



## Optimasi Kehalusan Permukaan Benda Kerja Menggunakan *CNC Turning* dengan Metode Taguchi

Y Yulianto Kristiawan<sup>1✉</sup>, Suhartoyo<sup>2</sup>

Program Studi Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknologi Warga Surakarta<sup>(1,2)</sup>

DOI: 10.31004/jutin.v7i3.31736

✉ Corresponding author:

[Yulianto.atw@gmail.com]

### Article Info

*Kata kunci:*  
*Pembubutan;*  
*Benda kerja;*  
*Pahat;*  
*CNC bubut;*  
*Permukaan.*

### Abstrak

Kualitas permukaan hasil pengerjaan pembubutan dapat dilihat dari kekasaran permukaannya, semakin halus permukaannya semakin baik pula kualitasnya. Beberapa faktor yang mempengaruhi hasil pembubutan antara lain kecepatan putaran spindel mesin, feeding, kedalaman pemakanan, kondisi mesin, bahan yang digunakan, bentuk mata potong ujung pahat, pendinginan dan operator. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai kualitas terbaik dari hasil pembubutan dengan menggunakan metode taguchi. Benda kerja menggunakan baja karbon, pahat yang digunakan jenis pahat carbide dengan sudut 90°, 93° dan 95°. Identifikasi kekasaran permukaan dilakukan dengan mengukur kekasaran permukaan benda kerja dengan menggunakan roughness tester. Mesin yang digunakan adalah CNC bubut merk Lathewell Series 0-T. Hasil penelitian menunjukkan terjadi peningkatan kualitas proses produksi berupa penurunan keausan pahat dari kondisi awal sebesar 2,139 mgr menjadi 1,504 mgr dan penurunan angka kekasaran permukaan dari kondisi awal 1,563  $\mu\text{m}$  menjadi 1,355  $\mu\text{m}$ , menggunakan tingkat signifikansi :  $\alpha = 5\%$ .

### Abstract

*Keywords:*  
*Turnin ;*  
*Workpiece;*  
*Chisel;*  
*CNC lathe;*  
*Surface*

The quality of the surface resulting from turning work can be seen from the roughness of the surface, the smoother the surface, the better the quality. Several factors that influence turning results include machine spindle rotation speed, feeding, feed depth, machine condition, material used, shape of the cutting edge of the tool, cooling, and operator. This research aims to determine the best quality value of turning results using the Taguchi method. The workpiece uses carbon steel, which are carbide chisels with angles of 90°, 93° and 95°. Surface roughness identification is carried out by measuring the surface roughness of the workpiece using a roughness tester. The machine used is a Lathewell Series 0-T CNC lathe. The research results show that there has been an increase in the quality of the production process in the form of a decrease in tool wear from the initial condition of 2,139 mgr to 1,504 mgr and a decrease in surface roughness from the initial condition of 1,563  $\mu\text{m}$  to 1,355  $\mu\text{m}$ , using a significance level:  $\alpha = 5\%$ .

## 1. PENDAHULUAN

Setiap pekerjaan mesin mempunyai persyaratan kualitas permukaan (kekasaran permukaan) yang berbeda-beda tergantung dari fungsinya (Alagarsamy et al., 2020). Kualitas permukaan hasil pembubutan rata dapat dilihat dari kekasaran permukaannya, makin halus permukaannya makin baik pula kualitasnya. Pekerjaan permesinan dipengaruhi oleh kecepatan potong, kecepatan makan, kedalaman potong dan geometri pahat terhadap kekasaran permukaan pembubutan serta cairan pendingin pada kekasaran permukaan. Kualitas permukaan hasil sayatan pada proses pembubutan sangat dipengaruhi oleh feeding atau kecepatan pemakanan, kualitas pemotongan dan kerataan penyayatan benda kerja (Dhanalakshmi & Rameshbabu, 2020).

Proses pembubutan benda kerja dengan mevariasikan feeding dan kecepatan potong akan diperoleh kekasaran permukaan yang paling kecil, semakin lama pahat digunakan maka akan mengalami keausan (Arifin et al., 2023)

Pekerjaan permesinan dipengaruhi oleh kecepatan potong, kecepatan makan, kedalaman potong dan geometri pahat terhadap kekasaran permukaan pembubutan serta cairan pendingin pada kekasaran permukaan (Shuang Ding et al., 2021). Hasil pekerjaan dengan menggunakan cairan pendingin menghasilkan kekasaran permukaan yang lebih halus dibandingkan tanpa cairan pendingin (Arunnath & Masooth, 2020). Nilai keausan mata pahat adalah terlepasnya material dari permukaan akibat interaksi mekanis. Secara tradisional keausan dapat dibagi dalam beberapa kategori yaitu gesek, abrasi dan erosi. Keausan dari suatu bahan yang telah dipakai adalah suatu kondisi yang terjadi akibat gesekan antar benda (Eugen et al., 2019).

Taguchi parameter adalah satu desain yang penting karena menawarkan desain yang sederhana dan sistematis untuk mengoptimalkan prestasi pahat, kualitas dan biaya (Misaka et al., 2020). Pengerjaan pembubutan terkadang masih kebingungan menentukan *spindle speed dan feed* yang optimum terutama pada operasi finishing. Operator seringkali hanya menggunakan estimasi atau trial and error dalam memilih besaran cutting speed, feed dan depth of cut, padahal besaran tersebut berpengaruh terhadap kualitas hasil pemesinan serta produktivitas (Jekki D et al., 2022). Dengan demikian diperlukan upaya untuk meneliti nilai optimum dari beragam tipe operasi mesin perkakas yang banyak dipakai (Kumar et al., 2020).

Kualitas desain untuk mengerjakan bahan tersebut menjadi sebuah produk jadi, dapat ditingkatkan dengan cara perencanaan, persiapan dan proses pembuatan. Satu sistem perencanaan yang kuat adalah satu teknik metodologi untuk mendapatkan produk dan proses dengan meminimalkan gangguan yang dapat merusak kualitas. Metode taguchi dipengaruhi oleh beberapa faktor penting yaitu rasio antara isyarat, gangguan dan susunan ortogonal secara simultan.

Aplikasi metoda Taguchi untuk mendesain parameter pemesinan dilakukan untuk menentukan keadaan pemesinan yang ideal seperti suapan, kecepatan potong dan kombinasi dengan gaya potong (Pangestu et al., 2021). Kekasaran benda kerja hasil pengerjaan dengan mesin akan meningkat seiring dengan peningkatan gaya potong dan penurunan kadar suapan (Palaniappan et al., 2019).

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai optimum proses pengerjaan pembubutan benda kerja terhadap hasil pemakanan finishing dengan menggunakan metode taguci. Proses pengerjaan pembubutan, berupa kecepatan potong dan hasil pekerjaan berupa sayatan, dipengaruhi oleh putaran spindle. Hubungan empiris antara kecepatan potong dan putaran spindle dapat dinyatakan dalam persamaan (Jondi Supriyandi & Eko Yudo, 2021):

$$V = (\pi \cdot D \cdot n) / 1000 \dots\dots\dots (1)$$

Waktu pemotongan, kecepatan makan dan gerak makan dalam proses penyayatan pengerjaan pembubutan memerlukan informasi kecepatan, seperti terlihat pada persamaan 2.

$$Vf = F \cdot n \dots\dots\dots (2)$$

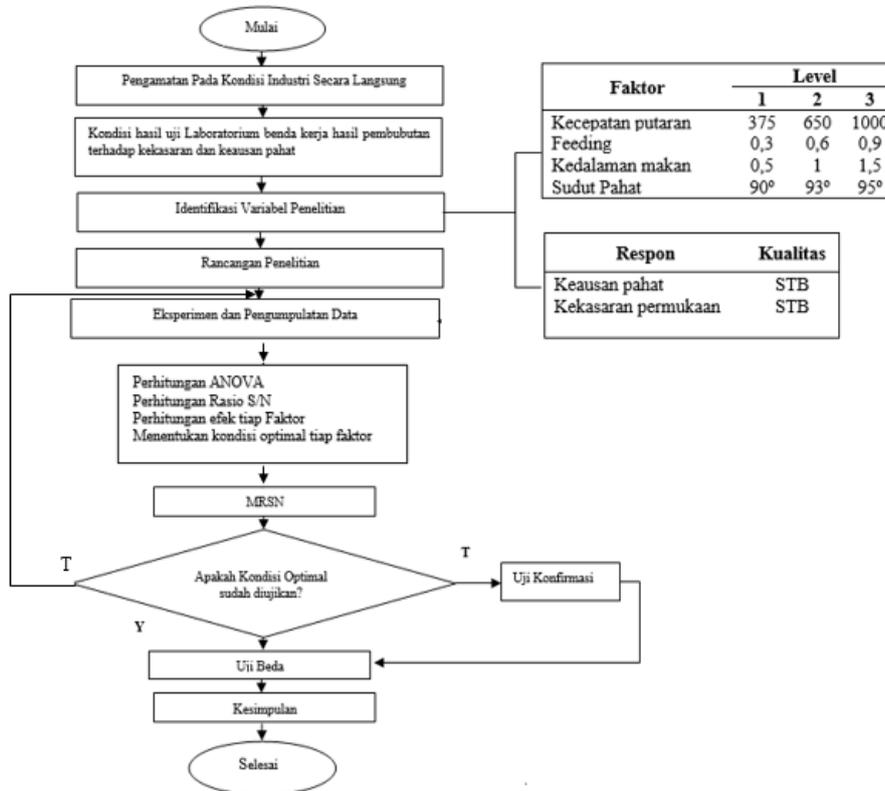
Waktu pemotongan dihitung berdasarkan panjang langkah pemotongan tiap tahapan terdiri dari langkah pemotongan ditambah langkah idel. Perhitungan waktu pemotongan mengikuti persamaan 3.

$$t = (L \cdot a) / (Vf \cdot L_{idel}) \dots\dots\dots (3)$$

## 2. METODOLOGI

Penelitian ini fokus pada kekasaran permukaan dan keausan pahat yang dihasilkan dari proses permesinan CNC bubut dengan cara memvariasikan keempat faktor utama yaitu kecepatan putaran spindle, feeding, kedalaman pemakanan, dan sudut pahat yang masing-masing menggunakan tiga level setiap faktor yang

dijalankan oleh mesin bubut. Bahan yang digunakan sebagai sampel berupa bahan baja karbon sebagai obyek penelitian yang dikerjakan. Nilai yang diukur adalah kekasaran benda kerja berupa baja karbon yang telah dilakukan proses pembubutan dan nilai keausan pahat. Identifikasi kekasaran permukaan dilakukan dengan mengukur kekasaran permukaan material dengan menggunakan *roughness tester* merk Surfcoorder SE 1700, untuk mengidentifikasi keausan pahat dengan cara mengambil data material uji sebelum dilakukan permesinan dan sesudah dengan permesinan kemudian membandingkan massa material uji tersebut. Untuk mengetahui massa material ini dilakukan dengan cara ditimbang menggunakan timbangan digital merk Vibra Model AJ 620E. Diagram alir dapat dilihat di gambar 1, tersaji sebagai berikut :



Gambar 1 Diagram alir penelitian

Pahat *Carbide* dengan sudut 90°, 93° dan 95° adalah sebagai alat untuk memakan benda kerja baja karbon. Proses pemakanan benda kerja baja karbon adalah menggunakan proses pemakanan dengan pendingin. CNC turning merk *Lathewell Series O-T* mesin yang digunakan untuk pengerjaan pembubutan. Untuk mendapatkan level yang optimal dan keberhasilan menganalisis parameter pemotongan terutama nilai kekasaran benda dan tentunya nilai keausan pahat, level yang digunakan pada susunan orthogonal taguchi dan rasio signal to noise (S/N).

Variable bebas berupa kecepatan putaran, kecepatan potong (*feeding*), bentuk geometri (sudut) pahat, dan kedalaman penyayatan. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah kualitas permukaan hasil pembubutan dari hasil pengerjaan pembubutan dan keausan pahat yang akan memberikan hasil yang paling halus. Variabel pada penelitian ini adalah 4 faktor utama dan 3 level.

Tabel 1 variabel penelitian

Kode	Faktor	Satuan	Level		
			1	2	3
A	Kecepatan putaran	rpm	375	650	1000
B	Feeding	mm/putaran	0,3	0,6	0,9
C	Kedalaman Pemakanan	mm	0,5	1	1,5
D	Sudut Pahat	Derajat( ° )	90	93	95

Pemilihan tabel array ortogonal untuk percobaan utama didasarkan pada berapa banyaknya derajat bebas total. Jumlah derajat bebas total diperoleh dari penjumlahan derajat bebas faktor utama antara tiga faktor utama yang signifikan yaitu sebanyak 8 (delapan). Dengan demikian tabel array ortogonal tiga taraf yang diperlukan dalam penelitian ini menggunakan 1/9 FFE (*Fractional Factorial Experiment*) sehingga dipilih tabel array ortogonal L9. Dalam percobaan ini faktor utama yang signifikan adalah kecepatan putaran ( A ), *feeding* ( B ), Kedalaman pemakanan ( C ) dan Sudut pahat ( D ). Penentuan letak faktor-faktor yang digunakan pada percobaan utama, antara lain : faktor utama A diletakan pada kolom, faktor utama B diletakan pada kolom 2, faktor utama C diletakan pada kolom 3. faktor utama D diletakan pada kolom 4. Adapun diagram alir penelitian adalah sebagai berikut :

### 3. HASIL DAN PEMBAHSAN

Tahap pelaksanaan eksperimen merupakan tahap pengumpulan data-data hasil eksperimen dari rancangan-rancangan parameter berdasarkan matrik *orthogonal array* yang telah dipilih. Persiapan dimulai dengan menyiapkan material spesimen sebagai material uji beserta peralatannya. Material yang digunakan adalah baja carbon rendah FC 20. Pahat yang digunakan terbuat dari bahan karbida dengan variasi sudut 90°, 93°, dan 95°. Proses pembuatan spesimen, material baja FC 20 berupa poros dengan diameter 30 mm dengan panjang 100 mm sebanyak 27 buah (3 kali replikasi). Seting parameter mesin disesuaikan dengan faktor level yang telah ditentukan berdasar eksperimen faktorial Taguchi.

Metode yang digunakan adalah analisis variansi yang digunakan untuk menganalisa eksperimen secara statistik. Berdasarkan uji Kolmogorov-Smirnov Test diperoleh nilai sebesar 1,604, sedangkan besarnya  $\chi^2_{0.05,8}=15,507$ . Karena  $\chi^2_{hitung} \leq \chi^2_{0.05,8}$  maka  $H_0$  diterima artinya data hasil eksperimen keausan pahat berdistribusi normal. Menghitung variansi gabungan dari semua sampel ( $s^2$ )

$$s^2 = \frac{\sum (N_i - 1) s_i^2}{\sum (N_i - 1)} = 0,595$$

Menghitung harga satuan B

$$B = (\text{Log } s^2) \sum (N_i - 1) \qquad B = -5,408$$

Menghitung  $\chi^2_{hitung}$  :

$$\chi^2_{hitung} = (\ln 10) \{ B - \sum (n_i - 1) \log s_i^2 \}$$

$$\chi^2_{hitung} = 3,271$$

Menetapkan taraf signifikansi  $\alpha = 0,05$ . Menetapkan kriteria pengujian:  $H_0$  diterima apabila  $\chi^2_{hitung} \leq \chi^2_{tabel}$  .

$H_0$  ditolak apabila  $\chi^2_{hitung} > \chi^2_{tabel}$

$\chi^2_{tabel}$  diperoleh dari tabel distribusi Chi – kuadrat dengan peluang  $\alpha = 0,05$  dan derajat kebebasan (dk) = 3 yaitu 3,841.

$$\chi^2_{hitung} = -4,271$$

Karena  $\chi^2_{hitung} \leq \chi^2_{tabel}$  yaitu  $-4,271 \leq 3,841$  maka  $H_0$  diterima, artinya data keausan pahat homogen.

**Tabel 2 Hasil perhitungan Anova**

Faktor	Derajat Bebas	SS	MS	F hit	F tabel	SS'	P
A	2	9.097	4.549	23949.398	3.550	9.097	63.682
B	2	0.710	0.355	1868.595	3.550	0.709	4.966
C	2	3.463	1.732	9117.614	3.550	3.463	24.242
D	2	1.011	0.505	2661.345	3.550	1.011	7.074
Residu	18	0.003	0.000				
Total	26						

Berdasarkan hasil perhitungan yang tercantum pada table 2 faktor yang berpengaruh secara signifikan terhadap variable respon keausan pahat adalah kecepatan putaran ( A ), *feeding* ( B ), kedalaman pemakanan ( C ), dan sudut pahat ( D ), dimana F hitung > F tabel.

Dari tabel 2 dapat diketahui bahwa secara statistik faktor–faktor yang berpengaruh signifikan terhadap respon keausan pahat adalah faktor A, B, C dan D yang dapat dilihat bahwa nilai – nilai dari statistik hitungnya (F hitung) adalah lebih besar dari nilai statistik tabel (f tabel)

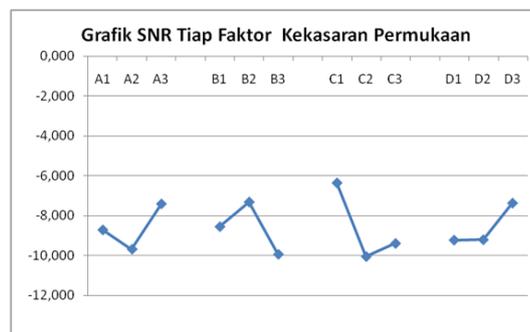
Setelah semua efek tiap faktor dihitung, kemudian dicari perbedaan maksimum dari tiap – tiap faktor dan ditentukan *ranking* dari tiap – tiap faktor secara berurutan mulai dari faktor yang mempunyai perbedaan paling besar seperti yang terlihat di tabel 3.

**Tabel 3 Efek Nilai SNR Tiap Faktor Utama Respon Keausan Pahat**

Level	Faktor Kendali			
	A	B	C	D
1	-3.398	-5.679	-4.892	-6.325
2	-8.864	-4.861	-7.504	-4.574
3	-4.649	-6.371	-4.516	-6.012
Difference	4.215	1.509	2.612	0.314
Rank	1	4	2	3

Uji normalitas dilakukan untuk mengetahui apakah data – data yang digunakan normal dan agar langkah – langkah selanjutnya dapat dipertanggung jawabkan. Berdasarkan Uji Kolmogorov Smirnov Z diperoleh nilai sebesar 0,871 sedangkan besarnya  $\chi^2_{0.05,8} = 15.5$  (tabel  $\chi^2$ ) Karena  $\chi^2_{hitung} < \chi^2_{0.05,8}$ , maka  $H_0$  diterima, artinya data kekasaran permukaan berdistribusi normal.

Hasil analisa data SNR didapat bahwa level faktor untuk respon keausan pahat optimal belum dieksperimenkan (Arunnath & Masooth, 2020), oleh karena itu akan dilakukan pengujian untuk membuktikan bahwa faktor – level memang benar optimal (Bharathi et al., 2019).



**Gambar 2 Grafik snr faktor utama respon kekasaran permukaan**

Gambar 2 menjelaskan Formulasi terbaik didapat dari pemilihan nilai SNR dengan level faktor yang paling besar sehingga didapatkan formulasi A3 B2 C1 D3.

**Tabel 4 Uji konfirmasi**

Faktor	Level optimal	Hasil			
		R1	R2	R3	Rerata
Kecepatan Putaran	375				
Feeding	0,6				
Kedalaman Pemakanan	1,5	1,529	1,487	1,149	1.388
Sudut Pahat	93				

Tabel 4 terlihat SNR formulasi optimalnya A3B2C1D3, dari level tersebut belum dieksperimenkan maka kemudian dilakukan konfirmasi eksperimen. Hasilnya Replikasi (R1) = 1,529  $\mu$  m, (R2) = 1,487  $\mu$  m, (R3) = 1,149  $\mu$  m dan rata-rata = 1,388  $\mu$  m.

Variabel respon keausan pahat dan kekasaran permukaan mempunyai setting optimal yang berbeda. Setting parameter untuk respon keausan pahat A1B2C3D2, sedangkan respon kekasaran permukaan A3B2C1D3, sehingga dipilih menggunakan prosedur MRSN untuk menentukan setting optimal (Adin G & Yudi O, 2024). Pembobotan untuk masing-masing variabel respon didasarkan pada tingkat kepentingan kekasaran permukaan yang rendah lebih penting dibanding keausan pahat, sehingga ditentukan nilai bobot untuk kekasaran permukaan 0,563 dan untuk respon keausan pahat 0,437. Biaya yang dibutuhkan untuk pengerjaan permesinan bubut Rp. 25.000 per jam, sehingga dapat diketahui fungsi kerugian (k) untuk respon keausan pahat adalah 4444444,444 dan untuk

respon kekasaran permukaan adalah 577847,633. Berdasarkan MRSN didapat data bahwa setting optimal untuk keausan pahat dan kekasaran permukaan adalah trial yang mempunyai nilai MRSN terbesar yaitu 8,502 maka kombinasi faktor terbaik adalah A3B2C1D3. Setting parameter yang diperoleh adalah:

Tabel 5 Faktor-level optimal berdasar MRSN

Kode	Faktor	Level	Angka	Satuan
A	Kecepatan putaran	3	1000	Rpm
B	Feeding	2	0,6	Mm
C	Kedalaman Pemakanan	1	0,5	Mm
D	Sudut Pahat	3	95	o (derajat)

Setelah didapatkan pengaturan level faktor terpilih yaitu A3B2C1D3 kemudian dilakukan evaluasi tingkat keberhasilan parameter usulan. Evaluasi ini dilakukan dengan melakukan uji beda antara kondisi awal dengan kondisi usulan. Analisis SNR digunakan untuk mengetahui kondisi optimal dari masing-masing respon (Subramanian, 2017). Dari analisis ini ternyata kondisi optimal dari tiap respon terdapat perbedaan kombinasi faktor dan level (Verma .et.al, 2019). Karena ada perbedaan kombinasi faktor-level optimal setiap respon maka dilakukan analisis keputusan dengan menggunakan metode MRSN.

Tabel 6 Perbandingan setting parameter

Perbandingan	Rerata	Rerata
	Keausan Pahat	Kekasaran Permukaan
<b>Kondisi awal</b>	2,139	1,563
<b>SNR (Optimal keausan pahat)</b>	2,178	3,435
<b>SNR (Optimal kekasaran permukaan)</b>	1,504	1,355
<b>MRSN</b>	1,504	1,355

Jika kondisi awal dibandingkan dengan usulan metode SNR optimalisasi keausan pahat, terjadi perbaikan kondisi kualitas berupa penurunan tingkat keausan pahat (dari 2,139 menjadi 2,178). Tetapi disini lain terjadi penurunan kondisi kualitas yaitu tingkat kekasaran yang lebih tinggi (dari 1,563 menjadi 3,435). Oleh karena itu, hal ini tidak direkomendasikan sebagai usulan perbaikan kepada industri.

Jika kondisi awal dibandingkan dengan usulan metode SNR optimalisasi kekasaran permukaan, terjadi peningkatan kondisi kualitas berupa penurunan tingkat keausan pahat (dari 2,139 menjadi 1,504). Disisi lain ternyata juga terjadi peningkatan kualitas pada kekasaran permukaan yaitu menurunnya angka kekasaran (dari 1,563 menjadi 1,355). Hal ini akan dipertimbangkan sebagai usulan perbaikan kepada industri. Namun untuk lebih meyakinkan akan diuji lagi dengan metode MRSN.

Metode *Multi Respon Signal to Noise ratio* (MRSN) digunakan dalam penelitian ini karena dari hasil olah data dengan metode SNR didapat kesimpulan bahwa kondisi optimal terhadap respon terjadi perbedaan faktor-level. Jika metode MRSN dibandingkan dengan kondisi awal, terjadi peningkatan kondisi kualitas berupa penurunan tingkat keausan pahat (dari 2,139 menjadi 1,504). Disisi lain ternyata juga terjadi peningkatan kualitas pada kekasaran permukaan yaitu menurunnya angka kekasaran (dari 1,563 menjadi 1,355). Dari hasil analisa ternyata didapatkan bahwa kondisi faktor-level adalah sama antara metode MRSN dan SNR optimalisasi kekasaran permukaan. Oleh karena itu metode MRSN direkomendasikan sebagai usulan perbaikan kepada industri.

#### 4. KESIMPULAN

Faktor-faktor yang mempengaruhi respon kekasaran permukaan pada proses pemesinan mesin CNC bubut adalah kecepatan putaran, feeding, kedalaman pemakanan, dan sudut pahat dimana F hitung dari keempat faktor utama > F tabel. Faktor yang berpengaruh secara signifikan terhadap variable respon keausan pahat adalah kecepatan putaran, feeding, kedalaman pemakanan, dan sudut pahat, dimana F hitung > F tabel. Parameter pemotongan usulan untuk pengerjaan permesinan CNC bubut adalah kecepatan putaran sebesar 1000 rpm, feeding sebesar 0,6 mm/putaran, kedalaman pemakanan sebesar 0,5 mm dan pahat yang digunakan adalah pahat sudut 95o dimana hal ini menghasilkan kekasaran permukaan sebesar 1,355 µm dan keausan pahat sebesar 1,504 mgr. Terjadi peningkatan kualitas proses produksi berupa penurunan keausan pahat dari kondisi awal sebesar

2,139 mgr menjadi 1,504 mgr dan penurunan angka kekasaran permukaan dari kondisi awal 1,563  $\mu\text{m}$  menjadi 1,355  $\mu\text{m}$ .

Dengan menggunakan tingkat signifikansi :  $\alpha = 5\%$ , sehingga diketahui  $t_{\text{tabel}} = 2,78$ . Dengan menggunakan rumus tentang pengujian hipotesis tentang perbedaan dua rata – rata , didapat thitung sebesar 18,5543. Karena  $t_{\text{hitung}} \geq t_{\text{tabel}}$  ( $4,584 \geq 4,3027$ ) artinya ada perbedaan kekasaran permukaan pada kondisi awal dan pada kondisi optimal hasil eksperimen. Dari hasil thitung dapat dilihat bahwa kondisi optimal hasil eksperimen terbukti meningkatkan kualitas dari kondisi awal yaitu menurunkan angka kekasaran permukaan sehingga hasil produk pada kondisi optimal lebih halus.

## 5. DAFTAR PUSTAKA

- Adin Gilbran, Yudi Oktriadi, E. Y. (2024). Analisis Pengaruh Parameter Terhadap MRR Pada Benda Kerja di Mesin CNC Turning Dengan Model Taguchi. *Jurnal novasi Teknologi Terapan*, 02(1), 9–14.
- Arifin, Ishardita Pambudi Tama, Y. S. (2023). Analysis The Effectiveness Of CNC Turning Machines Type XTRA 420 Using The Overall Equipment Method Effectiveness (OEE). *Journal Of Engineering And Management In Industrial System*, 11(1), 46–53.
- Arunnath, A., & Masooth, P. H. S. (2020). Optimization of Process Parameters in CNC Turning Process on Machining SCM440 Steel by Uncoated Carbide and TiCN / Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> / TiN Coated Carbide Tool Under Dry conditions. *Materials Today: Proceedings*, xxxx.
- Bharathi, S. R. S., Ravindran, D., Marcel, A. A., Rajeshkumar, R., & Palanikumar, R. (2019). Materials Today: Proceedings Multi objective optimization of CNC turning process parameters with Acrylonitrile Butadiene Styrene material. *Materials Today: Proceedings*, xxxx.
- Dhanalakshmi, S., & Rameshbabu, T. (2020). Multi-Aspects Optimization OF Process Parameters In CNC Turning Of LM 25 Alloy Using The Taguchi Grey Approach. *Metals*.
- Eugen, R., Bologa, O., Gabriel, S., & Crengani, M. (2019). Selecting Between CNC Turning Centers Using a Combined AHP and Fuzzy Approach. *Procedia Computer Science*, 162, 290–297.
- Jekki Dodi Parlindungan Sihombing, Robrt Napitupulu, A. S. (2022). Analiss Material Removal Rate (MRR) Baja SKD 11 Pada Proses CNC Turning Dengan Menggunakan Metode Taguchi. *Prosiding Seminar Nasional Inovasi Teknologi Terapan*, 491–497.
- Jondi Supriyandi, Eko Yudo, A. S. (2021). Optimasi Kekasaran Permukaan Proses CNC Turning Baja SKD-11 Dengan Menggunakan Metode Taguchi. *Jurnal Syntax Admiration*, 2(7).
- Kumar, M. V., Meignanamoorthy, M., Sakthivelu, S., Kumar, S. D., Chanakyan, C., & Alagarsamy, S. V. (2020). Optimization of Material Removal Rate in CNC Turning of AA2024 Via Taguchi Technique. *Materials Today*, xxxx.
- Misaka, T., Herwan, J., Ryabov, O., Kano, S., Sawada, H., Kasashima, N., & Furukawa, Y. (2020). Prediction Of Surface Roughness In CNC Turning By Model -Assisted Responese Surface Methode. *Precision Engineering*, 62(December 2019), 196–203.
- Palaniappan, S. P., Muthukumar, K., Sabariraj, R. V, Kumar, S. D., & Sathish, T. (2019). CNC Turning Process Parameters Optimization on Aluminium 6082 alloy by Using Taguchi and ANOVA. *Matrial Today Chemistry*, xxxx.
- Shuang Ding, Hu Zhang, Erkuo Guo, weiwei Wu, Yifu Zhang, A. S. (2021). Integrated. *Integrated Roughing, Finishing And Chamfering Turning Process Of Toroidal Worm Manufacture On a General CNC Late*, 70(November 2020), 341–349.
- Subramanian, S. (2017). Investigating the Effect of Machining Parameters in CNC Turning Using DOE Investigating the Effect of Machining Parameters in CNC Turning Using DOE Technique. *IJLERA*, 02(02), 13–18.
- Verma, M., & Pradhan, S. K. (2019). Experimental and Numerical Investigations in CNC Turning for Different Combinations of Tool Inserts and Workpiece Material. *Materials Today: Proceedings*, xxxx.