.26	13.53
47					0.23 mm/put	2 mm	6.35	7.09	7.29	6.75	6.87
48					0.29 mm/put	2 mm	7.75	9.72	7.27	7.85	8.14
49				15°	0.19 mm/put	2 mm	7.97	7.44	7.21	7.71	7.58
50					0.23 mm/put	2 mm	7.31	6.8	7.78	6.3	7.04
51					0.29 mm/put	2 mm	7.7	8.1	8.53	7.82	8.03
52				20°	0.19 mm/put	2 mm	7.7	7.79	7.16	7.88	7.63
53					0.23 mm/put	2 mm	8.1	7.83	7.27	7.1	7.57
54					0.29 mm/put	2 mm	6.77	7.57	8.89	7.95	7.79
55			udara	10°	0.19 mm/put	2 mm	13.44	12.27	11.44	12.04	12.29
56					0.23 mm/put	2 mm	6.22	7.68	5.46	7.12	6.62
57					0.29 mm/put	2 mm	6.85	4.86	4.71	4.58	5.25
58				15°	0.19 mm/put	2 mm	6.48	2.85	6.26	5.08	5.16
59					0.23 mm/put	2 mm	4.85	3.16	4.52	2.77	3.82
60					0.29 mm/put	2 mm	6.31	6.34	3.71	6.94	5.82
61				20°	0.19 mm/put	2 mm	5.49	5.9	6.05	6.83	6.06
62					0.23 mm/put	2 mm	8.25	7.85	8.7	7.67	8.11
63					0.29 mm/put	2 mm	4.38	2.75	3.75	4.76	3.91

No	Kecepatan spindle (rpm)	Kecepatan potong (m/min)	Pendingin	Sudut tool holder (der)	Gerakan makan (mm/put)	Kedalaman potong (mm)	Tingkat kekasaran permukaan (μm)				Tata-rata
							Ra 1	Ra 2	Ra 3	Ra 4	Total
64	813 rpm	48.50 m/min	cutting oil	10°	0.19 mm/put	2 mm	5.5	7.46	6.38	7.15	6.62
65					0.23 mm/put	2 mm	2.82	2.4	2.54	2.82	2.64
66					0.29 mm/put	2 mm	4.51	3.82	3.63	3.09	3.76
67				15°	0.19 mm/put	2 mm	2.43	2.53	2.49	3.54	2.74
68					0.23 mm/put	2 mm	6.1	4.28	5.58	5.57	5.38
69					0.29 mm/put	2 mm	9.81	7.82	5.49	8.74	7.96
70				20°	0.19 mm/put	2 mm	10.9	11.8	12.7	11.6	11.7
71					0.23 mm/put	2 mm	6.97	6.96	7.04	8.85	7.45
72					0.29 mm/put	2 mm	3.53	4.51	5.41	2.93	4.09
73			air	10°	0.19 mm/put	2 mm	11.1		11.0		10.0
74					0.23 mm/put	2 mm	5	8.21	3	9.67	1
75					0.29 mm/put	2 mm	6.76	9.14	9.29	5.68	7.71
76				15°	0.19 mm/put	2 mm	7.08	9.63	12.2	7.64	9.13
77					0.19 mm/put	2 mm	6.66	6.76	5.42	6.17	6.25
78					0.23 mm/put	2 mm	6.71	6.38	7.52	7.27	6.97
79					0.29 mm/put	2 mm	7.25	7.94	7.32	5.9	7.10
80				20°	0.19 mm/put	2 mm	5.29	6.07	6.15	6.06	5.89
81					0.23 mm/put	2 mm	4.64	4.63	5.2	4.85	4.83
					0.29 mm/put	2 mm	3.37	4.57	7.03	4.47	4.86

Sumber: Olahan Peneliti, 2024

B. Hasil Pengukuran Kekasaran Baja Karbon St60

1. Perhitungan pertama kecepatan potong dengan putaran spindle 325 rpm

Diketahui : d 19 mm = n 325 rpm

$$Cs = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000}$$

$$\frac{3.14 \cdot 19 \cdot 325}{1000}$$

$$= 19.38 \text{ m/min}$$

2. Perhitungan pertama kecepatan potong dengan putaran spindle 500 rpm

Diketahui : d 19 mm = n 500 rpm

$$Cs = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000}$$

$$\frac{3.14 \cdot 19 \cdot 500}{1000}$$

$$= 29.83 \text{ m/min}$$

3. Perhitungan pertama kecepatan potong dengan putaran spindle 813 rpm

Diketahui : d 19 mm = n 813 rpm

$$Cs = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000}$$

$$\frac{3.14 \cdot 19 \cdot 813}{1000}$$

$$= 48.50 \text{ m/min}$$

C. Analisa Hasil Kekasaran

Analisa kekasaran permukaan pada baja karbon ST60 dilakukan dengan menggunakan aplikasi Minitab dan metode *ANOVA Three Way*. Variasi nilai kekasaran permukaan dipengaruhi oleh kecepatan spindle, pendingin, sudut tool holder, dan laju makan. Berikut disajikan hasil dari pengukuran kekasaran permukaan.

1. Analisa Kekasaran Permukaan

- *Factor Information*

Tabel 2. Factor Information

Factor	Type	Levels	Values
Kecepatan spindle	Fixed	3	325, 500, 813
Pendingin	Fixed	3	air, cutting oil, udara
Sudut tool holder	Fixed	3	10, 15, 20
Gerak makan	Fixed	3	0.19, 0.23, 0.29

(Sumber: Olahan data minitab)

Merujuk pada tabel 2 dapat diketahui bahwa eksperimen ini melibatkan empat faktor dengan nilai tetap yang digunakan, masing-masing memiliki beberapa tingkat atau variasi. Kecepatan spindle

memiliki tiga variasi (325, 500, 813), gerak makan memiliki tiga variasi (0.19, 0.23, 0.29), sudut tool holder memiliki tiga variasi (10, 15, 20), dan pendingin memiliki tiga variasi (udara, cutting oil, air).

- *Analysis of Variance*

Tabel 3. *Analysis of Variance* Kekasaran Permukaan

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Kecepatan spindle	2	524.77	262.386	38.61	0.000
Pendingin	2	6.33	3.164	0.47	0.630
sudut tool holder	2	15.31	7.656	1.13	0.330
Gerak makan	2	9.90	4.949	0.73	0.486
Error	72	489.31	6.796		
Total	80	1045.62			

(Sumber: Olahan data minitab)

Tabel 3 diatas menyajikan hasil analisis varians untuk memeriksa apakah terdapat perbedaan signifikan dalam kecepatan spindle, pendingin, sudut tool holder, dan gerak makan terhadap tingkat kekasaran permukaan. Berikut penjelasan setiap kolom dari tabel tersebut.

1. *Source* (Sumber): Menunjukkan sumber variasi, yaitu kecepatan spindle, pendingin, sudut tool holder, gerak makan, dan error. 'Total' adalah jumlah dari kelima sumber tersebut.
2. *DF (Degrees of Freedom)*: Derajat kebebasan untuk setiap sumber variansi.
3. *Adj SS (Adjusted Sum of Squares)*: Jumlah kuadrat yang disesuaikan untuk setiap sumber variansi.
4. *Adj MS (Adjusted Mean Square)*: Rata-rata kuadrat yang disesuaikan, dihitung dengan membagi Adj SS dengan DF.
5. *F-Value*: Rasio antara variabilitas yang dijelaskan oleh sumber variansi dan variabilitas yang dijelaskan oleh error.
6. *P-Value*: Probabilitas mendapatkan F-Value sebesar itu atau lebih ekstrem jika hipotesis nol benar. P-Value rendah (biasanya di bawah 0.05) menunjukkan bahwa faktor tersebut signifikan secara statistik.

Kemudian berikut penjelasan hasil dari table di atas berdasarkan nilai P-Value dari tabel ANOVA.

1. *Kecepatan Spindle*: P-Value = 0.000 (signifikan) Kecepatan spindle memiliki pengaruh yang signifikan terhadap variabel respon.
2. *Collant*: P-Value = 0.630 (tidak signifikan). Collant tidak memiliki pengaruh yang signifikan terhadap variable respon.
3. *Sudut Tool Holder*: P-Value = 0.330 (tidak signifikan). Sudut *tool holder* tidak memiliki pengaruh yang signifikan terhadap variable respon.
4. *Gerak Makan*: P-Value = 0.486 (tidak signifikan). Gerak makan tidak memiliki pengaruh yang signifikan terhadap variable respon.

- *Model Summary*

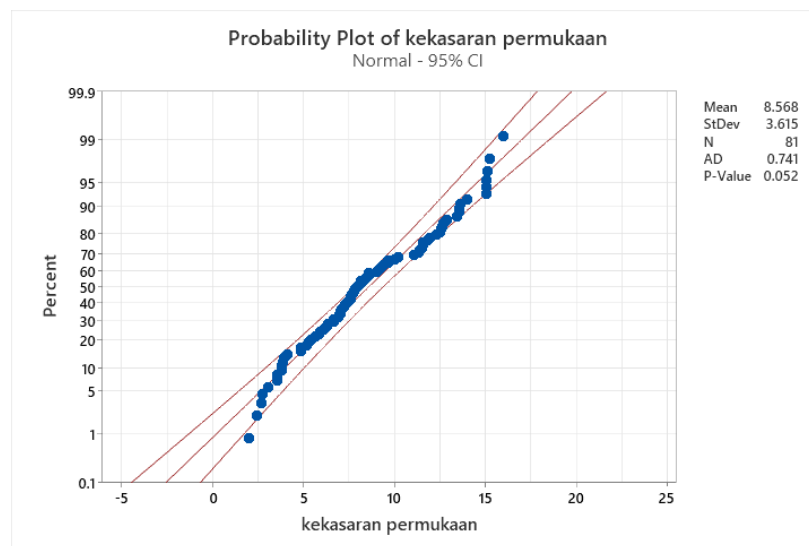
Tabel 4. Modal Summary Kekasaran Permukaan

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
2.60690	53.20%	48.00%	40.77%

(Sumber: Olahan Data Minitab)

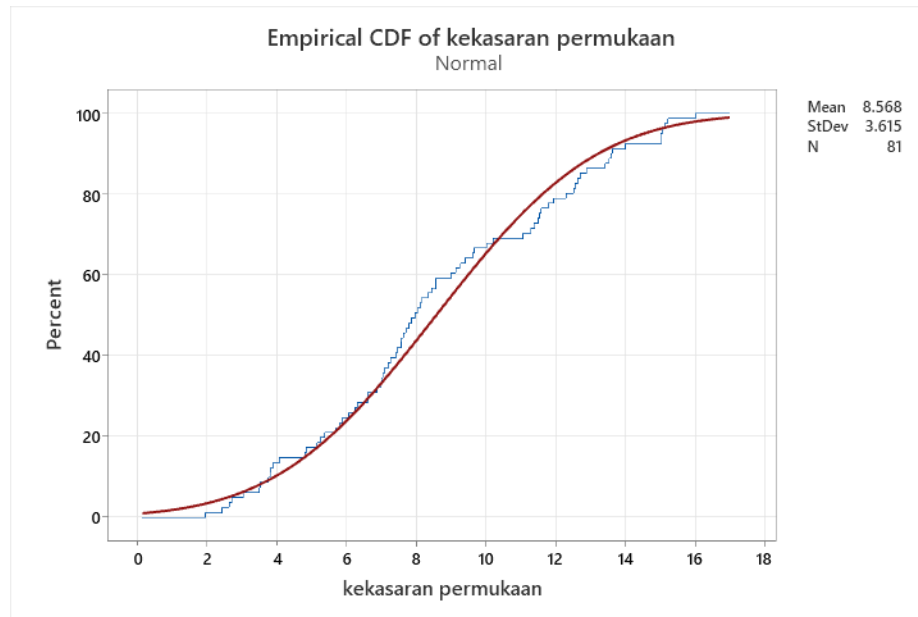
Berikut penjelasan dari tabel 4:

1. S (2.60690): Standar error dari regresi cukup tinggi, yang menunjukkan bahwa error residual dalam model cukup besar.
2. R-sq (53.20%): Model ini menjelaskan 53.20% dari variabilitas total dalam data respon. Semakin tinggi nilai R-sq semakin baik model menjelaskan data.
3. M model, sementara setengah lainnya tidak dijelaskan.
4. R-sq(adj) (48.00%): Setelah disesuaikan dengan jumlah prediktor, model ini menjelaskan 48.00% dari variabilitas data. Penurunan dari R-sq ke R-sq(adj) menunjukkan bahwa beberapa variabel prediktor mungkin tidak memberikan kontribusi yang signifikan atau model mungkin overfitting.
5. R-sq(pred) (40.77%): Model ini diharapkan menjelaskan sekitar 40.77% dari variabilitas data baru. Ini menunjukkan bahwa kemampuan prediktif model lebih rendah dibandingkan dengan kemampuan menjelaskan variabilitas data yang ada.



Gambar 3. Grafik *Probability Plot* Kekasaran Permukaan
Sumber: Olahan Data Minitab

Mengacu pada gambar 3, sisi kanan grafik menunjukkan nilai statistiknya. Grafik kekasaran permukaan ini memiliki nilai rata-rata 8.568, standar deviasi 3.615, dan AD (*Anderson-Darling Statistic*) 0.741, yang digunakan untuk mengukur kesesuaian data dengan distribusi normal. Nilai *P-Value* pada grafik ini adalah 0.052, lebih besar dari α . Sehingga dapat disimpulkan bahwa data kekasaran permukaan cenderung mengikuti distribusi normal. Meskipun terdapat beberapa penyimpangan kecil, secara keseluruhan data ini dapat dianggap normal, seperti yang ditunjukkan oleh grafik *Empirical CDF* berikut.



Gambar 4. Grafik *Empirical CDF* Kekasaran Permukaan
(Sumber: Olahan Data Minitab)

Makna pada gambar 4 di atas adalah sebagai berikut:

1. Garis biru berjenjang: *Empirical CDF*, menunjukkan persentase data yang kurang dari atau sama dengan nilai kekasaran permukaan tertentu.
2. Garis merah halus: *CDF* teoritis, diestimasi berdasarkan rata-rata dan standar deviasi data, yang menggambarkan distribusi normal yang diharapkan.

Berdasarkan gambar 4 tersebut juga diketahui nilai rata-rata kekasaran permukaan adalah 8.568 dengan standar deviasi 3.16 dan jumlah variabel 81. Kesimpulannya, data kekasaran permukaan umumnya sesuai dengan distribusi normal, meskipun terdapat deviasi besar antara nilai 6 hingga 12. Secara keseluruhan, data tersebut masih dianggap normal.

Response Table for Signal to Noise Ratios

Tabel 5. *Smaller is better*

Level	Kecepatan Spindle	Pendingin	Sudut Tool Holder	Gerak Makan
1	-21.46	-18.65	-18.49	-18.22
2	-16.35	-17.68	-17.49	-17.41
3	-15.48	-16.95	-17.30	-17.65
Delta	5.98	1.69	1.19	0.80
Rank	1	2	3	4

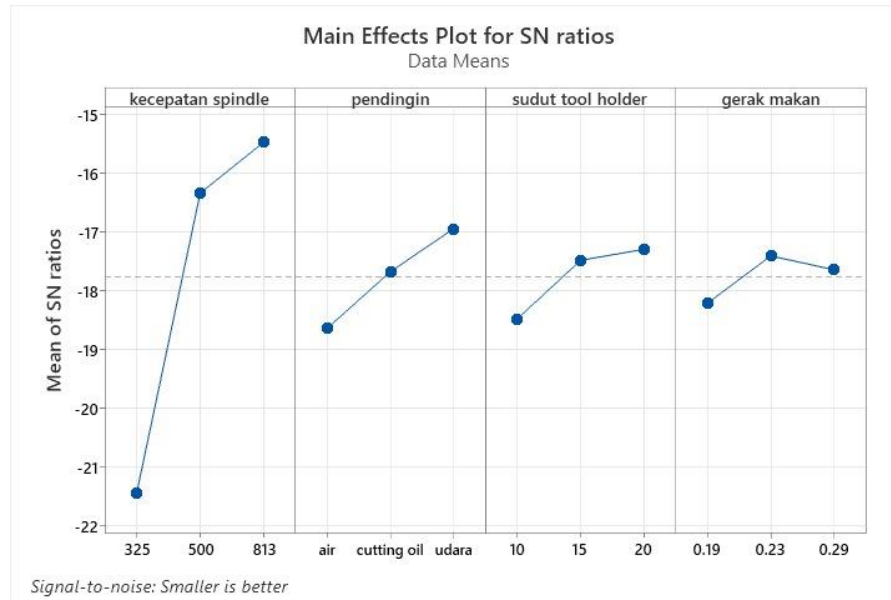
(Sumber: Olahan data minitab)

Tabel 5 di atas menganalisis pengaruh dari empat faktor terhadap tiga level berbeda dalam suatu proses, berikut uraiannya:

- a. Kecepatan Spindle adalah faktor yang paling berpengaruh terhadap proses yang dianalisis, dengan nilai delta terbesar sebesar 5.98.
- b. Collant adalah faktor kedua yang paling berpengaruh, dengan nilai delta sebesar 1.69.
- c. Sudut Tool Holder berada di peringkat ketiga dalam hal pengaruh, dengan nilai delta sebesar 1.19.

- d. Gerak Makan adalah faktor yang paling tidak berpengaruh, dengan nilai delta terkecil sebesar 0.80.

Secara keseluruhan, Kecepatan Spindle harus menjadi fokus utama dalam pengaturan proses ini karena memiliki pengaruh terbesar, sedangkan Gerak Makan memiliki pengaruh paling kecil dan bisa diatur dengan lebih fleksibel.



Gambar 5. *Signal to Noise Ratios*
(Sumber: Olahan minitab)

Grafik *Main Effects Plot for SN ratios* di atas menunjukkan pengaruh utama dari empat faktor terhadap rasio sinyal-ke-noise (SN ratio) dalam suatu proses.

- Kecepatan Spindle Terlihat peningkatan signifikan dalam SN ratio dari 325 hingga 813. Ini menunjukkan bahwa kecepatan spindle yang lebih tinggi mengurangi variasi atau noise dalam proses.
- Collant Terdapat peningkatan SN ratio ketika menggunakan cutting oil dibandingkan udara. Cutting oil lebih efektif dalam mengurangi noise.
- Sudut *Tool Holder* Perubahan sudut dari 10 ke 20 menunjukkan sedikit peningkatan dalam SN ratio, namun perubahan lebih lanjut ke 30 tidak memberikan peningkatan signifikan.
- Gerak Makan: Perubahan dalam gerak makan tidak menunjukkan perubahan besar dalam SN ratio, menunjukkan bahwa gerak makan memiliki pengaruh yang lebih kecil terhadap variasi atau noise dalam proses.

Secara keseluruhan, kecepatan spindle dan collant adalah faktor yang paling penting dalam mengurangi variasi atau noise dalam proses ini, sementara sudut *tool holder* dan gerak makan memiliki pengaruh yang lebih kecil.

2. Nilai Confidence Kekasaran Permukaan

- Kecepatan Spindle

Grouping Information Using Fisher LSD Method and 95% Confidence

Tabel 6. Information Using Fisher LSD Method and 95% Confidence

Kecepatan Spindle	N	Mean	Grouping	
325	27	12.1374	A	
500	27	7.1896		B
813	27	6.3781		B

(Sumber: Olahan data minitab)

Mengacu pada tabel 6 di atas, terlihat bahwa hasil analisis statistik menggunakan metode Fisher LSD (*Least Significant Difference*) dengan tingkat kepercayaan 95%. Tabel ini membandingkan rata-rata dari tiga kelompok berbeda yang diidentifikasi oleh "kecepatan spindle" dengan nilai 325, 500, dan 813.

- a. Kecepatan Spindle: Kolom ini mencantumkan kecepatan spindle yang dibandingkan.
- b. N: Ukuran sampel ini untuk setiap kelompok, setiap kelompok memiliki 27 observasi.
- c. Mean (Rata-rata): Nilai rata-rata untuk setiap kelompok.
- d. Grouping: Hasil uji Fisher LSD, menunjukkan kelompok mana yang secara signifikan berbeda satu sama lain. Kelompok yang berbagi huruf yang sama tidak memiliki perbedaan signifikan pada tingkat kepercayaan 95%.

Metode ini menunjukkan bahwa kecepatan spindle 325 menghasilkan rata-rata yang secara signifikan lebih tinggi dibandingkan dengan kecepatan spindle 500 dan 813, yang tidak memiliki perbedaan signifikan satu sama lain.

- Pendingin

Grouping Information Using Fisher LSD Method and 95% Confidence

Tabel 7. Information Using Fisher LSD Method and 95% Confidence

Pendingin	N	Mean	Grouping
air	27	8.94926	A
udara	27	8.46963	A
cutting oil	27	8.28630	A

(Sumber: Olahan data minitab)

Tabel 7. menampilkan hasil analisis statistik dengan metode Fisher LSD (*Least Significant Difference*) pada tingkat kepercayaan 95%, membandingkan rata-rata dari tiga jenis pendingin: air, udara, dan cutting oil.

- **Pendingin:** Jenis collant yang dibandingkan.
- **N:** Ukuran sampel, masing-masing kelompok memiliki 27 observasi.
- **Mean (Rata-rata):** Nilai rata-rata setiap kelompok.
- **Grouping:** Hasil uji Fisher LSD, menunjukkan kelompok mana yang berbeda secara signifikan. Kelompok dengan huruf yang sama tidak berbeda secara signifikan pada tingkat kepercayaan 95%.

Hasilnya menunjukkan tidak ada perbedaan signifikan antara rata-rata pendingin air, udara, dan cutting oil. Semua jenis pendingin memiliki nilai rata-rata yang serupa menurut uji Fisher LSD pada tingkat kepercayaan 95%.

- *Sudut Tool Holder*

Grouping Information Using Fisher LSD Method and 95% Confidence

Tabel 8. Information Using Fisher LSD Method and 95% Confidence

Sudut Tool Holder	N	Mean	Grouping
10	27	9.16963	A
15	27	8.37926	A
20	27	8.15630	A

(Sumber: Olahan data minitab)

Tabel 8. menunjukkan hasil analisis statistik menggunakan metode Fisher LSD (*Least Significant Difference*) dengan tingkat kepercayaan 95%. Tabel ini membandingkan rata-rata dari tiga kelompok sudut tool holder: 10, 15, dan 20 derajat.

- Sudut Tool Holder: Mencantumkan sudut tool holder yang dibandingkan.
- N: Ukuran sampel setiap kelompok, dengan 27 observasi per kelompok.
- Mean (Rata-rata): Nilai rata-rata setiap kelompok.
- Grouping: Hasil Uji Fisher LSD, menunjukkan kelompok mana yang berbeda secara signifikan. Kelompok yang berbagi huruf yang sama tidak berbeda signifikan pada tingkat kepercayaan 95%.

Hasilnya menunjukkan tidak ada perbedaan signifikan antara rata-rata sudut tool holder 10, 15, dan 20 derajat. Semua sudut memiliki nilai rata-rata serupa menurut uji Fisher LSD dengan tingkat kepercayaan 95%.

- *Gerak Makan*

Grouping Information Using Fisher LSD Method and 95% Confidence

Tabel 9. Information Using Fisher LSD Method and 95% Confidence

Gerak Makan	N	Mean	Grouping
0.19	27	9.06000	A
0.29	27	8.36778	A
0.23	27	8.27741	A

(Sumber: Olahan data minitab)

Melihat pada tabel 9 di atas, menunjukkan hasil analisis statistik menggunakan metode Fisher LSD (*Least Significant Difference*) dengan tingkat kepercayaan 95%. Tabel ini membandingkan rata-rata tiga kelompok berbeda yang diidentifikasi oleh "gerak makan" dengan nilai 0.19, 0.23, dan 0.29.

- Sudut tool holder: Kolom ini mencantumkan gerak makan yang dibandingkan dengan sudut gerak makan lainnya.
- N: Ukuran sampel untuk setiap kelompok, masing-masing memiliki 27 observasi.
- Mean (Rata-rata): Nilai rata-rata untuk setiap kelompok.
- Grouping: Hasil uji Fisher LSD, menunjukkan kelompok mana yang berbeda secara signifikan. Kelompok yang berbagi huruf yang sama tidak berbeda secara signifikan pada tingkat kepercayaan 95%.

Hasil menunjukkan tidak ada perbedaan signifikan antara rata-rata gerak makan 0.19, 0.23, dan 0.29. Semua gerak makan tersebut memiliki nilai rata-rata yang serupa menurut uji Fisher LSD dengan tingkat kepercayaan 95%.

D. Pembahasan Analisa Hasil

Berdasarkan hasil pengujian kekasaran permukaan pada material baja karbon ST60, pembubutan tanpa menggunakan cutting oil dan air menghasilkan nilai kekasaran yang sangat rendah. Faktor-faktor yang mempengaruhi kekasaran permukaan selama proses pembubutan antara lain:

1. **Kecepatan Spindle.** Kecepatan spindle yang sesuai dapat menghasilkan permukaan benda kerja yang lebih halus dan mengurangi kekasaran. Kecepatan spindle yang lebih tinggi juga dapat mempercepat waktu pemesinan karena material benda kerja dihilangkan lebih cepat. Pemilihan kecepatan spindle yang tepat mempertimbangkan material benda kerja, jenis alat potong, kondisi pemesinan, dan tujuan akhir dari pemesinan. Penggunaan parameter pemesinan yang tepat membantu mencapai keseimbangan antara kualitas, efisiensi, dan umur alat potong.
2. **Pendingin.** Pendingin membantu mengurangi suhu yang dihasilkan selama proses pemotongan. Suhu yang tinggi dapat menyebabkan deformasi termal pada benda kerja dan keausan alat potong. Penggunaan pendingin juga dapat mengurangi debu dan partikel selama proses pemesinan, sehingga meningkatkan kondisi kerja yang lebih aman. Pengujian menunjukkan bahwa penggunaan pendingin alami dapat menghasilkan permukaan material yang lebih halus.
3. **Sudut Tool Holder.** Sudut tool holder pada mesin bubut tidak terlalu mempengaruhi proses pembubutan secara signifikan, karena posisi mata pahat bubut tidak berubah, hanya kedudukannya yang berubah.
4. **Gerak Makan.** Gerak makan yang lebih tinggi menghasilkan kualitas permukaan yang lebih halus karena setiap potongan lebih cepat dan halus. Sebaliknya, gerak makan yang lambat dapat meninggalkan tanda atau bekas yang lebih jelas pada permukaan benda kerja, menghasilkan permukaan yang lebih kasar. Gerak makan yang tinggi meningkatkan laju pemesinan, memungkinkan lebih banyak material dihilangkan dalam waktu singkat, sehingga meningkatkan produktivitas.

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian terhadap kekasaran permukaan baja karbon ST60 dengan variasi kecepatan spindle, jenis pendingin, sudut tool holder, gerak makan, dan kedalaman potong, diperoleh beberapa kesimpulan penting. Pertama, kecepatan spindle 325 rpm, pendingin udara, sudut tool holder 10°, dan gerak makan 0.19 mm/put menghasilkan kekasaran permukaan tertinggi sebesar 16.00 μm . Kedua, kecepatan spindle 500 rpm, pendingin udara, sudut tool

holder 20°, dan gerak makan 0.23 mm/put menghasilkan kekasaran permukaan terendah sebesar 1.96 μm . Selain itu, kekasaran permukaan yang mendekati nilai kekasaran as roda sepeda motor (2.48 μm) diperoleh pada kecepatan spindle 500 rpm, pendingin udara, sudut tool holder 20°, dan gerak makan 0.19 mm/put dengan hasil 2.43 μm . Secara umum, kecepatan spindle yang lebih tinggi, penggunaan pendingin udara, dan gerak makan yang lebih cepat dapat menghasilkan permukaan yang lebih halus dan mempercepat proses pembubutan.

DAFTAR PUSTAKA

- F. Pambudi*1, H. A. (2022). Analisis pengaruh kecepatan putaran spindel terhadap kekasaran. *Dinamika Teknik Mesin, Vol. 12, No. 2, Oktober 2022, 12*, 137-143.
- Al, Azib Fahim Barok. "Pengaruh variasi kecepatan potong, gerak makan, dan kedalaman potong pada mesin bubut terhadap tingkat keausan pahat HSS." *Artikel Skripsi Universitas Nusantara PGRI Kediri* (2017).
- SUADNYANA, Made Budi; NUGRAHA, I. Nyoman Pasek; DANTES, Kadek Rihendra. Pengaruh Variasi Kedalaman dan Kecepatan Pemakanan Terhadap Tingkat Kekasaran Permukaan Baja ST. 37. *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin Undiksha*, 2022, 10.2: 194-202.
- YUFRIZAL, A., et al. Pengaruh Sudut Potong dan Kecepatan Putaran Spindel Terhadap Kekasaran Permukaan pada Proses Bubut Mild Steel ST 37. *INVOTEK: Jurnal Inovasi Vokasional Dan Teknologi*, 2019, 19.2: 29-36.
- SUTRISNA, Kadek; NUGRAHA, I. Nyoman Pasek; DANTES, Kadek Rihendra. Pengaruh Variasi Kedalaman Potong Dan Kecepatan Putar Mesin Bubut Terhadap Kekasaran Permukaan Benda Kerja Hasil Pembubutan Rata Pada Bahan Baja St 37. *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin Undiksha*, 2017, 5.3.
- Apriansyah, E., Widagdo, T., & Zainuddin, Z. (2020). PENGARUH VARIASI PENDINGIN DAN SUDUT POTONG TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN BENDA KERJA ALUMINIUM 6061. *AUSTENIT*, 12(1), 14-20.
- POENG, R. Proses Pemesinan, Bahan Kuliah Proses Manufaktur II. *Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi Manado*, 2014.
- HABIBBULLAH, Ade, et al. Pengaruh Variasi Side Clearance Angle Pahat HSS dan Variasi Jumlah Putaran Mesin Bubut Terhadap Kekasaran Permukaan Benda Kerja Hasil Pembubutan Rata Pada Bahan St-60. *Ranah Research: Journal of Multidisciplinary Research and Development*, 2019, 2.1: 203-212.
- APRIANSYAH, Edwin; WIDAGDO, Tri; ZAINUDDIN, Zainuddin. Pengaruh Variasi Pendingin Dan Sudut Potong Terhadap Kekasaran Permukaan Benda Kerja Aluminium 6061. *Austenit*, 2020, 12.1: 14-20