

## OPTIMASI PARAMETER PEMOTONGAN CNC *WET MILLING* TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN *STAINLESS STEEL* AISI 304

Deni Mulyana<sup>1</sup>, Ilham Azmy<sup>2</sup>, Alvaro Gabriel<sup>3</sup>, Rudy Yuni Widiatmoko<sup>4</sup> & Petrus Londa<sup>5</sup>

<sup>1,3</sup>Program Studi Proses Manufaktur, Politeknik Negeri Bandung

<sup>2,4,5</sup>Program Studi Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bandung

E-mail: [ilham.azmy@polban.ac.id](mailto:ilham.azmy@polban.ac.id)

**Abstrak:** Optimasi parameter pemotongan proses CNC *wet milling stainless steel* AISI 304 telah berhasil dilakukan dengan penggunaan metode Taguchi (S/N ratio dan ANOVA). *L9 orthogonal array* dimanfaatkan untuk merancang proses eksperimen dengan tiga level parameter dari kecepatan spindle dan kecepatan pemakanan dengan kenaikan kedalaman pemotongannya. Pengaruh dari parameter pemotongan terhadap kekasaran permukaan *stainless steel* AISI 304 turut diinvestigasi pada penelitian ini. Berdasarkan tabel respon S/N ratio, hasilnya menunjukkan bahwa kecepatan spindle ini merupakan faktor yang penting untuk mempengaruhi kekasaran permukaan daripada kecepatan pemakanan pada *stainless steel* AISI 304. Hasil dari pengolahan ANOVA memperlihatkan bahwa persentase kontribusi kecepatan spindle untuk kekasaran permukaan lebih besar daripada kecepatan pemakanan. Nilai parameter pemotongan optimum yang didapat dari kecepatan spindle sebesar 3184 rpm dan kecepatan pemakanan sebesar 1528,4 mm/min. Hasil eksperimen pada parameter pemotongan optimum telah dibandingkan dengan nilai prediksi dan menunjukkan kesamaan yang signifikan dengan persentase *error* yang sangat kecil. Dengan demikian, penelitian ini memberikan pengembangan pada kualitas dan produktivitas dari proses pemesinan CNC *milling* untuk material *stainless steel* AISI 304. Namun, jumlah studi terhadap optimasi *stainless steel* AISI 304 masih belum selesai sepenuhnya. Selanjutnya, investigasi lanjutan masih diperlukan untuk mengoptimasi parameter pemotongan *stainless steel* AISI 304 ini untuk proses pemesinan yang lebih bervariasi khususnya pada CNC *milling*.

**Kata Kunci:** Stainless Steel AISI 304, CNC Wet Milling, Parameter Pemotongan, Kekasaran Permukaan

**Abstract:** Optimization of CNC *wet milling cutting parameters for stainless steel AISI 304* was successfully attempted by using Taguchi method (S/N ratio and ANOVA). *L9 orthogonal array* is utilized for designing the experiments with 3 levels of spindle speeds and feed rates with an increment depth of cut. The effect of cutting parameters on surface roughness was examined. According to S/N ratio's response table, the result obtained for spindle speed fervently indicates that spindle speed is the most pivotal factor for impacting the surface roughness than feed rate for stainless steel AISI 304. ANOVA results depicted that the contribution percentage of spindle speed for surface roughness is higher than feed. Optimum values of cutting parameters were endowed at a spindle speed of 3184 rpm and a feed rate of 1528,4 mm/min. The experimental values at optimum cutting condition were compared with predicted values and it reveals a significant congruity with the experimental results with a low error percentage. Therefore, this experiment aims to develop the productivity and quality of CNC *milling operations for stainless steel AISI 304*. In addition, number of studies for cutting parameter optimization *stainless steel AISI 304* was not barely done yet. Hereafter, more investigations still needed to optimize the cutting parameters of this *stainless steel AISI 304* for various machining operations specifically on CNC *milling process*.

**Keywords:** Stainless Steel AISI 304, CNC Wet Milling, Cutting Parameters, Surface Roughness

### PENDAHULUAN

Dalam kaitannya dengan ketahanan korosi yang khas, koefisien konduksi panas yang rendah, dan sifat mekanik yang baik, baja tahan karat atau lebih dikenal sebagai *stainless steel* merupakan salah satu material yang banyak digunakan pada berbagai aplikasi industri seperti industri kesehatan, makanan, kimia, kelautan, pertahanan, pembangkit listrik, dan bahkan penggunaannya meningkat secara kontinyu setiap waktu (Zhou, He, Wu, Du, & Zou, 2019). *Stainless steel* khususnya seri AISI 304 dikategorikan dalam *austenitic stainless steel* yang memiliki ketahanan korosi yang sangat baik (hingga diatas temperatur 650 °C), dan sifat mekaniknya bisa ditingkatkan dengan proses perlakuan panas (Basmaci, 2018). *Stainless steel*

tersebut juga memiliki ketahanan yang baik terhadap *pitting* korosi pada lingkungan air laut sekitar 20%. Namun demikian, beberapa studi yang ada pada literatur mengenai sifat mampu mesin (*machinability*) dari stainless steel seri AISI 304 masih sangat terbatas (Su, Zhao, Zhao, Meng, & Li, 2020).

Salah satu proses industri untuk mengolah *stainless steel* adalah proses permesinan. Proses permesinan (*machining*) adalah istilah umum yang didefinisikan sebagai serangkaian proses pada suatu benda (*raw material*) yang diproses melalui pemotongan material, pembuangan material, dan modifikasi permukaan benda kerja dengan beragam metode pengerjaan, hingga pada tahap akhir menjadi suatu produk utuh yang berkualitas bagus dan bernilai jual tinggi (Elewa et al., 2021). Proses permesinan yang dilakukan pada mesin *CNC milling* adalah proses penyayatan benda kerja menggunakan alat potong yang berputar. Beberapa parameter yang bisa mempengaruhi proses permesinan adalah *cutting speed* yang berhubungan dengan dengan putaran motor dan diameter alat potong, *feed rate* berhubungan dengan kecepatan pemakanan dan *depth of cut* berkaitan dengan kedalaman pemakanan (Arfendi, Napitupulu, & Pranandita, 2021). Ketiga parameter pemakanan tersebut merupakan parameter penting dalam sebuah proses permesinan.

Pemilihan parameter pemotongan yang tepat dalam proses permesinan adalah hal yang sangat penting untuk meraih kualitas produk yang baik serta proses yang ekonomis dan produktif. Untuk mengetahui optimasi parameter pemotongan yang tepat, maka pada penelitian ini dilakukan proses pemotongan dengan 3 level berbeda (*cutting speed, dept of cut, feed rate*) pada permesinan *CNC wet milling* material *stainless steel* AISI 304. Dari hasil proses pemotongan tersebut, selanjutnya akan dilakukan pengukuran terhadap nilai kekasaran permukaan dari benda kerjanya. Dengan demikian, penelitian ini akan dapat memperlihatkan optimasi parameter pemotongan yang tepat terhadap pengaruh kekasaran permukaan material *stainless steel* AISI 304.

## METODE

Metode eksperimen yang dilakukan pada penelitian ini terdiri dari beberapa uji coba menggunakan spesimen. Tahapan eksperimen meliputi beberapa proses, yaitu:

### 1. Pemilihan Material

Material yang digunakan pada penelitian ini merupakan baja tahan karat (*stainless steel*) komersil standar AISI 304 dengan dimensi spesimen 150x100x10 mm.



Gambar 1. Spesimen AISI 304

### 2. Pengujian Komposisi

Pengujian komposisi dilakukan untuk memastikan kandungan unsur kimia pada baja tahan karat yang digunakan dalam penelitian telah sesuai dengan standar *stainless steel* AISI 304. Pengujian komposisi menggunakan alat Spektrometri yang berada di Balai Besar Logam dan Mesin, Kementerian Perindustrian.

### 3. Pengujian Milling

*CNC Wet Milling* dilakukan dengan menggunakan mesin *CNC Chevallier 2443 VMC (Vertical Machine Centers)* dan *coolant* berjenis Ascella. Kapasitas daya mesin sebesar 11 kW dan kapasitas tegangan mesin 15 kVa.



Gambar 2. Mesin CNC Chevallier

Pisau pahat yang digunakan sepanjang proses eksperimen berjenis HGT EB1010 dan Senyo Tungsten Carbide Z1MPCR yang masing-masing berdiameter 10 mm.



Gambar 3. Pisau Pahat HGT (atas) dan Senyo (bawah)

#### 4. Parameter Proses Pemotongan

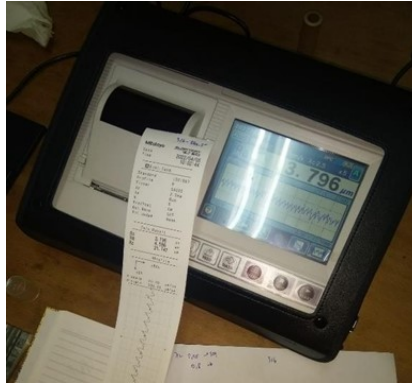
Parameter pemotongan yang digunakan dalam penelitian ini adalah putaran spindel, kecepatan pemakanan, dan kedalaman pemakanan. Masing-masing parameter menggunakan tiga level nilai variabel (Tabel 1).

Tabel 1. Parameter dan Level Pemotongan

Parameter	Level 1	Level 2	Level 3
Spindle Speed (rpm)	2707	3184	3821
Feed Rate (mm/menit)	541,4	1018,58	1528,4
Depth of Cut (mm)	0,3	0,4	0,5

#### 5. Pengujian Kekasaran Permukaan

Pengujian kekasaran permukaan (*surface roughness*) dilakukan untuk mengukur tingkat kekasaran permukaan dari spesimen baja tahan karat AISI 304 yang dihasilkan dari proses *CNC Wet Milling*. Proses pengujian menggunakan Mitutoyo *Surface Roughness Tester* SJ-310 yang dapat dilihat pada Gambar 4. Adapun alat uji kekasaran permukaan yang digunakan berlokasi di Laboratorium Metrologi, Politeknik Negeri Bandung.

Gambar 4. Alat *Surface Roughness Tester*

## 6. Analisis Data

Analisis data dari pengaruh optimasi proses pemotongan *CNC wet milling* terhadap kekasaran permukaan dilakukan dengan menggunakan Metoda Taguchi dan ANOVA dengan perhitungan memanfaatkan *software* MiniTab.

## HASIL DAN DISKUSI

### *Data Pengujian Spektrometri*

Pengujian spektrometri dilakukan untuk memastikan kesesuaian kandungan unsur kimia spesimen baja tahan karat (*stainless steel*) yang digunakan dalam penelitian dengan standar AISI 304 (Kaynak & Kitay, 2018). Tabel 2 memperlihatkan data hasil pengujian spektrometri yang telah dilakukan untuk spesimen baja tahan karat yang digunakan dalam penelitian ini.

Tabel 2. Data Hasil Pengujian Spektrometri

No	Unsur	Nilai (%)
1	Ferro ( Fe )	69,8
2	Carbon ( C )	0,0401
3	Silicon ( Si )	0,354
4	Manganese ( Mn )	1,73
5	Phosporus ( P )	0,0415
6	Sulfur ( S )	0,0205
7	Chromium ( Cr )	18,1
8	Molybdenum ( Mo )	0,273
9	Nickel ( Ni )	8,01
10	Copper ( Cu )	1,16
11	Cobalt ( Co )	0,354
12	Titanium ( Ti )	0,0050
13	Tin ( Sn )	0,0094
14	Aluminium ( Al )	0,0030
15	Lead ( Pb )	0,0150
16	Vanadium ( V )	0,0737
17	Niobium ( Nb )	0,0093
18	Wolfram ( W )	0,0500

Berdasarkan data pada Tabel 2 tersebut, spesimen baja tahan karat yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari kandungan nilai unsur kimia utama *Ferro* (Fe) sebesar 69,8 %, *Chromium* (Cr) sebesar 18,1 %, dan *Nickel* (Ni) sebesar 8,01 %. Dengan demikian, hasil pengujian spektrometri spesimen baja tahan karat yang digunakan dalam penelitian telah sesuai dengan standar *stainless steel* AISI 304 (Sharma & Gupta, 2019).

### Data Pengujian Kekasaran Permukaan

Metode Taguchi digunakan untuk menentukan variasi nilai variabel tiap parameter. Hal ini ditentukan dengan pemilihan *orthogonal array* yang sesuai. Pemilihan *Orthogonal array* yang akan digunakan tidak boleh kurang dari total derajat kebebasan dari parameter pemotongan (Endrian, Subhan, & Yuliyanto, 2021). Tabel 3 menunjukkan jumlah total derajat kebebasan dari parameter yang digunakan pada proses pemesinan *stainless steel* AISI 304.

Tabel 3. Jumlah Total Derajat Kebebasan Parameter

Parameter	Banyak level	DoF (Derajat kebebasan)
<i>Spindle Speed</i>	3	2
<i>Feed Rate</i>	3	2
<i>Depth of cut</i>	3	2
<b>Total</b>		<b>6</b>

Berdasarkan kondisi tabel 3, maka *Orthogonal array* yang dipakai adalah L9 ( $3^3$ ). Dengan menggunakan perangkat lunak Minitab, diperoleh variasi parameter untuk *orthogonal array* L9 (Apreza, Kurniawan, & Subhan, 2017). Variasi yang dihasilkan menjadi dasar untuk melakukakan proses pemotongan di mesin CNC. Setelah itu dilakukan pengukuran kekasaran permukaan untuk setiap variasi tersebut. Penilaian terhadap kekasaran permukaan menjadi penting untuk dapat mengevaluasi hasil pemesinan yang telah dilakukan (Pradani, Sulaiman, & Hardiyanto, 2020). Banyaknya variasi dan nilai kekasaran yang diperoleh ditampilkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Variasi Parameter Pemotongan Dan Nilai Kekasaran Permukaan

No	Spindle Speed (Rpm)	Feed Rate (mm/min)	Depth of cut (mm)	Ra ( $\mu\text{m}$ )
1	2707	541,4	0,3	0,324
2	2707	1018,58	0,4	0,471
3	2707	1528,4	0,5	0,424
4	3184	541,4	0,4	0,321
5	3184	1018,58	0,5	0,339
6	3184	1528,4	0,3	0,282
7	3821	541,4	0,5	0,552
8	3821	1018,58	0,3	0,254
9	3821	1528,4	0,4	0,298

### Pengaruh Parameter Pemotongan Secara Individual

Pengaruh parameter pemotongan secara individual yang dilakukan pada penelitian ditunjukkan pada melalui uji F dan P yang direpresentasikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Tabel F dan P

Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Spindle Speed (Rpm)	2	0,012798	19,08%	0,012798	0,006399	0,65	0,605
Feed Rate (mm/min)	2	0,004531	6,75%	0,004531	0,002265	0,23	0,812
Depth of cut (mm)	2	0,030172	44,98%	0,030172	0,015086	1,54	0,394
Error	2	0,019580	29,19%	0,019580	0,009790		
Total	8	0,067080	100,00%				

### Perhitungan Rasio S/N

Untuk mencari faktor yang berpengaruh terhadap kekasaran permukaan, dilakukan perhitungan S/N Ratio dengan karakteristik *smaller the better* (Budiana et al., 2020). Adapun hasil perhitungan ditunjukkan pada Tabel 6. Setelah diperoleh data kekasaran permukaan, data S/N Ratio diklasifikasikan menjadi A1,A2,B1,B2,C1,C2, dan seterusnya kemudian dirata-ratakan nilai dari setiap faktor dan level tersebut. A1 mengindikasikan bahwa hasil Ra yang melibatkan A1 atau Spindle Speed level 1 yaitu pada rpm 2707 rpm, B1 adalah indikasi hasil Ra yang melibatkan B1 atau feed rate level 1 yaitu pada kecepatan 541.4 mm/min, dan C1 mengindikasikan bahwa hasil Ra yang

melibatkan C1 atau Depth of cut level 1 yaitu 0.3 mm (Jadhav & Kumar, 2019).

Tabel 6. Perhitungan S/N Ratio

No	Spindle Speed (Rpm)	Feed Rate (mm/min)	Depth of cut (mm)	S/N Ratio 304
1	2707	541,4	0,3	9,7891
2	2707	1018,58	0,4	6,539582
3	2707	1528,4	0,5	7,452683
4	3184	541,4	0,4	9,869899
5	3184	1018,58	0,5	9,396006
6	3184	1528,4	0,3	10,99502
7	3821	541,4	0,5	5,161218
8	3821	1018,58	0,3	11,90333
9	3821	1528,4	0,4	10,51567

Berikut contoh pengolahan data dan tabel pengolahan data dari proses pengelompokkan dan nilai rata rata dari parameter parameter tersebut:

$$\begin{aligned} \text{Rata rata nilai S/N untuk A1 (Spindle Speed Level 1)} &= (9.7891 + 6.539582 + 7.452683) / 3 \\ &= 7.927122 \end{aligned}$$

Perhitungan lengkap ditampilkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Tabel respon S/N Ratio

Parameters	S/N 304
A1	7,927122
A2	10,08697
A3	9,193406
B1	8,273406
B2	9,279638
B3	9,654458
C1	10,89581
C2	8,975052
C3	7,336636

Berdasarkan Tabel 7 diperoleh data bahwa parameter optimum untuk *stainless steel* AISI 304 adalah kombinasi dari A2 B3 C1, yaitu kombinasi dari *spindle speed* dengan kecepatan 3184 rpm, *feed rate* 1528.4 mm/min, dan *depth of cut* dengan kedalaman 0.3 mm.

#### **Pengaruh Keseluruhan Parameter Terhadap Kekasaran Permukaan**

Setelah nilai S/N ratio diperoleh maka dilakukan ANOVA untuk semua parameter pemotongan sehingga kontribusi parameter secara bersamaan terhadap kekasaran permukaan dapat diperkirakan (Pribadi, Yulianto, & Girawan, 2020). Hasil pengolahan data ditunjukkan pada Tabel 8.

Tabel 8. ANOVA S/N Ratio

Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Spindle Speed (Rpm)	2	7,240	20,22%	7,240	3,620	0,82	0,549
Feed Rate (mm/min)	2	2,340	6,54%	2,340	1,170	0,27	0,790
Depth of cut (mm)	2	17,412	48,64%	17,412	8,706	1,98	0,336
Error	2	8,808	24,60%	8,808	4,404		
Total	8	35,800	100,00%				

Tabel 8 memperlihatkan bahwa parameter yang berkontribusi paling besar dalam *Signal to Noise Ratio* pada AISI 304 adalah *depth of cut* dengan persentase dan error berturut turut adalah 48,64% dan 24.60%.

### **Prediksi Kekasaran Optimum**

Dengan menggunakan MiniTab dapat diperkirakan variasi parameter pemotongan yang menghasilkan kekasaran permukaan yang optimum (Farizi Rachman, K, Setiawan, & Nurkholies, 2020). Nilai parameter dan nilai kekasaran optimum ditunjukkan pada Tabel 9 dan Tabel 10.

Tabel 9. Parameter Kondisi Optimum untuk AISI 304

Variable	Value
Spindle Speed (rpm)	3184
Feed Rate (mm/min)	1528,4
Depth of cut (mm)	0,3

Tabel 10. Nilai Kekasara Optimum untuk AISI 304

Fit	95% CI
0,216444	(-0,159004; 0,591893)

Berdasarkan Tabel 9 dan Tabel 10 diperoleh informasi bahwa parameter pemotongan optimum untuk AISI 304 didapatkan pada nilai putaran spindle 3184 rpm, kecepatan pemakanan 1528,4 mm/min dan kedalaman pemotongan 0,3 mm dengan prediksi kekasaran permukaan optimum sebesar 0.21  $\mu\text{m}$  dengan nilai interval minimum dan maksimum sebesar -0,15 dan 0,59  $\mu\text{m}$ . Kedalaman pemakanan (*dept of cut*) menjadi faktor penentu yang sangat signifikan dalam perubahan nilai kekasaran permukaan pada proses CNC *wet milling stainless steel* AISI 304. Hal tersebut dapat disebabkan oleh getaran mesin selama proses CNC *wet milling* (Kaisan & Rusiyanto, 2020).

### **SIMPULAN**

Proses pemesinan CNC *wet milling* telah berhasil dilakukan untuk mengoptimasi parameter pemotongan *stainless steel* AISI 304 menggunakan metode Taguchi. Parameter pemotongan optimum untuk  $R_a$  *stainless steel* AISI 304 dengan *spindle speed* 3184 rpm dan *feed rate* 1528,4 mm/min. Faktor kekasaran permukaan ( $R_a$ ) *stainless steel* AISI 304 lebih banyak dipengaruhi oleh kedalaman pemotongan (*depth of cut*) selama proses CNC *wet milling stainless steel* AISI 304 ini.

### **UCAPAN TERIMA KASIH**

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pusat Penelitian dan Pengabdian (P3M) beserta Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Bandung yang telah memberikan fasilitas dan dukungan dalam pelaksanaan penelitian ini.

### **DAFTAR RUJUKAN**

- Apreza, S., Kurniawan, Z., & Subhan, M. (2017). Optimasi Kekasaran Permukaan Proses Pembubutan Baja ST.42 Dengan Menggunakan Metode Taguchi. *MANUTECH: Jurnal Teknologi Manufaktur*, 9(1), 78-85.
- Arfendi, Napitupulu, & Pranandita, N. (2021). Optimasi Material Removal Rate (MRR) Baja ST 42 Pada Proses CNC Turning Dengan Menggunakan Metode Taguchi. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 9(2), 73-77.
- Basmaci, G. (2018). Optimization of Machining Parameters for the Turning Process of AISI 316 L Stainless Steel and Taguchi Design. *Acta Physica Polonica A*, 134(1), 260-264.
- Budiana, B., Nakul, F., Wivanius, N., Sugandi, B., Yolanda, R., Aminullah, D., & Saputra, I. (2020). Analisis Kekasaran Permukaan Besi ASTM36 dengan menggunakan SurfTest dan Image-J. *Journal of Applied Electrical Engineering*, 4(2), 49-54.
- Elewa, R. R., Araoyinbo, A. O., Fayomi, O. S. I., Samuel, A. U., Biodun, M. B., & Udoye, N. E. (2021). Effect of Machining On Stainless Steel: A Review. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1107(1).

- Endrian, E., Subhan, M., & Yuliyanto. (2021). *Analisis Nilai Kekasaran Permukaan Proses CNC Milling Baja AISI 1045 Metode Respon Surface*. Paper presented at the Seminar Nasional Inovasi Teknologi Terapan, Sungailiat, Bangka.
- Farizi Rachman, F. R., K. B. W., Setiawan, T. A., & Nurkholies, P. (2020). Penerapan Metode Taguchi untuk Optimasi Setting Parameter CNC Milling Terhadap Kekasaran Permukaan Material. *Jurnal Teknologi dan Rekayasa Manufaktur*, 2(2), 109-120. doi:10.48182/jtrm.v2i2.70
- Jadhav, A., & Kumar, S. (2019). Laser cutting of AISI 304 material: an experimental investigation on surface roughness. *Advances in Materials and Processing Technologies*, 5(3), 429-437.
- Kaisan, I., & Rusiyanto. (2020). Pengaruh Parameter Pemotongan CNC Milling Dalam Pembuatan Pocket Terhadap Getaran Dan Kekasaran Permukaan Pada Crankcase Mesin Pemotong Rumput. *Rekayasa Mesin*, 11(1), 41-49.
- Kaynak, Y., & Kitay, O. (2018). Porosity, Surface Quality, Microhardness and Microstructure of Selective Laser Melted 316L Stainless Steel Resulting from Finish Machining. *Journal of Manufacturing and Materials Processing*, 2(2).
- Pradani, Y. F., Sulaiman, M., & Hardiyanto, S. (2020). Analisis Tingkat Kekerasan Aluminium 6061 Berdasarkan Variasi Media Pendingin Pada Proses Pack Carburizing. *STEAM Engineering: Journal of Science, Technology, Education And Mechanical Engineering*, 2(1), 1-10.
- Pribadi, J. S., Yulianto, Y., & Girawan, B. A. (2020). Optimasi Parameter Pemesinan Menggunakan Metode Taguchi Untuk Meningkatkan Kualitas Kebulatan Pada Pembubutan Internal Material S45C. *Infotekmesin*, 11(1), 31-36.
- Sharma, N., & Gupta, K. (2019). Influence of coated and uncoated carbide tools on tool wear and surface quality during dry machining of stainless steel 304. *Materials Research Express*, 6(8).
- Su, Y., Zhao, G., Zhao, Y., Meng, J., & Li, C. (2020). Multi-Objective Optimization of Cutting Parameters in Turning AISI 304 Austenitic Stainless Steel. *Metals*, 10(2).
- Zhou, T., He, L., Wu, J., Du, F., & Zou, Z. (2019). Prediction of Surface Roughness of 304 Stainless Steel and Multi-Objective Optimization of Cutting Parameters Based on GA-GBRT. *Applied Sciences*, 9(18).