

Parameter *setting level* optimal kekasaran permukaan hasil pembubutan pada mesin bubut dengan material *stainless steel* 304

Bambang Margono*, Edy Suryono, Endra Dwi Cahyol

Program Studi Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknologi Warga Surakarta

Email: *mejik80@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini menerapkan metode Taguchi untuk menentukan pengaturan parameter optimal dalam menghasilkan kekasaran permukaan terbaik pada proses pembubutan material *stainless steel* 304. Proses pemesian dilakukan menggunakan mesin bubut semi otomatis, dengan pahat *insert* karbida merek ZCC.CT sebagai alat potong. Parameter pemesian yang divariasikan meliputi kecepatan spindel, kecepatan pemakanan, kedalaman pemakanan, dan jenis cairan pendingin. Kombinasi keempat parameter tersebut disusun menggunakan matriks ortogonal L9, kemudian dianalisis menggunakan metode *Analysis of Variance* (ANOVA) dan rasio *signal-to-noise* (S/N) untuk menentukan parameter yang paling berpengaruh serta kombinasi optimalnya. Hasil analisis menunjukkan bahwa kecepatan pemakanan dan kedalaman pemakanan merupakan faktor yang paling signifikan memengaruhi kekasaran permukaan pada *stainless steel* 304. Parameter optimal untuk menghasilkan kualitas permukaan terbaik diperoleh pada kecepatan spindel 660 rpm, kecepatan pemakanan 0,12 mm/rev, kedalaman pemakanan 0,8 mm, dan penggunaan pendingin kering/udara.

Kata kunci: *insert* karbida ZCC.CT, kekasaran permukaan, *stainless steel* 304.

ABSTRACT

This study applies the Taguchi method to determine the optimal machining parameter settings for achieving the best surface roughness in the turning process of stainless steel 304. The machining process was carried out using a semi-automatic lathe, with a ZCC.A CT carbide insert tool is the cutting instrument. The machining parameters varied in this study include spindle speed, feed rate, depth of cut, and type of coolant. These four parameters were combined using an L9 orthogonal array, followed by Analysis of Variance (ANOVA) and signal-to-noise (S/N) ratio analysis to identify the most influential factors and optimal parameter combination. The ANOVA results indicate that feed rate and depth of cut are the most significant factors affecting surface roughness in stainless steel 304. The optimal machining parameters for achieving superior surface quality are a spindle speed of 660 rpm, a feed rate of 0.12 mm/rev, a depth of cut of 0.8 mm, and dry/air cooling.

Keywords: *carbide insert*. ZCC.CT, *surface roughness*, *stainless steel* 304,

1. PENDAHULUAN

Proses pembubutan tetap menjadi metode utama dalam manufaktur komponen presisi tinggi, seperti di industri otomotif dan medis [1, 2]. Salah satu indikator kualitas hasil pembubutan adalah kekasaran permukaan (*surface roughness*), yang sangat mempengaruhi performa fungsional komponen, seperti keausan, gesekan, dan ketahanan korosi [3, 4].

Kinerja permukaan dipengaruhi oleh berbagai parameter pemesinan, termasuk kecepatan *spindle*, *feed rate*, *depth of cut*, dan jenis *coolant* [5]. Misalnya, *feed rate* disebut sebagai parameter yang paling berpengaruh menurut studi Taguchi pada SS304 [6]. Selain itu, dukungan pendingin seperti MQL atau nanofluid terbukti dapat menurunkan nilai Ra hingga 40–44% dibandingkan kondisi kering [7-9].

Optimasi terhadap berbagai parameter ini umumnya dilakukan menggunakan metode Taguchi dan ANOVA untuk mendeteksi pengaruh dan kombinasi optimal [10, 11]. Studi hard turning SS304 menggunakan kombinasi Taguchi-GRA-PCA menunjukkan bahwa cutting speed signifikan memengaruhi umur alat dan waktu produksi, sementara depth of cut dominan terhadap kekasaran permukaan [12].

Penelitian lanjutan menggunakan *coolant* jenis *nanofluid*-MQL pada SS304 menunjukkan peningkatan kualitas permukaan dan umur alat [13, 14]. Pendekatan lebih lengkap, seperti Taguchi-GRA dan Taguchi-PCA juga sudah banyak diterapkan dalam optimasi SS304 [12, 15].

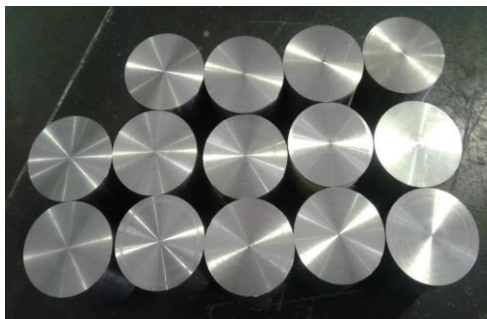
Namun demikian, sebagian besar studi sebelumnya hanya menggunakan kombinasi terbatas dari parameter pemesinan, sehingga hasilnya belum sepenuhnya komprehensif. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi dan mengoptimalkan kombinasi empat parameter utama (kecepatan *spindle*, kecepatan pemakanan, kedalaman pemakanan, dan jenis pendingin) dalam proses pembubutan *stainless steel* 304. Diharapkan hasil penelitian ini dapat memberikan kontribusi signifikan dalam pengembangan strategi pemesinan yang efisien dan berkualitas tinggi.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Alat dan bahan

Pengambilan data kekasaran permukaan dalam penelitian ini dilakukan menggunakan mesin bubut konvensional *JET Engine* tipe GH-1604ZX, disajikan pada Gambar 2. Mesin ini mampu melakukan proses pembubutan dengan presisi tinggi dan dilengkapi dengan sistem digital untuk pengaturan parameter pemesinan. Mesin *JET Engine* mendukung kecepatan *spindle* yang tinggi dan menggunakan pahat insert karbida tipe ZCC.CT untuk menunjang efisiensi proses pemotongan.

Material yang digunakan dalam pengujian adalah *stainless steel* 304, berbentuk silinder dengan diameter 38 mm dan panjang 100 mm, disajikan pada Gambar 1. Pengujian kekasaran permukaan dilakukan menggunakan alat *Surface Roughness Tester* SE 1700, yang memberikan hasil pengukuran permukaan dengan akurasi tinggi.



Gambar 1. Material *stainless steel* 304

Stainless steel tipe 304 merupakan jenis yang paling umum digunakan dalam industri manufaktur. Material ini sering disebut “18-8” karena mengandung sekitar 18% kromium dan 8% nikel. SS 304 memiliki keunggulan dalam kemudahan pembentukan, kemampuan pengelasan, serta

ketahanan korosi yang sangat baik, bahkan pada lingkungan bersuhu rendah. Dari segi komposisi kimia, kekuatan mekanik, kemampuan las, dan ketahanan terhadap korosi, SS 304 menawarkan kinerja unggul dengan harga yang relatif ekonomis, menjadikannya pilihan utama dalam berbagai aplikasi teknik.



Gambar 2. Mesin Bubut Jet

2.2 Desain Penelitian

Parameter permesinan bubut seperti kecepatan *spindle* (N), kecepatan pemakanan (f), kedalaman pemakanan (d) dan cairan pendingin telah dipilih sebagai faktor desain, sedangkan parameter lain dianggap konstan. Tabel 1 menunjukkan nilai dari setiap faktor desain pada penelitian ini dengan level yang berbeda

Tabel 1. Parameter proses bubut, kode dan levelnya untuk susunan ortogonal

Faktor	Level 1	Level 2	Level 3
Kecepatan <i>Spindle</i>	660 Rpm	870 Rpm	1400 Rpm
Kecepatan Pemakanan	0.08 mm/rev	0.10 mm/rev	0.12 mm/rev
Kedalaman Pemakanan	0.8 mm	1 mm	1.2 mm
Media Pendingin	Bromus	Minyak Nabati	Dry/Udara

2.3 Metode Pengambilan Data dengan Taguchi

Metode Taguchi digunakan untuk mengoptimalkan parameter pemesinan terhadap nilai kekasaran permukaan (R_a) pada material. Parameter pemesinan yang dikaji meliputi kecepatan spindle, kecepatan pemakanan (*feed rate*), kedalaman pemotongan, dan jenis pendingin (*coolant*). Kombinasi dari keempat parameter tersebut disusun menggunakan rancangan ortogonal L9, yang kemudian dianalisis lebih lanjut menggunakan analisis varians (ANOVA) dan rasio *signal-to-noise* (S/N) untuk memperoleh parameter optimum Analisis statistik varian. ANOVA digunakan untuk mengetahui faktor utama yang berpengaruh secara signifikan terhadap variabel respon kekasaran material. Rasio S/N digunakan untuk mencari faktor-faktor yang memiliki kontribusi pada pengurangan variansi suatu karakteristik kualitas. Persamaan 1 untuk mencari nilai rasio S/N adalah perhitungan untuk mencari nilai rasio S/N.

$$\eta = -10 \log \left[\frac{1}{n} (\sum y_i^2) \right] \quad (1)$$

dimana η adalah rasio S/N, y_i adalah nilai pengukuran kekasaran tiap titik, n adalah jumlah pengambilan pengukuran. Nilai rasio S/N terkecil menunjukkan karakteristik kualitas yang terbaik

3. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Kekasaran permukaan material *stainless steel* 304 hasil dari proses permesinan bubut telah diperoleh seperti ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil penelitian dengan susunan ortogonal dan nilai kekasaran permukaannya

Exp No	faktor				Ra (μm)			Rata- rata
					Replikasi 1	Replikasi 2	Replikasi 3	
	A	B	C	D				
1	1	1	1	1	0.74	1.60	0.74	1.03
2	1	2	2	2	1.04	0.96	0.88	0.96
3	1	3	3	3	1.52	1.34	1.16	1.34
4	2	1	2	3	0.80	0.96	0.80	0.85
5	2	2	3	1	1.04	0.92	0.98	0.98
6	2	3	1	2	1.24	1.52	1.24	1.33
7	3	1	3	2	0.82	0.68	0.54	0.68
8	3	2	1	3	0.72	1.18	0.72	0.87
9	3	3	2	1	1.32	1.32	1.30	1.31

Data hasil pengujian kekasaran permukaan *stainless steel* 304 diolah dengan menggunakan ANOVA. Tabel 3 menunjukkan apakah semua faktor desain yang telah ditentukan berpengaruh terhadap kekasaran permukaan. Hasil analisis menunjukkan parameter kecepatan spindle, kecepatan pemakanan, kedalaman pemakanan, dan cairan memiliki pengaruh terhadap nilai kekasaran permukaan. Hal ini dapat dilihat dari nilai F hitung lebih kecil daripada nilai F tabel. Nilai F tabel sebesar 3,55 diperoleh dari tabel distribusi dengan probabilitas sebesar 0,05.

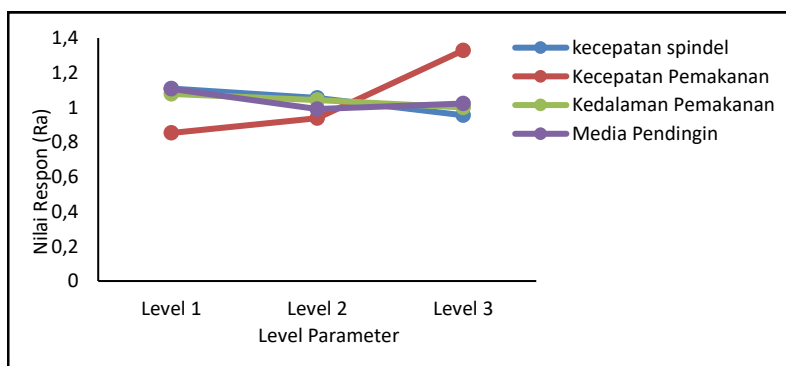
Nilai respon Ra akibat pengaruh faktor desain dengan level berbeda telah dirangkum dalam Tabel 4. Kecepatan pemakanan dan kedalaman pemakanan merupakan faktor yang paling berpengaruh terhadap kekasaran permukaan. Sedangkan kecepatan putaran spindle memiliki pengaruh paling sedikit. Gambar 3 menunjukkan pengaruh faktor desain tiap level terhadap kekasaran permukaan. Kecepatan spindle menghasilkan nilai kekasaran permukaan minimum pada level 3 Kecepatan pemakanan level 1 dan kedalaman pemakanan pada level 3, sedangkan cairan pendingin pada level 2.

Tabel 3. Hasil ANOVA untuk kekasaran permukaan *stainless steel* 304

Sumber Variasi	DOF	S	MS	F hitung	F tabel
A	2	26.062	13.031	-2.388	3.55
B	2	27.132	13.566	-2.486	3.55
C	2	25.982	12.991	-2.381	3.55
D	2	26.017	13.009	-2.384	3.55
Error	18		-5.457		
Total	26				

Tabel 4. Respon Ra untuk kekasaran permukaan *stainless steel* 304

Level	A (rpm)	B (mm/rev)	C (mm)	D (cairan pendingin)
Level 1	1.109	0.853	1.078	1.107
Level 2	1.055	0.938	1.042	0.991
Level 3	0.955	1.329	1.000	1.022
$\Delta_{\max} - \Delta_{\min}$	0.154	0.476	0.078	0.116
Ranking	3	4	1	2



Gambar 3. Pengaruh level parameter milling terhadap respon Ra

Berdasarkan analisis ANOVA menunjukkan bahwa parameter bubut seperti kecepatan spindle, kecepatan pemakanan, kedalaman pemakanan dan cairan pendingin memberikan pengaruh terhadap nilai kekasaran permukaan. Parameter proses bubut yang paling optimum untuk menghasilkan kekasaran permukaan minimum dapat ditentukan dengan menggunakan analisis rasio S/N. Tabel 5 menunjukkan nilai rasio S/N untuk semua percobaan.

Tabel 5. Hasil perhitungan rasio S/N untuk kekasaran permukaan *stainless steel* 304

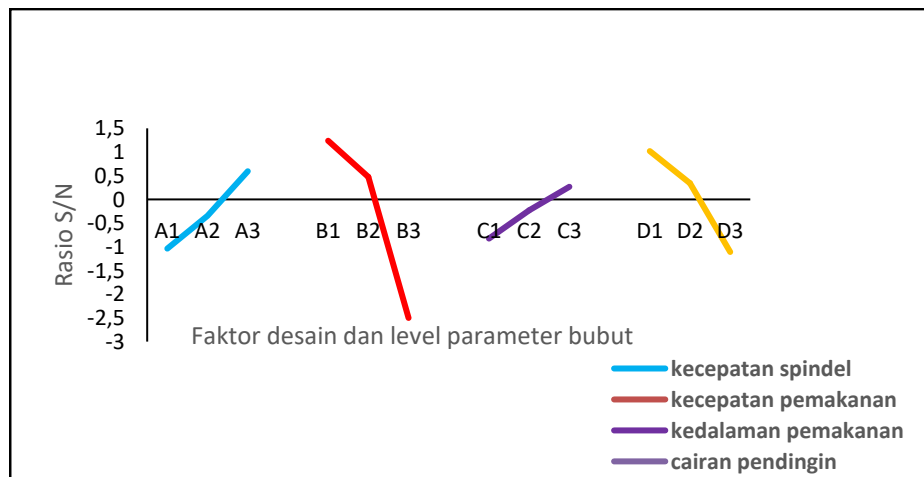
Exp. No	$\bar{R}_a$	Rasio S/N
1	1.02	-0.86
2	0.96	0.335
3	1.34	-2.594
4	0.85	1.344
5	0.98	0.165
6	1.333	-2.541
7	0.68	3.229
8	0.87	0.922
9	1.31	-2.368

Tabel 5 menyajikan pengaruh faktor desain dan level parameter milling terhadap nilai rasio S/N. Respon dari rasio S/N untuk kekasaran permukaan ditunjukkan pada Tabel 6. Gambar 4

menunjukkan faktor desain dan level parameter milling yang optimum untuk mendapatkan kekasaran permukaan paling kecil. Penilaian berdasarkan karakteristik *small-the-better*, maka dapat diketahui bahwa parameter A1, B3, C1 dan D3 merupakan parameter proses bubut yang optimum untuk menghasilkan kekasaran permukaan terbaik.

Tabel 6. Respon rasio S/N untuk kekasaran permukaan stainless steel 304

Level	A (rpm)	B (mm/rev)	C (mm)	D (cairan pendingin)
Level 1	-1.039	1.238	-0.826	--1.020
Level 2	-0.344	0.474	-0.230	0.341
Level 3	0.594	-2.501	0.267	-1.109
Selisih	-1.634	-3.739	-1.092	-1.450
Ranking	2	4	1	3
Optimum	A1	B3	C1	D3



Gambar 4. Pengaruh faktor desain dan level parameter milling terhadap rasio S/N

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis proses permesinan bubut untuk stainless steel 304, maka dapat ditarik kesimpulan dari penelitian ini sebagai berikut :

1. Berdasarkan hasil eksperimen yang telah dilakukan, pengaruh dari putaran spindle terhadap kekasaran permukaan pada proses permesinan bubut material kuningan tidak berpengaruh signifikan. Akan tetapi, faktor yang lebih berpengaruh secara signifikan adalah kecepatan pemakanan dan kedalaman pemakanan
2. Parameter proses pemesinan bubut konvensional yang optimal untuk menghasilkan kekasaran permukaan yang baik pada material *stainless steel* 304 yaitu kecepatan putaran spindle 1400 rpm, kecepatan pemakanan 0.12 mm/rev, kedalaman pemakanan 0,8 mm dan pendingin Dry/Udara.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. A. Özbek, M. İ. Karadag, and O. Özbek, "Optimization of flank wear and surface roughness during turning of AISI 304 stainless steel using the Taguchi method," vol. 62, no. 9, pp. 957-961, 2020, doi: [doi:10.3139/120.111571](https://doi.org/10.3139/120.111571).
- [2] Y. Su, G. Zhao, Y. Zhao, J. Meng, and C. Li, "Multi-Objective Optimization of Cutting Parameters in Turning AISI 304 Austenitic Stainless Steel," vol. 10, no. 2, p. 217, 2020. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2075-4701/10/2/217>.
- [3] S. A. Bagaber and A. R. Yusoff, "Effect of cutting parameters on sustainable machining performance of coated carbide tool in dry turning process of stainless steel 316," *AIP Conference Proceedings*, vol. 1828, no. 1, 2017, doi: 10.1063/1.4979384.
- [4] M. A. Xavier and M. Adithan, "Determining the influence of cutting fluids on tool wear and surface roughness during turning of AISI 304 austenitic stainless steel," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 209, no. 2, pp. 900-909, 2009/01/19/ 2009, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2008.02.068>.
- [5] M. Nalbant, H. Gökkaya, and G. Sur, "Application of Taguchi method in the optimization of cutting parameters for surface roughness in turning," *Materials & Design*, vol. 28, no. 4, pp. 1379-1385, 2007/01/01/ 2007, doi: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2006.01.008>.
- [6] E. Nas and N. Altan Özbek, "Optimization of the machining parameters in turning of hardened hot work tool steel using cryogenically treated tools," *Surface Review and Letters*, vol. 27, no. 05, p. 1950177, 2020, doi: 10.1142/s0218625x19501774.
- [7] A. T. Abbas, S. Anwar, E. Abdelnasser, M. Luqman, J. E. A. Qudeiri, and A. Elkaseer, "Effect of Different Cooling Strategies on Surface Quality and Power Consumption in Finishing End Milling of Stainless Steel 316," vol. 14, no. 4, p. 903, 2021. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/1996-1944/14/4/903>.
- [8] A. Pal, S. S. Chatha, and H. S. Sidhu, "Assessing the lubrication performance of various vegetable oil-based nano-cutting fluids via eco-friendly MQL technique in drilling of AISI 321 stainless steel," *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, vol. 44, no. 4, p. 148, 2022/03/21 2022, doi: 10.1007/s40430-022-03442-w.
- [9] P. B. Patole and V. V. Kulkarni, "Optimization of Process Parameters based on Surface Roughness and Cutting Force in MQL Turning of AISI 4340 using Nano Fluid," *Materials Today: Proceedings*, vol. 5, no. 1, Part 1, pp. 104-112, 2018/01/01/ 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.11.060>.
- [10] N. J. Rathod *et al.*, "Design and optimization of process parameters for hard turning of AISI 304 stainless steel using Taguchi-GRA-PCA," *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*, vol. 17, no. 5, pp. 2403-2414, 2023/10/01 2023, doi: 10.1007/s12008-022-01021-w.
- [11] S. Tiwari, M. Amarnath, M. K. Gupta, and M. A. Makhesana, "Performance assessment of nano-Al₂O₃ enriched coconut oil as a cutting fluid in MQL-assisted machining of AISI-1040 steel," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 129, no. 3, pp. 1689-1702, 2023/11/01 2023, doi: 10.1007/s00170-023-12394-x.
- [12] N. J. Rathod, B. Praveen, M. Gitay, S. N. Patil, and M. T. Patel, "Optimization Of Multiple Objectives in The Machining Process of SS304 Sheet Metal Components," *Journal of Neonatal Surgery*, vol. 14, no. 14s, pp. 801-809, 2025, doi: <https://doi.org/10.63682/jns.v14i14S.4132>.
- [13] A. Das, O. Pradhan, S. K. Patel, S. R. Das, and B. B. Biswal, "Performance appraisal of various nanofluids during hard machining of AISI 4340 steel," *Journal of Manufacturing Processes*, vol. 46, pp. 248-270, 2019/10/01/ 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2019.07.023>.

- [14] Raflan and D. Feriyanto, "Analisis Pengaruh Nanofluida Heat Transfer Oil (HTO) / SiO₂ Dengan Metode Taguchi Pada Pembubutan Minimum Quantity Lubrication (MQL) Baja ST 37," *AME : Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, vol. 10, no. 2, pp. 95-107, 2024, doi: <https://doi.org/10.32832/ame.v10i2.825>.
- [15] P. D. Kamble, A. C. Waghmare, R. D. Askhedkar, S. B. Sahare, M. Patil, and S. V. Prayagi, "Performance evaluation of CNC turning process for tool tip temperature and tool wear by Taguchi method," *Materials Today: Proceedings*, vol. 62, pp. 981-986, 2022/01/01/ 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.04.147>.