

ANALISIS PENGARUH PAHAT CNMG 120404 PADA PROSES BUBUT CNC TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN BAJA S45C DENGAN METODE TAGUCHI

Zio Eldi Mahdan^{1*}, Eko Yudo², Zulfitriyanto³

¹Prodi Teknik Mesin & Manufaktur, Jurusan Rekayasa Mesin, Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung

Kawasan Industri Air Kantung, Sungailiat - Bangka, 33211, Indonesia

²Jurusan Rekayasa Mesin, Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung

Kawasan Industri Air Kantung, Sungailiat - Bangka, 33211, Indonesia

*Corresponding author: yudamessi2207@gmail.com

Abstract

S45C steel is widely used as a centrifugal pump shaft material due to its good mechanical properties and machinability. This study investigates the effect of CNC turning parameters using a CNMG 120404 cutting insert on the surface roughness of S45C steel through the Taguchi method. The machining parameters analyzed include spindle speed, feed rate, and depth of cut. Experimental results indicate that spindle speed has the most significant influence on surface roughness, followed by feed rate and depth of cut. The optimal machining condition was obtained at a spindle speed of 1910 RPM, a feed rate of 0.168 mm/rev, and a depth of cut of 0.25 mm, producing a surface roughness value of Ra 1.626 μ m. The results confirm that the CNMG 120404 insert with a 0.4 mm nose radius is effective for achieving a smooth surface finish on S45C carbon steel.

Keywords: CNMG; surface roughness; Taguchi

Abstrak

Baja S45C banyak digunakan sebagai material poros pompa sentrifugal karena memiliki sifat mekanik dan kemampuan mesin yang baik. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh parameter pemessinan CNC bubut menggunakan pahat CNMG 120404 terhadap kekasaran permukaan baja S45C dengan metode Taguchi. Parameter pemessinan yang diteliti meliputi kecepatan spindel, kecepatan pemakanan, dan kedalaman potong. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kecepatan spindel memberikan pengaruh paling signifikan terhadap kekasaran permukaan, diikuti oleh kecepatan pemakanan dan kedalaman potong. Kondisi pemessinan optimal diperoleh pada kecepatan spindel 1910 RPM, kecepatan pemakanan 0,168 mm/rev, dan kedalaman potong 0,25 mm dengan nilai kekasaran permukaan sebesar Ra 1,626 μ m. Hasil ini menunjukkan bahwa pahat CNMG 120404 dengan nose radius 0,4 mm efektif digunakan untuk menghasilkan permukaan halus pada baja karbon S45C.

Kata kunci: CNMG; kekasaran permukaan; Taguchi.

1. Pendahuluan

Perkembangan industri manufaktur pada era Revolusi Industri 4.0 menuntut peningkatan kualitas produk dan efisiensi proses produksi. Salah satu teknologi yang berperan penting dalam memenuhi tuntutan tersebut adalah mesin bubut CNC (Computer Numerical Control), yang mampu menghasilkan produk dengan presisi tinggi, konsistensi kualitas, kecepatan pemessinan yang tinggi, serta akurasi dimensi yang baik, sekaligus mengurangi ketergantungan terhadap tenaga kerja manual [1]. Proses bubut CNC menerapkan sistem otomasi berbasis

instruksi kode komputer, sehingga operasi pemessinan dapat dilakukan secara berulang dengan tingkat presisi yang lebih baik dibandingkan metode konvensional [2] Menurut penelitian Romadhon (2024:19) [3], pemahaman bahasa pemrograman CNC bubut dapat meningkatkan efisiensi produksi hingga 25% melalui optimalisasi jalur pemotongan dan pengurangan waktu siklus. Dalam proses bubut CNC, kualitas permukaan menjadi salah satu indikator utama keberhasilan pemessinan, karena berpengaruh langsung terhadap performa, umur pakai, dan keandalan komponen mekanik. Kekasaran permukaan dipengaruhi oleh berbagai parameter

pemesinan, di antaranya kecepatan spindle, kecepatan pemakanan, dan kedalaman potong. Kedalaman potong yang semakin besar memang meningkatkan laju penghilangan material, namun juga meningkatkan gaya potong dan keausan pahat, yang pada akhirnya dapat menurunkan kualitas permukaan benda kerja [4]. Kecepatan spindle juga berperan penting dalam pembubutan baja karbon menengah seperti AISI 1045, karena sangat memengaruhi kualitas permukaan dan efisiensi pemesinan [5]. Aththabary Priatama et al. (2023) melaporkan bahwa kecepatan spindle 1645 rpm dengan feeding 0,18 mm/rev menghasilkan kekasaran optimal, dengan kontribusi faktor kecepatan spindle sebesar 56,28% terhadap kualitas permukaan.

Baja S45C merupakan baja karbon menengah dengan kandungan karbon sebesar 0,43–0,50% yang memiliki sifat mekanik baik, seperti kekuatan dan ketahanan aus yang tinggi. Material ini banyak digunakan dalam industri otomotif dan manufaktur, antara lain pada roda gigi, poros, bantalan, serta komponen mesin lainnya yang membutuhkan ketahanan terhadap beban dan keausan. Kualitas permukaan baja S45C sangat menentukan kinerja dan umur komponen, sehingga optimalisasi parameter pemesinan menjadi aspek penting dalam proses pembuatannya [6]. Kadar karbon ini menempatkan S45C dalam kategori baja *hypoeutectoid*, yang berarti kandungan karbonnya lebih rendah dari 0,8%. Karakteristik ini memberikan keseimbangan optimal antara kekuatan dan keuletan, menjadikannya pilihan material yang serbaguna [7]. Selain parameter pemesinan, jenis pahat potong yang digunakan juga memberikan pengaruh signifikan terhadap kualitas permukaan hasil bubut. Pahat tipe CNMG merupakan salah satu jenis insert yang umum digunakan pada proses bubut CNC karena memiliki geometri negatif yang memberikan kekuatan tinggi, stabilitas pemotongan yang baik, serta ketahanan terhadap beban potong yang besar. Secara khusus, pahat CNMG

120404 memiliki nose radius sebesar 0,4 mm yang secara teoritis mampu menghasilkan permukaan yang lebih halus dibandingkan pahat dengan radius hidung yang lebih besar, terutama pada pemesinan dengan kedalaman potong relatif kecil. Namun demikian, pengaruh parameter proses bubut CNC menggunakan pahat CNMG 120404 terhadap kekasaran permukaan baja S45C masih perlu dianalisis secara sistematis untuk memperoleh kondisi pemesinan yang optimal. Penelitian menunjukkan bahwa variasi kecepatan *feeding* pada proses milling dapat memengaruhi kekasaran permukaan, di mana kecepatan yang lebih tinggi cenderung menghasilkan permukaan yang lebih halus [8].

Profil kekasaran permukaan dapat dibedakan menjadi beberapa jenis berdasarkan bentuk dan karakteristiknya. Profil referensi adalah garis acuan yang digunakan dalam pengukuran kekasaran permukaan, yang berfungsi sebagai baseline untuk menentukan deviasi permukaan aktual [9]. Profil tengah adalah garis rata-rata yang melewati titik tengah antara puncak dan lembah pada profil permukaan. Garis ini menjadi dasar dalam perhitungan nilai rata-rata kekasaran (R_a), yang merupakan parameter utama dalam evaluasi kekasaran permukaan [10]. Profil dasar adalah garis yang melintasi titik-titik lembah terdalam pada profil permukaan, menggambarkan kedalaman minimum dari ketidakteraturan permukaan [11].

Profil terukur adalah representasi nyata dari kondisi permukaan benda kerja setelah proses pemesinan, termasuk semua variasi, gelombang kasar, dan cacat yang ada [12].

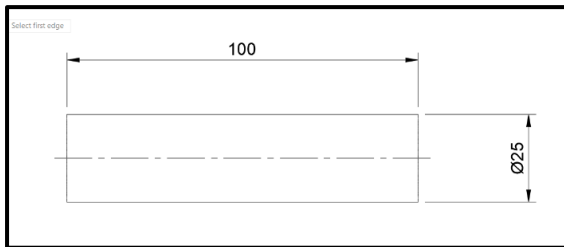
Dalam upaya mengidentifikasi dan mengoptimalkan pengaruh parameter-parameter tersebut, metode Taguchi menjadi pilihan yang tepat. Metode Taguchi dikenal dengan pendekatan eksperimental yang sistematis dan efisien melalui penggunaan orthogonal array, serta kemampuan analisisnya yang mampu meminimalkan efek variabilitas (*noise*) sehingga

menghasilkan parameter proses yang optimal.

2. Metode Penelitian

2.1 Material Penelitian

Benda kerja yang digunakan pada penelitian yaitu baja S45C dengan diameter 25 mm dan Panjang 100 mm. Gambar 1 berikut menunjukkan ukuran dan gambar dari benda kerja pada penelitian ini.



Gambar 1. Ukuran Benda Kerja

2.2 Peralatan Penelitian

Mesin bubut CNC yang digunakan dalam penelitian ini memiliki spesifikasi yaitu, Merk mesin MORI SEIKI Tipe SL-25, dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2 MORI SEIKI Tipe SL-25



Gambar 3. Surface Roughness Tester

Adapun pengukuran kekasaran permukaan pada benda kerja alat ukur *surface roughness tester* tipe Mitutoyo SJ-210, dapat dilihat pada gambar 3.

Benda kerja baja S45C dibentuk menggunakan Pahat CNMG 120404 MA, CNMG merupakan kode standar ISO 1832 yang mengindikasikan geometri dan karakteristik insert tersebut, dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Pahat CNMG 120404-MA

2.3 Prameter Permesinan

Dalam pengoperasian mesin bubut CNC, beberapa hal penting perlu diperhatikan, yaitu prameter permesinan, berikut prameter permesinan

- Kecepatan spindel (*spindle speed*) merupakan parameter penting dalam proses pembubutan baja AISI 1045, karena memengaruhi kualitas permukaan dan efisiensi pemesinan. Penelitian oleh [13] menunjukkan bahwa kecepatan spindel sebesar 1645 rpm dan *feeding* 0,18 mm/rev menghasilkan kekasaran permukaan optimal pada pembubutan CNC baja AISI 1045.
- Kecepatan pemakanan (*feeding rate*) merupakan faktor penting dalam proses bubut CNC karena berpengaruh langsung terhadap kualitas permukaan. Feeding rate adalah jarak yang ditempuh pahat per satuan waktu atau per putaran spindel. Penelitian [14]. menunjukkan bahwa pada material S40C, feeding rate 0,15 mm/menit menghasilkan kekasaran terendah 0,92 μm , sedangkan 0,35 mm/menit mencapai 7,93 μm . Artinya, peningkatan feeding rate

meningkatkan kekasaran permukaan.

- c. Kedalaman pemakanan (*depth of cut*) adalah parameter penting dalam proses bubut CNC yang memengaruhi kualitas permukaan, gaya pemotongan, dan umur alat. Peningkatan kedalaman pemotongan dapat meningkatkan laju penghilangan material, namun juga dapat meningkatkan gaya pemotongan dan keausan alat[15].

2.4 Hasil Penelitian Benda kerja

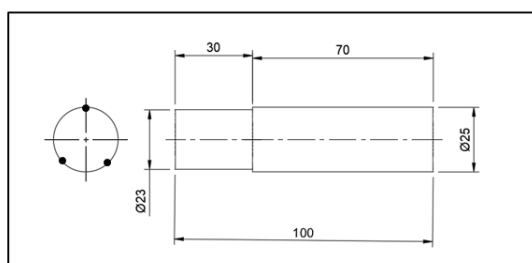
Berikut benda kerja baja S45C yang dibubut dengan menggunakan pahat CNMG 120404 dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Hasil Penelitian Benda Kerja

2.5 Pengambilan Data Kekasaran

Posisi benda kerja secara horizontal. Data diambil dari total 54 sampel, yang terdiri dari 27 sampel dengan penggunaan pahat *Insert Carbide* CNMG 120404 – MA. Seluruh sampel dikerjakan menggunakan parameter pemesinan yang sama, dengan perbedaan hanya pada penggunaan media pendingin. Proses pengambilan data kekasaran permukaan dilakukan menggunakan alat ukur Mitutoyo SJ-210 Surface Roughness Tester dengan mengikuti langkah-langkah tertentu, ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Titik Pengambilan Kekasaran Permukaan

2.6 Faktor Pengendali Kualitas

Dalam penelitian ini ditetapkan beberapa faktor atau parameter bebas yang

berpengaruh dalam proses pemesinan. Faktor-faktor tersebut meliputi kecepatan spindle (*spindle speed*), kecepatan pemakanan (*feeding rate*), serta kedalaman pemakanan (*depth of cut*). Ketiga parameter ini dipilih karena secara langsung dapat memengaruhi hasil akhir dari proses pemotongan, terutama kualitas permukaan benda kerja. menekankan hubungan antara parameter pemesinan dan kualitas hasil.

Tabel 1. Parameter dan Level Pahat CNMG 120404-MA

NO	Parameter	Level		
		1	2	3
Kecepatan				
1	spindel (RPM)	1528	1719	1910
Kecepatan				
2	pemakanan (mm/rev)	0,168	0,21	0,252
Kedalaman				
3	pemakanan (mm)	0,15	0,2	0,25

2.7 Penentuan Jenis Orthogonal Array

Dalam eksperimen ini digunakan empat parameter, di mana setiap parameter memiliki tiga level. Derajat kebebasan dihitung berdasarkan jumlah faktor dan level dengan rumus:

$$\begin{aligned} \text{Derajat kebebasan} &= (\text{jumlah faktor}) \times (\text{jumlah level} - 1) \\ &= 3 \times (3 - 1) = 6. \end{aligned}$$

Tabel 2. Matriks Ortogonal Untuk Taguchi

No	Kecepatan Spindel	Kecepatan Pemakanan	Kedalaman Pemakanan
1	1	1	1
2	1	2	2
3	1	3	3
4	2	1	2
5	2	2	3
6	2	3	1
7	3	1	3
8	3	2	1
9	3	3	2

Pemilihan matriks orthogonal harus disesuaikan dengan jenis eksperimen yang dilakukan. Pada kondisi ini, derajat kebebasan dari matriks orthogonal standar harus sama atau lebih besar dibandingkan hasil perhitungan dari eksperimen 4. Oleh karena itu, dalam penelitian ini digunakan *orthogonal array* L9, sebagaimana ditampilkan pada Tabel 2.

3. Hasil dan Pembahasan

Pada setiap benda kerja, pengukuran kekasaran permukaan dilakukan pada tiga titik yang berbeda untuk memperoleh nilai yang representatif, kemudian dihitung nilai rata-ratanya. Pengukuran dilakukan menggunakan alat *surface roughness tester*. Hasil pengujian pemesinan baja S45C menggunakan pahat CNMG 120404-MA dengan variasi parameter spindle speed, feeding, dan depth of cut dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Hasil Penguian CNMG 120404-MA

No	Spindel (RPM)	Feed (mm/rev)	Depth of Cut (mm)	Roughness Average (Ra)
1	1528	0,168	0,5	1,745
2	1528	0,210	1,0	1,832
3	1528	0,252	2,0	1,954
4	1719	0,168	1,0	1,689
5	1719	0,210	2,0	1,801
6	1719	0,252	0,5	1,926
7	1910	0,168	2,0	1,642
8	1910	0,210	0,5	1,721
9	1910	0,252	1,0	1,807
Rata - rata				1,626

a. Analisis Varian Taguchi

Pada proses pemesinan perhitungan respon parameter dari rata-rata dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\overline{A_{eks}} = \frac{\sum_i^2 = 1^{yi}}{3}$$

Dari persamaan diatas kemudian didapatkan nilai rata-rata yang dapat dilihat pada tabel 4.

Mengacu pada Tabel 4. dapat dihitung nilai efek rata-rata dari masing-masing parameter. Hasil perhitungan efek tersebut disajikan pada Tabel 5.

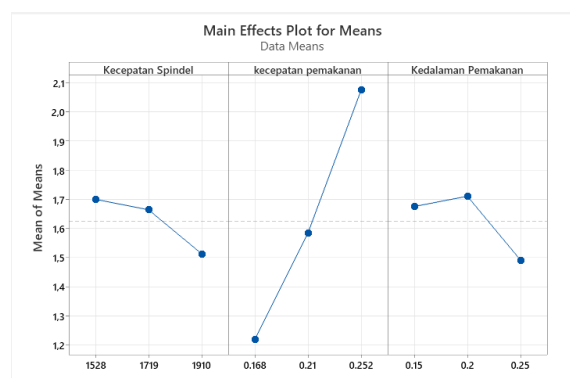
Tabel 4. Data kekasaran permukaan pemakanan 120404 MA

	Kecepatan Spindel	kecepatan pemakanan	Kedalaman Pemakanan	Data Awal	Replikasi 1	Replikasi 2
1	1528	0.168	0.15	1,600	1,115	1,307
2	1528	0.21	0.2	2,307	1,149	1,741
3	1528	0.252	0.25	1,971	2,015	2,095
4	1719	0.168	0.2	0,947	2,172	0,943
5	1719	0.21	0.25	1,553	1,521	1,386
6	1719	0.252	0.15	2,429	1,988	2,036
7	1910	0.168	0.25	0,872	1,009	1,000
8	1910	0.21	0.15	1,272	1,636	1,694
9	1910	0.252	0.2	2,465	1,756	1,914

Tabel 5. Respon Parameter Terhadap Rata-Rata Pemakanan CNMG 120404 – MA

Level	Spindle speed	Feeding	Depth of Cut
1	1,700	1,218	1,675
2	1,664	1,584	1,710
3	1,513	2,074	1,491
Delta	0,187	0,859	0,219
Rank	3	1	2

Analisis rata-rata respons parameter pada setiap level, seperti terlihat pada Tabel 5, memungkinkan penentuan peringkat pengaruh terhadap kekasaran permukaan. Urutan pengaruh dari yang terbesar adalah *Feeding* (selisih 0,859), *Depth of Cut* (selisih 0,219), dan *spindle speed* (selisih 0,187). Visualisasi nilai kekasaran permukaan terkecil pada masing-masing level untuk setiap parameter, dibandingkan dengan nilai rata-rata, dapat diamati pada gambar 7.



Gambar 7. Grafik Menyajikan Hubungan Antara Rata-Rata Kekasaran Permukaan dan Variasi pada Setiap Level Parameter

b. Rasio S/N Terhadap Respon

Rasio S/N merupakan pendekatan yang digunakan untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang berkontribusi pada

penurunan respons kekasaran permukaan, menggunakan rumus berikut:

$$\text{Rasio S/N} = -10 \log \left(\sum_{i=1}^n \frac{y_i^2}{n} \right)$$

Di mana:

n = jumlah pengulangan

y = data dari percobaan

Rasio S/N untuk pemakanan CNMG 120404 – MA, Berikut merupakan hasil perhitungan rasio S/N dapat dilihat pada tabel 6.

Tabel 6. Rasio S/N untuk pemakanan CNMG 120404 MA

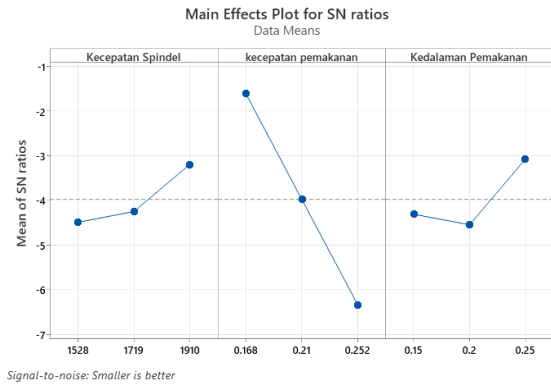
No	Parameter Bebas			S/N
	<i>Spindle speed</i>	<i>Feeding</i>	DOF	
1	1528	0.168	0.15	-2,641
2	1528	0.21	0.2	-5,085
3	1528	0.252	0.25	-6,140
4	1719	0.168	0.2	-3,360
5	1719	0.21	0.25	-3,455
6	1719	0.252	0.15	-6.689
7	1910	0.168	0.25	0.333
8	1910	0.21	0.15	-3,780
9	1910	0.252	0.2	-6,309

Sehingga nilai rasio S/N untuk setiap parameter dapat diketahui, dapat dilihat pada tabel 7.

Tabel 7. Respon rasio S/N Parameter Terhadap Rata-Rata

Level	<i>Spindle speed</i>	<i>Feeding</i>	<i>Depth Of Cut</i>
1	-4,486	-1,609	-4,306
2	-4,244	-3,978	-4,539
3	-3,192	-6,335	-3,076
Delta	1,294	4,726	1,463
Rank	3	1	2

Peringkat pengaruh parameter terhadap kekasaran permukaan ditentukan melalui analisis rasio S/N per level, sebagaimana terlihat pada Tabel 7. Dalam urutan pengaruh, *Feeding* merupakan faktor terkuat dengan selisih 4,726. *Depth of Cut* berada di posisi berikutnya dengan selisih 1,463. Kontribusi terkecil terhadap kekasaran permukaan diamati pada *spindle speed*, dengan selisih nilai 1,294, Sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 8, nilai rasio S/N dibuat menjadi grafik berdasarkan data yang diacu dari Tabel 7.



Gambar 8. Grafik rasio S/N Grafik rasio S/N

Dari grafik rasio S/N pada gambar 8, prediksi kombinasi parameter yang menghasilkan respons optimal terhadap kekasaran permukaan dapat ditentukan, sebagaimana disajikan pada Tabel 8

Tabel 8. Respon Rasio S/N Terhadap Hasil Kekasaran Permukaan

Parameter Bebas	Tingkat Level	Nilai Level
<i>Spindle speed</i>	3	1910 RPM
<i>Feeding</i>	1	0,168 mm/rev
<i>Depth Of Cut</i>	3	0,25 mm

c. Analisis Varian Rasio S/N

Untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang paling berpengaruh secara signifikan terhadap rata-rata, Analisis Varian Rata-rata (ANOVA) merupakan metode yang dapat digunakan. Perhitungan ANOVA dilakukan sebagai berikut hasil perhitungan terhadap rata-rata konsumsi pemakanan CNMG 120404 – MA, dapat dilihat pada tabel 9.

Tabel 9. Analisis varians S/N pemakanan CNMG 120404 – MA

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Kecepatan Spindel	2	3,4524	3,4524	1,7262	6,11	0,141
kecepatan pemakanan	2	30,2382	30,2382	15,1191	53,56	0,018
Kedalaman Pemakanan	2	5,2986	5,2986	2,6493	9,38	0,096
Residual Error	2	0,5646	0,5646	0,2823		
Total	8	39,5539				

d. Kontribusi Rasio S/N Kekasaran Permukaan

Hasil dari perhitungan persen kontribusi pada pemakanan CNMG 120404 dapat dilihat pada tabel 10.

Persentase kontribusi parameter terhadap kekasaran permukaan dapat diidentifikasi. Faktor B (Feeding) menunjukkan kontribusi terbesar sebesar 76,45%, diikuti oleh faktor C (Depth of Cut) dengan nilai 13,39%. Sementara itu, faktor A (spindle speed) memiliki kontribusi paling kecil, yaitu 8,73%.

Tabel 10. Kontribusi Setiap Parameter

Parameter Bebas	V	SS	MS	F-rasio	P%	V
<i>Spindle speed</i>	2	3,452	1,726	6,12	8,73%	2
<i>Feeding</i>	2	30,24	15,12	53,61	76,45%	2
<i>Depth of Cut</i>	2	5,296	2,648	9,39	13,39%	2
<i>Error</i>	2	0,564	0		1,43%	2
Total	8	39,55				8

4. Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa kualitas kekasaran permukaan baja S45C pada proses bubut CNC sangat dipengaruhi oleh kombinasi parameter pemessinan yang diterapkan. Melalui penerapan metode Taguchi dan analisis rasio S/N dengan karakteristik *smaller-the-better*, diperoleh kondisi pemessinan yang mampu menghasilkan permukaan paling halus dan stabil. Kombinasi parameter optimal dicapai pada kecepatan spindle 1910 RPM, kecepatan pemakanan 0,168 mm/rev, dan kedalaman potong 0,25 mm. Hasil analisis varians mengungkapkan bahwa kecepatan pemakanan merupakan faktor yang paling dominan dalam memengaruhi kekasaran permukaan, dengan kontribusi sebesar 76,45%, diikuti oleh kedalaman potong dan kecepatan spindle. Temuan ini menegaskan bahwa pengendalian kecepatan pemakanan menjadi aspek utama dalam upaya peningkatan kualitas permukaan hasil pembubutan.

Ucapan terimakasih

Penulis menyampaikan apresiasi dan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan serta bantuan, sehingga penelitian ini dapat terlaksana hingga selesai.

Referensi

- [1] Kurniawan, E. dkk., 2020. Rancang Bangun Mesin CNC Lathe Mini 2 Axis. *Jurnal Engine: Energi, Manufaktur, dan Material* 4(2), 83–90.
- [2] Pakasi, C.J.R. dkk., 2024. Modifikasi Sistem Eretran pada Emco Compact 5-PC CNC Lathe. *Jurnal Poros Teknik Mesin Unsrat* 13, 25–37.
- [3] Romadhon, R.A. dan Edy, D.L., 2024. Pengaruh Kemampuan Komunikasi Matematis dalam Pembelajaran CNC terhadap Kompetensi Membuat Program CNC Siswa Kelas XII Teknik Pemessinan SMK Muhammadiyah 1 Kepanjen. *Jurnal Teknik Mesin dan Pembelajaran* 7(3), 19–28.
- [4] Surya, M.S., 2024. Optimization of machining parameters while turning AISI316 stainless steel using response surface methodology. *Scientific Reports* 14(1), 421-429.
- [5] Ehibor, O.G. and Aliemeke, B.N.G., 2021. Optimization of Process Parameters of Surface Roughness and Material Removal Rate in Orthogonal Turning of AISI 1045 Carbon Steel Using Taguchi Technique. *Industrial Engineering Letters* 10(4), 16–25.
- [6] Elbi, W. dan Aldi Irwandi, M., 2023. Pengaruh Austenisasi Baja S45C pada Suhu 750°C dan Quenching dengan Media Suhu Ruang, Air dan Oil. *Jurnal Cakrawala Ilmiah* 2(11), 4429–4436.
- [7] Rizal Ainur Rachman, M. dan Mahendra Sakti, A., 2020. Analisa Perbedaan Kekerasan dan Kekuatan Tarik Baja S45C dengan Perlakuan Quenching dan Tempering. *Jurnal Teknik Mesin Unesa* 8(2), 89–94.
- [8] Yamin Lubis, S. dan Sebastian, I., 2022. Optimasi Kekasaran Permukaan Baja SKD11 Pada Proses CNC Milling Menggunakan Cutting Tool Berbahan Carbide dengan Metode Taguchi. *Jurnal Ilmiah Indonesia* 7(6),111-119.

- [9] Palová, K., Kelemenová, T. and Kelemen, M., 2023. Measuring Procedures for Evaluating the Surface Roughness of Machined Parts. *Applied Sciences (Switzerland)* 13(16), 270-278.
- [10] Salem, A., Hegab, H. and Kishawy, H.A., 2023. Experimental Investigation of the Derivative Cutting When Machining AISI 1045 with Micro-Textured Cutting Tools. *Metals (Basel)* 13(9), 1–18.
- [11] Putra Andika, W. dkk., 2024. Analisis Kekasaran Permukaan Pemotongan Sisi Gerak Melingkar pada CNC Milling. *Jurnal Inovasi Teknologi Terapan* 2(2), 410–416.
- [12] Kashkool, L.H., 2022. Optimization of Machining Parameters of AISI 1045 Steel for Better Surface Finish and Tool Life Using TiN Coated Carbide Insert. *Tikrit Journal of Engineering Sciences* 29(2), 1–6.
- [13] Rizllah Aththabary Priatama, M. dkk., 2023. Analisis Kekasaran Permukaan pada Pengaruh Kecepatan Spindel dan Feeding terhadap Material Baja AISI 1045 pada Mesin Bubut CNC. *Jurnal Inovasi Teknologi Terapan* 1, 231–7.
- [14] Difa Kurniawan, M. dkk., 2024. S40C pada Proses Surface Turning. *Jurnal Motion* 2(1), 1–8.
- [15] Fauzi, A. dan Sumbodo, W., 2021. Pengaruh Parameter Pemakanan terhadap Kekasaran Permukaan ST 40 pada Mesin Bubut CNC. *Jurnal Dinamika Vokasional Teknik Mesin* 6(3), 46–57.