

PENGARUH PARAMETER PEMOTONGAN PROSES CNC WET MILLING STAINLESS STEEL AISI 316 TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN

Ilham Azmy, Deni Mulyana*, Alvaro Gabrian, Rudy Yuni Widiatmoko, Petrus Londa

Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bandung
Jln. Gegerkalong Hilir, Ds. Ciwaruga, Bandung Barat 40559

*Email: deni.mulyana@polban.ac.id

Abstrak

Stainless steel AISI 316 diaplikasikan secara luas pada berbagai industri karena sifat mekanik dan ketahanan korosinya yang baik. Namun, stainless steel jenis AISI 316 tersebut memiliki sifat mampu mesin (machine ability) yang kurang baik. Maka dari itu, pada penelitian ini proses pemesanan CNC wet milling material stainless steel AISI 316 dengan beberapa parameter pemotongan telah berhasil dilakukan untuk mengetahui tingkat machine ability dan kekasaran permukaannya. Analisis optimasi parameter pemotongan menggunakan metode Taguchi dengan teknik perhitungan S/N ratio dan ANOVA. Untuk merancang proses eksperimentall CNC wet milling dengan tiga parameter pemotongan yang bervariasi, maka digunakan teknik L9 ortogonal array. Dari tabel S/N ratio yang telah dianalisis, maka didapatkan bahwa kecepatan pemotongan (feed rate) menjadi faktor yang paling berpengaruh terhadap perubahan kekasaran permukaan bila dibandingkan dengan parameter kecepatan spindle dan kedalaman pemotongan pada material stainless steel AISI 316. Disisi lain, hasil pengolahan data ANOVA menunjukkan bahwa persentase kontribusi spindle speed lebih berpengaruh terhadap kekasaran permukaan bila dibandingkan feed rate. Parameter pemotongan optimal yang ditunjukkan dari spindle speed sebesar 3184 rpm, feed rate sebesar 541,4 mm/min dan depth of cut sebesar 0,3 mm. Parameter pemotongan optimal yang merupakan hasil proses eksperimen ini telah dibandingkan dengan nilai prediksi yang selanjutnya memperlihatkan korelasi yang berkaitan dengan nilai error yang relatif sangat kecil. Maka dari itu, penelitian ini memberikan sumbangsih pengembangan yang signifikan pada peningkatan machine ability, kualitas, dan produktivitas proses pemesanan CNC milling untuk material stainless steel AISI 316.

Kata kunci: *Stainless Steel AISI 316, CNC Wet Milling, Kekasaran Permukaan*

PENDAHULUAN

Baja tahan karat atau lebih dikenal dengan *stainless steel* biasanya banyak digunakan dalam aplikasi yang luas pada sektor manufaktur dengan keunggulan tingginya sifat mekanik, ketahanan korosi, dan konduktivitas *thermal* yang relatif rendah. Meskipun material *stainless steel* cenderung lebih mahal daripada logam lainnya, faktanya popularitas penggunaan *stainless steel* semakin luas dalam berbagai bidang dari industri makanan hingga kesehatan, kimia hingga elektronik, industri pertahanan hingga reaktor nuklir, otomotif dan industri dirgantara karena sifat mekanik yang baik dan keunikan sifat ketahanan korosinya (Yang, Gong et al. 2021). Secara umum, *stainless steel* merupakan baja yang memiliki kandungan komposisi kromium sebesar 11-18%.

Stainless steel berjenis austenitik secara khusus banyak digunakan dalam aplikasi pemesanan dan industri manufaktur. Austenitik *stainless steel* ini dikenal sebagai logam yang

mudah untuk diproses dan dibentuk (Abbas, Abubakr et al. 2020). Namun demikian, *stainless steel* ini masih menyisakan kekurangan berupa sifat mampu mesin (*machine ability*) yang rendah Untuk itu, sangat diperlukan kajian lebih lanjut mengenai proses pemesanan terhadap material *stainless steel* ini.

Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mengkaji kemampuan mampu mesin (*pemesanan*) dari austenitik *stainless steel* ini. Singh dkk. melaporkan penelitian mengenai evaluasi kinerja pisau berlapis karbida dalam proses *face milling* AISI 316 dalam kondisi pemotongan kering (*dry*) dan basah (*wet*). *Stainless steel* 316 dalam penelitian ini memiliki karakteristik kekasaran yang berkurang selama proses pemotongan dalam kondisi kering (Singh, Dureja et al. 2019). Di sisi lain, proses *cryogenic milling* pada austenitik *stainless steel* AISI 347 telah dilakukan oleh Gutzeit

dkk. dan menunjukkan hasil peningkatan pada nilai kekasaran permukaannya. Hal ini disebabkan oleh adanya transformasi fasa induksi selama proses deformasi karena efek *cryogenic milling* (Gutzeit, Basten et al. 2021). Pada penelitian lainnya, Pereira dkk. melaporkan proses *milling* stainless steel AISI 316 dengan perbedaan kecepatan pemakanan (*feed rates*) dan kedalaman pemotongan (*depth of cut*) (dos Santos Pereira, Droppa et al. 2021). Tegangan permukaan menurun pada *feed rates* dan *depth of cut* yang rendah sehingga mengakibatkan kekasaran permukaan stainless steel AISI 316 cenderung lebih baik.

Di sisi lain, proses pemesanan CNC *wet milling* belum banyak diaplikasikan pada material *stainless steel* AISI 316. Proses CNC *wet milling* ini secara masif digunakan di industri dan diperhatikan sebagai salah satu metode pemesanan yang efektif karena dapat menjaga daya tahan pahat (*cutter*) dan menghasilkan kualitas kekasaran permukaan benda kerja yang lebih baik. Maka dari itu, pada penelitian ini dikembangkan suatu proses CNC *wet milling* dengan variasi parameter pemotongan berbeda yang bertujuan untuk menganalisis perubahan nilai kekasaran permukaan dan kemampuan mampu mesin (*pemesanan*) dari *stainless steel* AISI 316.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang dilakukan adalah dengan proses pemesanan melalui beberapa uji coba menggunakan spesimen *stainless steel* AISI 316. Adapun tahapan proses penelitian yang dilakukan terdiri dari pemilihan material, uji spektrometri, proses *milling*, dan uji kekasaran permukaan seperti dijelaskan dibawah ini. Material yang digunakan pada penelitian ini merupakan *stainless steel* AISI 316 yang memiliki ukuran dimensi 180x100x12 mm.

Uji spektrometri merupakan proses pengujian komposisi kandungan kimia pada spesimen *stainless steel* yang digunakan agar sesuai dengan standar baku AISI 316. Uji spektrometri dilakukan dengan menggunakan mesin ARL 3460 *Optical Emission Spectrometer* yang berada di Balai Besar Logam dan Mesin, Kementerian Perindustrian. Proses *milling* dilakukan menggunakan mesin *Computer Numerical Control (CNC)* dalam kondisi lingkungan yang basah (*wet*) dengan Ascella *coolant* memakai mesin CNC Chevallier

2443 VMC (*Vertical Machine Centers*). Mesin ini memiliki kapasitas daya sebesar 11 kW dan kapasitas tegangan sebesar 15 kva.



Gambar 1. Mesin CNC Milling

Adapun pisau pahat (*end mill*) yang digunakan selama proses *milling* berspesifikasi HGT EB1010 dan Senyo Tungsten Carbide Z1MPCR yang masing-masing memiliki diameter 10 mm.



Gambar 2. Pisau Pahat berjenis HGT(atas) dan Senyo (bawah)

Parameter pemotongan yang divariasikan dalam penelitian ini terdiri dari parameter putaran spindle (*spindle speed*), kecepatan pemakanan (*feed rate*), dan kedalaman pemakanan (*depth of cut*). Masing-masing parameter menggunakan tiga level nilai variabel seperti dapat dilihat pada Tabel 1.

Uji kekasaran permukaan (*surface roughness*) dilakukan untuk mengetahui besaran nilai kekasaran permukaan (R_a) dari spesimen stainless steel AISI 316 yang telah mengalami proses pemesanan dengan mesin CNC *Wet Milling*. Alat uji kekasaran

permukaan yang digunakan merupakan tipe Mitutoyo *Surface Roughness Tester* SJ-310 yang terlihat pada Gambar 4. Uji kekasaran permukaan ini berlokasi di Laboratorium Metrologi, Politeknik Negeri Bandung.

Tabel 1. Parameter dan level pemotongan

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



Gambar 4. Mesin Uji Kekasaran Permukaan

Analisis data merupakan tahapan akhir penelitian yang digunakan untuk mengkaji pengaruh parameter pemotongan CNC *wet milling* terhadap kekasaran *stainless steel* AISI 316. Analisis data ini menggunakan pemanfaatan metode Taguchi dan ANOVA yang kemudian dilanjutkan dengan kalkulasi perhitungan aplikasi Minitab.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Uji spektrometri telah dilakukan untuk menguji kesamaan kandungan komposisi kimia spesimen *stainless steel* yang digunakan pada penelitian ini dengan standar AISI 316. Hal ini penting untuk dilakukan karena *stainless steel* yang digunakan merupakan material komersial yang belum teruji secara faktual terkait kandungan komposisi kimia riilnya. Data komposisi kandungan kimia dari spesimen

stainless steel yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Data Hasil Uji Spektrometri

Unsur	Nilai Kandungan (%)
Ferro (Fe)	68
Carbon (C)	0,0287
Silicon (Si)	0,675
Manganese (Mn)	1,43
Phosporus (P)	0,0285
Sulfur (S)	0,0030
Chromium (Cr)	16,5
Molybdenum (Mo)	1,91
Nickel (Ni)	9,81
Copper (Cu)	1,23
Cobalt (Co)	0,276
Titanium (Ti)	0,0050
Tin (Sn)	0,0020
Aluminium (Al)	0,0034
Lead (Pb)	0,0150
Vanadium (V)	0,0837
Niobium (Nb)	0,0050
Wolfram (W)	0,0500

Dari data yang ditunjukkan pada Tabel 2 tersebut, maka spesimen *stainless steel* yang digunakan dalam penelitian ini memiliki kandungan komposisi kimia yang utamanya tersusun dari unsur Ferro (Fe) sebesar 68 %, Chromium (Cr) sebesar 16,5 %, dan Nikel (Ni) sebesar 9,81 %.

Data persentase kandungan komposisi kimia ini telah sesuai dengan standar AISI 316 untuk jenis austenitik *stainless steel* (Abbas, Anwar et al. 2021). Dengan demikian, spesimen *stainless steel* AISI 316 yang digunakan pada penelitian ini telah memenuhi standar yang berlaku.

Pada penelitian ini digunakan metode Taguchi untuk menghitung variasi nilai variabel pada setiap parameter. Proses perhitungan ini ditentukan dengan teknik *ortogonal array* yang sesuai. Teknik pemilihan *ortogonal array* yang akan digunakan tidak boleh kurang dari total derajat kebebasan dari parameter pemotongan (V.V.D.Sahithi, T.Malayadrib et al. 2019). Pada tabel 3 ditunjukkan jumlah total derajat kebebasan dari setiap parameter pemotongan yang digunakan pada proses material *stainless steel* AISI 316.

Tabel 3. Jumlah total derajat kebebasan parameter

Parameter	Banyak level	DoF (Derajat kebebasan)
Spindle Speed	3	2
Feed Rate	3	2
Depth of cut	3	2
Total		6

Berdasarkan pemilihan parameter pemotongan pada tabel di atas, maka teknik *ortogonal array* yang digunakan pada penelitian ini adalah L9. Dengan memanfaatkan *software* Minitab, diperoleh juga variasi parameter pemotongan yang sama untuk *ortogonal array* L9. Variasi yang dihasilkan menjadi dasar untuk melakukan proses CNC *wet milling* dengan parameter pemotongan yang berbeda-beda (Idris and Rusiyanto 2020). Setelah itu dilakukan pengukuran kekasaran permukaan untuk setiap variasi tersebut. Penilaian terhadap kekasaran permukaan menjadi penting untuk dapat mengevaluasi hasil pemesanan yang telah dilakukan (Yulianto and Slamet 2020). Banyaknya variasi dan nilai kekasaran yang diperoleh ditampilkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Variasi parameter pemotongan dan nilai kekasaran permukaan

Spindle Speed (Rpm)	Feed Rate (mm/min)	Depth of cut (mm)	Ra (µm)
2707	541,4	0,3	0,975
2707	1018,58	0,4	3,182
2707	1528,4	0,5	2,985
3184	541,4	0,4	0,735
3184	1018,58	0,5	3,796
3184	1528,4	0,3	1,119
3821	541,4	0,5	1,122
3821	1018,58	0,3	1,947
3821	1528,4	0,4	0,298

Pengaruh parameter pemotongan pada material *stainless steel* AISI 316 secara individual yang dilakukan pada penelitian ini 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	0,86	8,77	0,86	0,430	3,3	0,24
Feed Rate (mm/min)	2	6,18	63,09	6,18	3,094	23,5	0,04
Depth of cut (mm)	2	2,49	25,45	2,49	1,247	9,5	0,09
Error	2	0,26	2,69	0,26	0,131		
Total	8	9,80	100,00				

Untuk mengetahui faktor yang berpengaruh terhadap kekasaran permukaan (*surface roughness*), maka dilakukan perhitungan S/N Ratio dengan karakteristik *smaller the better* (özdemir 2019). Adapun hasil perhitungan ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Perbandingan S/N Ratio

Spindle Speed (Rpm)	Feed Rate (mm/min)	Depth of cut (mm)	S/N Ratio 316
2707	541,4	0,3	0,21990769
2707	1018,58	0,4	-10,054004
2707	1528,4	0,5	-9,4988867
3184	541,4	0,4	2,67425322
3184	1018,58	0,5	-11,586524
3184	1528,4	0,3	-0,9766017
3821	541,4	0,5	-0,9998571
3821	1018,58	0,3	-5,787319
3821	1528,4	0,4	-5,3105067

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. Berikut contoh pengolahan data dan tabel pengolahan data dari proses pengelompokan dan nilai rata-rata dari parameter rata-rata tersebut:

Rata-rata nilai S/N untuk A1 (Spindle Speed Level 1) = $(0.21990769 + (-10.054004) + (-9.4988867)) / 3 = -6.44433$

Tabel 7. Respon S/N Ratio

Parameter	S/N 316
A1	-6,44433
A2	-3,29629
A3	-4,03256
B1	0,631435
B2	-9,14262
B3	-5,262
C1	-2,18134
C2	-4,23009
C3	-7,36176

Dari Tabel 7 bisa diperoleh data bahwa parameter optimum untuk stainless steel AISI 316 adalah kombinasi dari A2 B1 C1, yaitu kombinasi dari *spindle speed* dengan kecepatan 3184 rpm, *feed rate* 541,4 mm/min, dan *depth of cut* dengan kedalaman 0,3 mm. Pengaruh keseluruhan parameter terhadap kekasaran permukaan dianalisis menggunakan ANOVA. Setelah nilai S/N ratio diperoleh maka dilakukan ANOVA untuk semua parameter pemotongan sehingga kontribusi parameter secara bersamaan terhadap kekasaran permukaan dapat diperkirakan (Yulianto, Slamet et al. 2020). Hasil pengolahan data ditunjukkan pada Tabel 8.

Tabel 8. ANOVA S/N ratio

Source	D F	Seq S S	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Spindle Speed (Rpm)	2	16,27	7,87%	16,26	8,13	3,81	0,21
Feed Rate (mm/min)	2	145,32	70,30%	145,3	72,6	34,0	0,03
Depth of cut (mm)	2	40,84	19,76%	40,84	20,4	9,56	0,09
Error	2	4,27	2,07%	4,27	2,13		
Total	8	206,71	100,00%				

Tabel 8 memperlihatkan bahwa parameter yang berkontribusi paling besar dalam *Signal to Noise Ratio* pada AISI 316 adalah *feed rate* dengan persentase dan error berturut turut adalah 70,30% dan 2,07%. Dengan menggunakan *software* Minitab dapat diperkirakan variasi

parameter pemotongan yang menghasilkan kekasaran permukaan yang optimum. Nilai parameter dan nilai kekasaran optimum ditunjukkan pada Tabel 9 dan tabel 10.

Tabel 9. Parameter kondisi optimum untuk AISI 316

Variable	Value
Spindle Speed (Rpm)	3184
Feed Rate (mm/min)	541,4
Depth of cut (mm)	0,3

Tabel 10. Nilai kekasaran optimum AISI 316

Fit	95% CI
0,240111	(-1,13819; 1,61841)

Dari Tabel 9 dan Tabel 10 diperoleh informasi bahwa parameter pemotongan optimum untuk AISI 316 didapatkan pada nilai putaran spindle 3184 rpm, kecepatan pemotongan 541,4 mm/min dan kedalaman pemotongan 0,3 mm dengan prediksi kekasaran permukaan optimum sebesar 0.24 μm dengan nilai interval minimum dan maksimum sebesar -1.14 dan 1.62 μm . Kedalaman kecepatan pemotongan (*feed rate*) menjadi faktor penentu yang sangat signifikan dalam perubahan nilai kekasaran permukaan pada proses CNC wet milling stainless steel AISI 316 (Setia, Yulianto et al. 2020).

PENUTUP Kesimpulan

Proses pemesanan CNC *wet milling* telah berhasil dilakukan yang ditujukan untuk mengetahui pengaruh parameter pemotongan pada material *stainless steel* AISI 316 dengan menggunakan metode Taguchi. Parameter pemotongan optimum untuk kekasaran permukaan (*Ra*) stainless steel AISI 316 dengan kecepatan spindle (*spindel speed*) 3184 rpm dan kecepatan pemotongan (*feed rate*) 541,4 mm/min. Selain itu, faktor kekasaran permukaan *stainless steel* AISI 316 lebih dominan dipengaruhi oleh

kecepatan pemotongan (*feed rate*) selama proses CNC *wet milling* yang telah dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abbas, A. T., M. Abubakr, M. A. Hassan, M. Luqman, M. S. Soliman and H. Hegab (2020). "An adaptive design for cost, quality and productivity-oriented sustainable machining of stainless steel 316." *Journal of Materials Research and Technology* **9**(6): 14568-14581.
- Abbas, A. T., S. Anwar, E. Abdelnasser, M. Luqman, J. E. A. Qudeiri and A. Elkaseer (2021). "Effect of Different Cooling Strategies on Surface Quality and Power Consumption in Finishing End Milling of Stainless Steel 316." *Materials (Basel)* **14**(4).
- dos Santos Pereira, R., R. Droppa, M. C. Lopes de Oliveira and R. A. Antunes (2021). "Effect of Milling Parameters on the Stability of the Passive Film of AISI 304 Stainless Steel." *Journal of Materials Engineering and Performance* **30**(11): 8131-8144.
- Gutzeit, K., S. Basten, B. Kirsch and J. C. Aurich (2021). "Cryogenic Milling of Metastable Austenitic Stainless Steel Aisi 347." *MM Science Journal* **2021**(5): 4962-4969.
- Idris, K. and Rusiyanto (2020). "Pengaruh Parameter Pemotongan CNC Milling Dalam Pembuatan Pocket Terhadap Getaran Dan Kekasaran Permukaan Pada Crankcase Mesin Pemotong Rumpit." *Rekayasa Mesin* **11**(1): 41-49.
- özdemir, M. (2019). "Optimization with Taguchi Method of Influences on Surface Roughness of Cutting Parameters in CNC Turning Processing." *Mechanics* **25**(5): 397-405.
- Setia, P. J., Yulianto and G. B. Aji (2020). "Optimasi Parameter Pemesinan Menggunakan Metode Taguchi Untuk Meningkatkan Kualitas Kebulatan Pada Pembubutan Internal Material S45C." *Jurnal Infotekmesin* **11**(1): 31-36.
- Singh, P., J. S. Dureja, H. Singh and M. S. Bhatti (2019). "Performance evaluation of coated carbide tool during face milling of AISI 304 under different cutting environments." *Materials Research Express* **6**(5).
- V.V.D.Sahithi, T.Malayadrib and N. Srilatha (2019). "Optimization Of Turning Parameters On Surface Roughness Based On Taguchi Technique." *Materials Today: Proceedings* **18**: 3657-3666.
- Yang, Y., Y. Gong, C. Li, X. Wen and J. Sun (2021). "Mechanical performance of 316 L stainless steel by hybrid directed energy deposition and thermal milling process." *Journal of Materials Processing Technology* **291**.
- Yulianto, M. S. and R. Slamet (2020). "Analisa Pengaruh Variasi Putaran Mesin CNC Milling MCV-1100 Terhadap Sifat Mekanik Logam Aluminium AA 5052 - H112." *Majalah Ilmiah Momentum* **16**(2): 122-126.
- Yulianto, M. S., R. Slamet and N. Agung (2020). "Variasi Jenis Pahat Terhadap Tingkat Kekerasan Dan Kekasaran Permukaan Baja ST 41 Pada Proses Bubut CNC HJ-28." *Majalah Ilmiah Momentum* **16**(1): 25-29.