



PENGARUH PEMESINAN *MILLING* TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN BAJA TAHAN KARAT MARTENSITIK MODIFIKASI AISI 410 3Mo – 3Ni DAN KEAUSAN MATERIAL *CUTTER END MILL*

Hady Zhakwan Nugroho¹, Mochamad Syaiful Anwar^{2*}, Slamet Wiyono¹, Efendi Mabruri²

¹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

Jl. Jendral Soedirman Km 3, Cilegon, Indonesia, 4235

²Pusat Penelitian Metalurgi dan Material-LIPI

Gedung 470 Kawasan Puspiptek, Tangerang Selatan, Indonesia, 1531

*Email : moch026@lipi.go.id

Masuk Tanggal : 23-04-2018, revisi tanggal : 27-12-2018, diterima untuk diterbitkan tanggal : 09-01-2019

Intisari

Proses pemesinan logam selalu terjadi interaksi antara alat potong dengan benda kerja yang menyebabkan pahat atau pisau potong mengalami gesekan dan keausan. Tujuan dari penelitian ini mengetahui pengaruh kecepatan putar spindle dan kecepatan pemakanan terhadap tingkat kekasaran permukaan baja tahan karat martensitik modifikasi AISI 410 3Mo-3Ni dan keausan material *cutter end mill*. Metode analisis variasi digunakan dalam analisis hasil pemesinan. Hasil dari penelitian ini adalah nilai kekasaran permukaan terkecil didapat pada kondisi pemotongan kecepatan putar spindle sebesar 1300 rpm dan kecepatan pemakanan 190 mm/menit. Nilai kekasaran permukaan terbesar didapat pada kecepatan putar spindle sebesar 950 rpm dan kecepatan pemakanan 760 mm/menit. Kemudian, nilai keausan tepi mata *cutter end mill* terkecil didapat pada variasi kecepatan putar spindle sebesar 950 rpm dan kecepatan pemakanan 190 mm/menit sebesar 40,16 μm dan nilai keausan tepi terbesar dihasilkan pada variasi kecepatan putar spindle sebesar 1300 rpm dan kecepatan pemakanan 760 mm/menit sebesar 255,23 μm .

Kata Kunci: Baja tahan karat martensitik modifikasi AISI 410 3Mo-3Ni, kekasaran permukaan, keausan *cutter end mill*

Abstract

Process of machining always occurs interaction between cutting tool and workpiece causing chisel or cutting knife experience friction and wear. The purpose of this research is to observe the effect of spindle speed and feed rate on surface roughness of martensitic stainless steel modified AISI 410 3Mo-3Ni and wear of cutter endmill. The method of variance analysis is used in the analysis of machining results. The result of this research is the smallest surface roughness value obtained at 1300 rpm of spindle speed cutting and 190 mm/min of feed rate. The largest surface roughness value obtained on 950 rpm of spindle speed and 760 mm/min of feed rate. Then, the smallest wear value of edge of cutter endmill of 40.16 μm is found on spindle speed variation of 950 rpm and feed rate 190 mm/min and the largest wear value of edge of cutter end mill of 255.23 μm is found on spindle speed variation of 1300 rpm and feed rate 760 mm/min.

Keywords: Martensitic stainless steel modified AISI 410 3Mo-3Ni, surface roughness, edge wear *cutter end mill*

1. PENDAHULUAN

Material baja tahan karat martensitik tipe 13Cr (AISI 403/410/420) telah banyak digunakan untuk bahan sudu turbin di sistem turbin uap [1]. Pembuatan sudu turbin umumnya dilakukan secara manual yaitu dengan cara dicor kemudian proses *finishing* atau pembentukannya dengan menggunakan alat perkakas seperti kikir. Sehingga mengakibatkan tingkat kekasaran yang tinggi pada permukaan sudu turbin yang dapat menyebabkan kavitasi. Kavitasi dapat menyebabkan sudu-sudu turbin menjadi

berlubang-lubang kecil, sehingga mengurangi efisiensi turbin yang akhirnya dapat pula merusak sudu turbin. Pembuatan runner turbin propeler menggunakan CNC (*computer numerical control*) menghasilkan bahwa sudu turbin yang dibuat dengan menggunakan CNC bebas dari cacat fisik, sedangkan sudu turbin hasil pengerjaan konvensional menunjukkan adanya cacat pada beberapa tempat [2]. Dalam proses *milling*, kekasaran permukaan adalah hal yang sangat penting. Dalam hal ini standar kekasaran sudu turbin secara umum berkisar 0,2 sampai 2 μm [3]. Hasil pengerjaan mesin CNC *milling* sangat

bergantung pada parameter pemesinan yang digunakan, seperti kecepatan potong (*cutting speed*), kecepatan pemakanan (*feed rate*), kedalaman pemotongan (*depth of cut*), material benda kerja, karakteristik pahat atau pisau potong, pendinginan dan lainnya [4]. Sejumlah penelitian telah dilakukan dalam rangka memprediksi dampak parameter tersebut terhadap kualitas permukaan suatu produk agar dapat merencanakan proses pemesinan yang lebih baik [5]. Selama proses pemesinan berlangsung terjadi interaksi antara alat potong dengan benda kerja, di mana benda kerja terpotong sedangkan pahat atau pisau potong mengalami gesekan dan keausan [4].

Keausan alat potong dapat terjadi melalui beberapa mekanisme yang berbeda seperti adhesi, abrasi atau oksidasi [6]-[7]. Selain itu, keausan alat potong juga mempengaruhi kualitas permukaan yang mengalami proses pemesinan secara signifikan. Umumnya, kualitas permukaan ini dapat ditingkatkan dengan cara mengganti alat potong sesering mungkin dan pemberian lapisan permukaan yang berkualitas tinggi namun hal tersebut menimbulkan dampak pada penambahan biaya produksi [8].

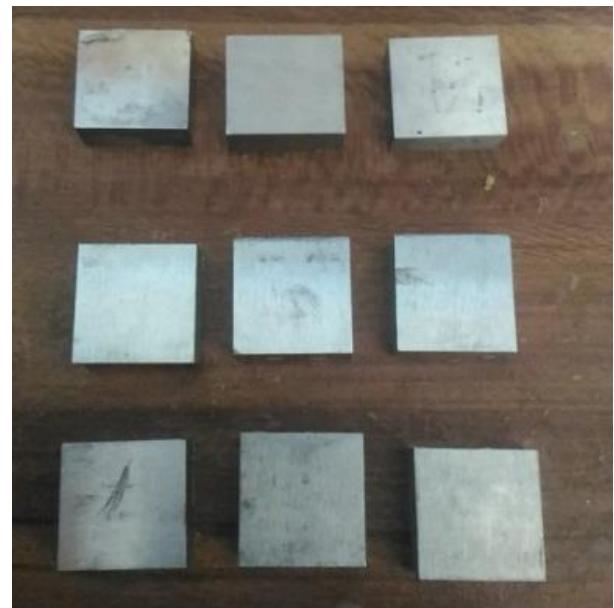
Kekasaran permukaan (*surface roughness*) merupakan salah satu metode telah digunakan untuk memonitor keausan alat potong secara tidak langsung dimana hal tersebut dilakukan untuk menghindari kegagalan yang fatal pada saat pemesinan dan untuk menurunkan konsumsi energi pemesinan [9].

Oleh karena itu, pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi pemesinan terhadap kekasaran permukaan baja tahan karat martensitik modifikasi AISI 410 3Mo-3Ni kondisi *temper* dan keausan material *cutter end mill*.

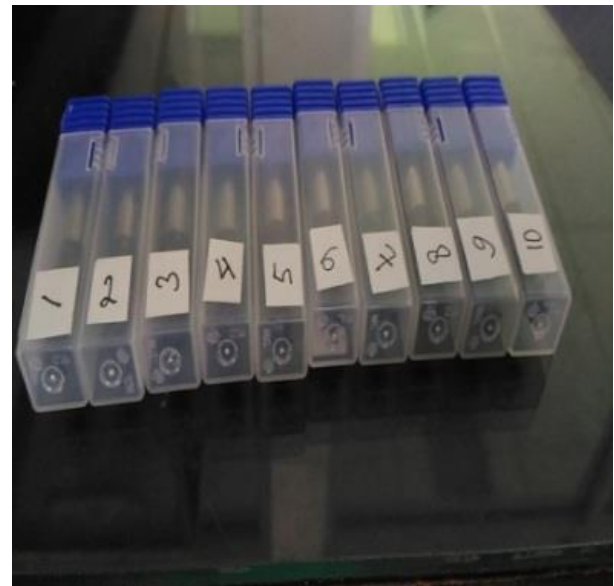
2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Disain Eksperimen

Pada penelitian ini material baja tahan karat martensitik modifikasi 410 3Mo-3Ni dengan dimensi 20 x 20 mm kondisi *temper* 600 °C dilakukan proses pemesinan dengan berbagai kecepatan putar spindel (*spindle speed*) dan kecepatan pemakanan (*feed rate*). Setelah melakukan proses pemesinan, kemudian dilakukan uji kekasaran permukaan baja tahan karat modifikasi 410 3Mo-3Ni dan uji keausan pada *cutter end mill*.



Gambar 1. Sampel uji material *stainless steel* martensitik modifikasi 410 3Mo-3Ni



Gambar 2. Foto dari *cutter end mill solid carbide*



Gambar 3. Sampel *cutter end mill* uji SEM

Nilai parameter uji dibedakan dalam tiga level antara lain level rendah (simbol 0), level sedang (simbol 1) dan level tinggi (simbol 2).

Data hasil eksperimen selanjutnya dianalisa menggunakan metode analisa varian untuk

mendapatkan tingkatan hasil variasi parameter pemesinan.

2.2 Kondisi Pemotongan

Cutter end mill yang digunakan dalam percobaan ini adalah perkakas jenis GM-4E-D6.0 bahan *solid carbide* dengan informasi teknis sebagai berikut :

- Diameter 6 mm
- Kecepatan potong (v) = 80 m/min, untuk material baja tahan karat hasil *temper*
- Material baja tahan karat martensitik kondisi *temper*
- CPT = 0,05 mm

Pada Tabel 1 menunjukkan disain level dan parameter kecepatan putar spindel dan kecepatan pemakanan.

Tabel 1. Disain level dan parameter pengujian

Level	Parameter Pengujian	
	Spindle Speed (rpm)	Feed Rate (mm/menit)
Rendah (0)	950	190
Sedang (1)	1125	475
Medium (2)	1300	760

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengukuran Kekasaran Permukaan

Tabel 2 menunjukkan nilai kekasaran permukaan baja tahan karat martensitik modifikasi AISI 410 3Mo-3Ni setelah mengalami proses pemesinan *milling*.

Tabel 2. Nilai kekasaran permukaan (Ra) pada baja tahan karat martensitik modifikasi AISI 410 3Mo-3Ni setelah mengalami proses pemesinan *milling*

Order Test	Parameter Pengujian		Pengukuran Ra (μm)			
	Spindle Speed	Feed Rate	I	II	III	Rata-Rata
	Speed	Rate				
1	2	0	0,365	0,354	0,337	0,352
2	2	2	1,307	1,27	1,309	1,295
3	1	2	2,250	2,548	2,249	2,349
4	1	0	0,583	0,606	0,591	0,593
5	2	1	0,613	0,582	0,618	0,604
6	0	2	2,793	2,249	2,548	2,530
7	1	1	1,691	1,440	1,600	1,691
8	0	1	1,440	1,747	1,670	1,619
9	0	0	0,618	0,613	0,606	0,612

Pada Tabel 2 dapat dilihat bahwa nilai kekasaran permukaan yang dihasilkan pada baja

tahan karat martensitik modifikasi AISI 410 3Mo-3Ni setelah mengalami proses pemesinan *milling* memiliki range nilai antara 0,352 μm hingga 2,530 μm . Nilai kekasaran permukaan terkecil didapat pada kondisi pemotongan kecepatan putaran spindel sebesar 1300 rpm dan kecepatan pemakanan 190 mm/menit. Hal tersebut mengindikasikan bahwa penyelesaian permukaan (*surface finishing*) yang paling bagus pada kondisi putaran spindel yang tinggi dan kecepatan pemakanan yang rendah. Hasil yang sama juga terdapat pada penelitian Harsh Y Valera, dkk. [10] yang menginvestigasi kekasaran permukaan dan konsumsi energi pada saat pemesinan pada baja paduan EN 31 dan penelitian N.S. Kumar, dkk. [11] yang meneliti pengaruh kecepatan putar spindel dan kecepatan pemakanan terhadap kekasaran permukaan baja karbon pada proses CNC (*computer numerical control*).

3.2 Pengukuran Keausan Tepi *Cutter End Mill*

Setelah proses pemesinan *milling*, keausan yang terjadi pada material *cutter end mill* diamati dengan menggunakan SEM (*scanning electron microscopy*) dan nilai keausan tepi *cutter end mill* diukur dengan menggunakan *image J*. Hasil pengukurannya ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Nilai keausan tepi *cutter end mill* setelah proses pemesinan *milling*

Order Test	Parameter Pengujian		Keausan Tepi Vb (μm)
	Spindle Speed	Feed Rate	
1	2	0	150,74
2	2	2	255,23
3	1	2	159,60
4	1	0	82,00
5	2	1	160,34
6	0	2	115,45
7	1	1	139,01
8	0	1	99,01
9	0	0	40,16

Dari Tabel 3 dapat dilihat bahwa nilai keausan tepi yang dihasilkan pada variasi parameter pemesinan memiliki *range* nilai antara 40,16 μm hingga 255,23 μm . Nilai keausan tepi *cutter end mill* terbesar didapat pada kondisi pemotongan kecepatan putaran spindel sebesar 1300 rpm dan kecepatan pemakanan 760 mm/menit. Hal tersebut mengindikasikan bahwa kecepatan putaran spindel dan pemakanan yang

tinggi pada saat proses pemesinan mengakibatkan umur pakai alat potong *cutter end mill* menurun. Hal yang sama juga terdapat pada penelitian O.O. Ayodeji, dkk. [12] yang meneliti tentang umur pakai alat potong pada proses pembuatan *shaft*.

3.4 Pengaruh Variasi Pemesinan Kecepatan Putar Spindel dan Kecepatan Pemakanan terhadap Kekasaran Permukaan dengan Ra Model ANOVA

Susunan hipotesa untuk model ini adalah :

- Hipotesa awal (H0) = ditetapkan bahwa faktor berpengaruh signifikan terhadap kekasaran permukaan
- Hipotesis alternatif (H1) = ditetapkan penolakan terhadap H0
- dimana H0 ditolak jika $P > \alpha$ atau apabila nilai F melebihi nilai $F_{\alpha, df-num, df-den}$

General Linear Model: Roughness av versus Spindle speed; Feed rate (m

Factor	Type	Levels	Values
Spindle speed (rpm)	fixed	3	950; 1125; 1300
Feed rate (mm/min)	fixed	3	190; 475; 760

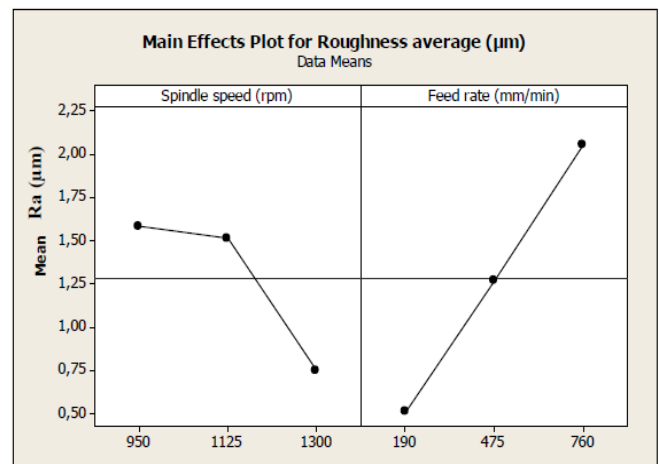
Analysis of Variance for Roughness average (μm), using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Spindle speed (rpm)	2	1,2889	1,2889	0,6444	8,13	0,039
Feed rate (mm/min)	2	3,5527	3,5527	1,7763	22,40	0,007
Error	4	0,3172	0,3172	0,0793		
Total	8	5,1588				

S = 0,281623 R-Sq = 93,85% R-Sq(adj) = 87,70%

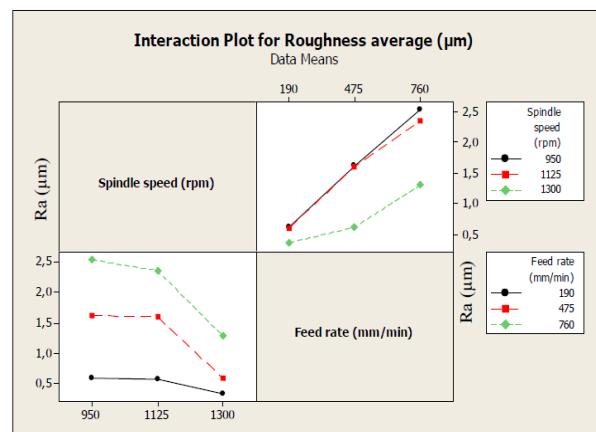
Gambar 4. General linear model Ra terhadap kecepatan putar spindel dan kecepatan pemakanan

Gambar 4 merupakan GLM (*general linear model*), atau DOE (*design of experiment*) yang menunjukkan bahwa kecepatan putar spindel (rpm) dan kecepatan pemakanan (mm/menit) mempunyai peran signifikan terhadap kekasaran permukaan (μm). Hal ini dibuktikan dengan nilai $P < \alpha$, yang berarti membuktikan hipotesis yang diterima merupakan hipotesis awal (H0). Selanjutnya, untuk melihat pengaruh dari faktor-faktor yang digunakan terhadap kekasaran permukaan ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Plot efek utama faktor-faktor terhadap kekasaran permukaan

Efek faktor kecepatan putaran spindel menunjukkan kecenderungan hubungan linier yang negatif terhadap kekasaran permukaan hasil pemesinan. Dengan kata lain, makin besar kecepatan putaran spindel maka kekasaran permukaan yang terbentuk semakin kecil. Hubungan linier positif terlihat pada faktor kecepatan pemakanan, dimana menunjukkan semakin besar kecepatan pemakanan maka semakin besar nilai kekasaran permukaan. Untuk melihat interaksi antara faktor-faktor terhadap respon yang ditentukan kita dapat melihatnya pada Gambar 6.



Gambar 6. Interaksi antar faktor terhadap respon yang ditentukan

Gambar 6 menunjukkan interaksi antar faktor (*independent variable*) terhadap kekasaran permukaan hasil pemesinan (*response*). Dari grafik di atas (Gambar 6), dapat dilihat dengan jelas bahwa untuk menghasilkan nilai kekasaran permukaan yang rendah, maka kombinasi antar faktor yang dapat digunakan yaitu kecepatan putaran spindel paling tinggi yaitu 1300 rpm dan

kecepatan pemakanan yang paling rendah 190 mm/menit.

4.4 Pengaruh Variasi Pemesinan Kecepatan Putar Spindel dan Kecepatan Pemakanan terhadap Kekasaran Permukaan dengan *Flank Wear Analysis ANOVA*

Susunan hipotesa untuk model ini adalah :

- Hipotesa awal (H0) = ditetapkan faktor berpengaruh signifikan terhadap kekasaran permukaan
- Hipotesis alternatif (H1) = ditetapkan penolakan terhadap H0
- dimana H0 ditolak jika $P > \alpha$ atau apabila nilai F melebihi nilai $F_{\alpha, df-num, df-den}$

General Linear Model: Flank wear (versus Spindle speed; Feed rate (m

Factor	Type	Levels	Values
Spindle speed (rpm)	fixed	3	950; 1125; 1300
Feed rate (mm/min)	fixed	3	190; 475; 760

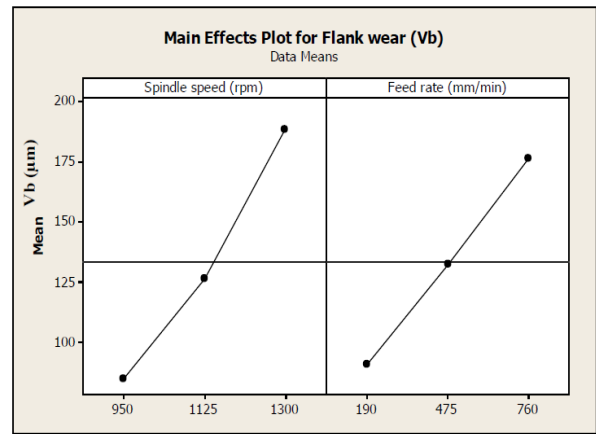
Analysis of Variance for Flank wear (Vb), using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Spindle speed (rpm)	2	16405,4	16405,4	8202,7	16,45	0,012
Feed rate (mm/min)	2	11056,7	11056,7	5528,3	11,08	0,023
Error	4	1995,1	1995,1	498,8		
Total	8	29457,2				

S = 22,3334 R-Sq = 93,23% R-Sq(adj) = 86,45%

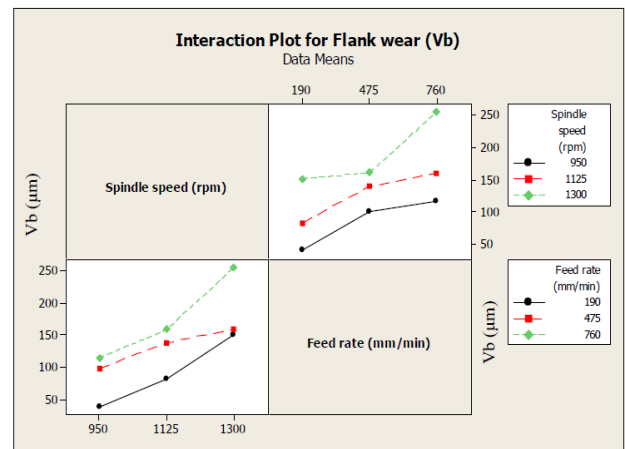
Gambar 7. *General linear model Flank wear* terhadap kecepatan putar spindel dan kecepatan pemakanan

Dari hasil analisis data menggunakan pendekatan GLM (*general linear model*), atau DOE (*design of experiment*) dapat dilihat bahwa baik kecepatan putar spindel (rpm) dan kecepatan pemakanan (mm/menit) mempunyai peran signifikan terhadap keausan tepi (μm). Hal ini dibuktikan dengan nilai $P < \alpha$, yang berarti membuktikan hipotesis yang diterima merupakan hipotesis awal (H0). Selanjutnya, untuk melihat pengaruh dari faktor-faktor yang digunakan terhadap kekasaran permukaan, dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Plot efek utama faktor-faktor terhadap kekasaran permukaan

Hasil uji anova ini memperkuat hasil pengolahan data yang ada pada pembahasan sebelumnya. Efek faktor kecepatan putar spindel dan kecepatan pemakanan menunjukkan kecenderungan hubungan yang linier terhadap keausan *cutter* hasil pemesinan. Dengan kata lain, makin besar kecepatan putaran spindel dan kecepatan pemakanan maka keausan *cutter* yang terbentuk semakin besar. Untuk melihat interaksi antara faktor-faktor terhadap *response* yang ditentukan kita dapat melihatnya pada Gambar 9.

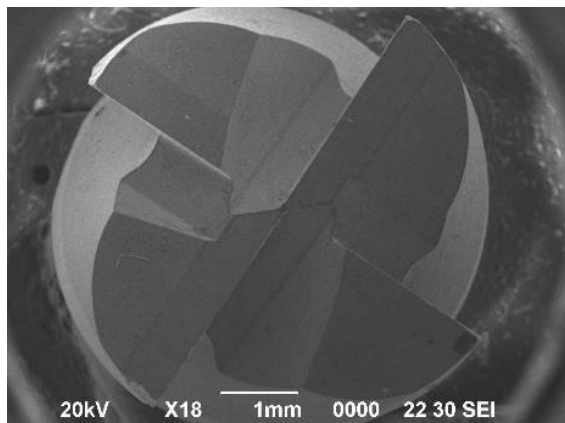


Gambar 9. Interaksi antar faktor terhadap respon yang ditentukan pada kekasaran permukaan hasil pemesinan

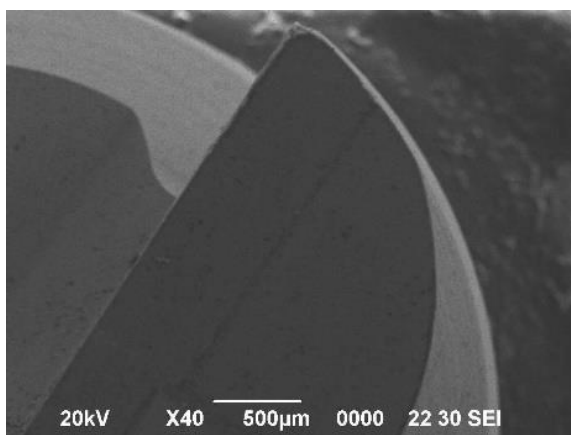
Gambar 9 menunjukkan interaksi antar faktor (*independent variable*) terhadap *response* kekasaran permukaan hasil pemesinan. Dari grafik di atas, dapat dilihat dengan jelas bahwa untuk menghasilkan nilai keausan tepi yang rendah, maka kombinasi antar faktor yang dapat digunakan yaitu kecepatan putaran spindel rendah dan kecepatan pemakanan yang paling rendah. Dalam penelitian ini nilai yang dihasilkan berturut-turut adalah 950 rpm dan 190 mm/menit.

3.5 Pengamatan dengan SEM (*Scanning Electron Microscopy*)

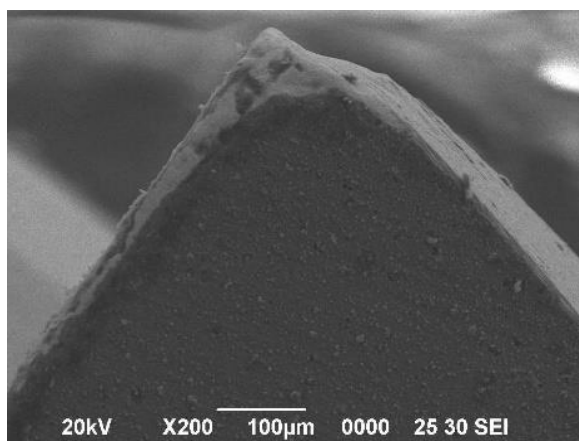
Gambar 10 menunjukkan hasil pengamatan SEM pada alat potong *cut end mill*.



(a)



(b)



(c)

Gambar 10. Foto hasil SEM pada *cut end mill* dengan kecepatan putar spindle 950 rpm dan kecepatan pemakanan 190 mm/menit. (a) Perbesaran 18X, (b) Perbesaran 40X, (c) Perbesaran 200X

Berdasarkan pengamatan hasil SEM dan dengan bantuan *software image J* sisi pada Gambar 10, mata *cut end mill* hasil pemesinan

CNC milling dengan kecepatan putaran spindle 950 rpm dan kecepatan pemakanan 190 mm/menit terlihat keausan *cutter* yang terjadi yaitu keausan tepi (*flank wear*) dengan tingkat keausan paling rendah sebesar 40,16µm. Menurut R. Suresh, dkk. [13] keausan tepi *cutter end mill* pada kecepatan yang rendah diakibatkan karena adanya adhesi pada saat proses pemesinan. Adhesi merupakan salah satu mekanisme keausan pada kecepatan putar spindle dan kecepatan pemakanan yang rendah.

4. KESIMPULAN

Pengaruh variasi kecepatan putar spindle (*spindle speed*) dan kecepatan pemakanan (*feed rate*) terhadap kualitas permukaan produk, diperoleh bahwa semakin bertambah kecepatan pemakanan maka nilai kekasaran permukaan produk mengalami kenaikan dan semakin bertambah kecepatan putar spindle, kekasaran produk mengalami penurunan. Nilai kekasaran permukaan terkecil sebesar 0,352 µm didapat pada kondisi pemotongan kecepatan putaran spindle sebesar 1300 rpm dan kecepatan pemakanan 190 mm/menit dan nilai kekasaran permukaan terbesar yaitu sebesar 2,530 µm didapat pada kondisi pemotongan kecepatan putaran spindle sebesar 950 rpm dan kecepatan pemakanan 760 mm/menit. Berdasarkan analisa varian dengan tingkat kepercayaan 95%, diperoleh bahwa kedua variasi yaitu kecepatan putaran spindle dan kecepatan pemakanan memberikan pengaruh signifikan terhadap nilai kekasaran produk. Jenis keausan yang terjadi pada *cut end mill* pada proses pemesinan yaitu keausan tepi (*flank wear*). Berdasarkan hasil pengolahan data keausan tepi mata *cut end mill*, diperoleh hasil bahwa semakin bertambah kecepatan pemakanan dan kecepatan putar spindle, maka nilai keausan tepi mengalami kenaikan. Nilai keausan tepi terkecil didapat pada kondisi pemotongan kecepatan putar spindle sebesar 950 rpm dan kecepatan pemakanan 190 mm/menit yaitu 40,16 µm dan nilai keausan tepi terbesar didapat pada kondisi pemotongan kecepatan putar spindle sebesar 1300 rpm dan kecepatan pemakanan 760 mm/menit yaitu 255,23 µm. Berdasarkan analisa varian dengan tingkat kepercayaan 95%, kedua variasi yaitu kecepatan pemakanan dan kecepatan putar spindle memberikan pengaruh signifikan terhadap keausan tepi mata *cut end mill*.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih kepada Pusat Penelitian Metalurgi dan Material (P2MM)-Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) yang telah mendanai kegiatan ini melalui Tematik 2018 serta Balai Teknologi Mesin Perkakas, Produksi, dan Otomasi-BPPT dan jurusan teknik mesin UNTIRTA yang telah mendukung dalam melakukan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. Mabruri, M. S. Anwar, S. Prifiharni, T. B. Romijarso, dan B. Ajiantoro, "Tensile properties of the modified 13Cr martensitic stainless steels," *AIP Conference Proceedings* 1725, 020039, 2016; doi: 10.1063/1.49454932016.
- [2] Haryadi, D. Mulyana, "Pembuatan runner turbin propeler menggunakan CNC dan pengujiannya," *Jurnal Metrik*, vol. 6, no. 2, pp. 1–7, 2012.
- [3] E. L. Houghton, P. W. Carpenter, S. Collicott, dan D. Valentine, *Aerodynamics for Engineering Students*, 7th edition, pp. 688. Butterworth Heinemann, London, 2016.
- [4] T. U. Nugroho, H. Saputro, dan Y. Estriyanto, "Pengaruh kecepatan pemakanan dan waktu pemberian pendingin terhadap tingkat keausan cutter end mill HSS hasil pemesinan CNC milling pada baja ST 40," *Maj. Nosel*, vol. 1, no. 1, pp. 79-89, 2012.
- [5] G. Kiswanto, A. S. Danardono, dan S. Wiyono, "Pengaruh parameter pemesinan terhadap kualitas permukaan Baja DF-3 (AISI 01) yang dikeraskan," *Jurnal Teknologi*, vol. 3, pp. 185-192, 2005.
- [6] M. T. Prado, A. Pereira, J. A. Perez, dan T. G. Mathia, "Methodology for tool wear analysis by a simple procedure during milling of AISI H13 and its impact on surface morphology," *Procedia Manufacturing*, vol. 13, pp. 348-355, 2017.
- [7] M. T. Prado, A. Pereira, J. A. Perez, dan T. G. Mathia, "Methodology for tool wear Analysis by electrical measuring during milling of AISI H13 and its impact on surface morphology," *Procedia Manufacturing*, vol. 13, pp. 356-363, 2017.
- [8] X. Luan, S. Zhang, J. Li, G. Mendis, F. Zhao, dan J. W. Sutherland, "Trade-off analysis of tool wear, machining quality, and energy efficiency of alloys cast iron milling process," *Procedia Manufacturing*, vol. 26, pp. 383-393, 2018.
- [9] N. Ambhore, D. Kamble, S. Chinchankar, dan V. Wayal, "Tool condition monitoring system: A review," *Materials Today:Proceeding*, vol. 2, pp. 3419-3428, 2015.
- [10] Y. Harsh, Valera, dan S. N. Bhavsar, "Experimental investigation of surface roughness and power consumption in turning operation of EN 31 alloy steel," *Procedia Technology*, vol. 14, pp. 528-534, 2014.
- [11] N. S. Kumara, A. Shettyb, A. Shettyb, K. Ananth, dan H. Shettyba, "Effect of spindle speed and feed rate on surface roughness of carbon steels in CNC turning," *Procedia Engineering*, vol. 38, pp. 691-697, 2012.
- [12] O. O. Ayodeji, M. S. Abolarin, J. J. Yisa, P. S. Olaoluwa, dan A. C. Kehinde, "Effect of cutting speed and feed rate on tool wear rate and surface roughness in lathe turning process," *International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT)*, vol. 22, no. 4, pp. 173-175, 2015.
- [13] R. Suresh, dan S. Basavarajappa, "Effect of process parameters on tool wear and surface roughness during turning of hardened steel with coated ceramic tool," *Procedia Materials Science*, vol. 5, pp.1450-1459, 2014.

