

PENGARUH JENIS MATERIAL PAHAT POTONG DAN ARAH PEMAKANAN TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN BAJA EMS 45 PADA PROSES CNC *MILLING*

Ana Wilda Widianoro¹, Muhammad Khumaedi², Wirawan Sumbodo³

^{1,2,3}Pendidikan Teknik Mesin, Universitas Negeri Semarang
Email: anawildawidianoro86@gmail.com

Abstrak. Penelitian ini bertujuan untuk : (1) Menguji pengaruh jenis material pahat potong terhadap kekasaran permukaan baja EMS 45 pada proses CNC Milling, (2) Menguji pengaruh arah pemakanan terhadap kekasaran permukaan baja EMS 45 pada proses CNC Milling, (3) Menguji pengaruh jenis material pahat potong dan arah pemakanan terhadap kekasaran permukaan baja EMS 45 pada proses CNC Milling. Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimen dengan desain faktorial Ax_B dimana A adalah jenis material alat potong sedangkan faktor B adalah arah pemakanan. Analisis data menggunakan analisis varian dua jalan dengan interaksi dalam program aplikasi statistik SPSS 16. Dari hasil penelitian disimpulkan bahwa : (1) Terdapat pengaruh antara jenis material alat potong terhadap kekasaran permukaan baja EMS 45 pada proses CNC Milling. (2) Terdapat pengaruh antara variasi arah pemakanan terhadap kekasaran permukaan baja EMS 45 pada proses CNC Milling. (3) Tidak ada pengaruh antara jenis material alat potong dan variasi arah pemakanan terhadap kekasaran permukaan baja EMS 45 pada proses CNC Milling. Hasil dari uji lanjut Post Hoc Test yaitu : a) Ada pengaruh signifikan antara arah pemakanan searah 90° dengan arah berputar sumbu Z. b) Ada pengaruh signifikan antara arah pemakanan searah 45° dengan searah 90° dan berputar sumbu Z. c) Ada pengaruh signifikan antara arah pemakanan berputar sumbu Z dengan searah 90° dan searah 45°.

Kata Kunci: Pengaruh kekasaran permukaan, material pahat potong, arah pemakanan

PENDAHULUAN

Teknologi dalam dunia permesinan saat ini mengalami kemajuan yang sangat pesat. Kebutuhan dalam dunia industri yang semakin meningkat, memicu berkembangnya teknologi dalam proses pemesinan. Salah satu kemajuan yang dapat dilihat dalam dunia industri yaitu peralihan penggunaan mesin-mesin konvensional ke mesin-mesin otomatis yang dikendalikan dalam suatu program. Mesin tersebut dikendalikan secara penuh menggunakan komputer

dengan bahasa pemrograman numerik yang disebut dengan CNC (*Computer Numerically Controlled*).

Dalam proses pengefraisan (*milling*), hasil yang dicapai selain ukuran yang presisi adalah harga kekasaran. Dari harga kekasaran permukaan ini dapat dilakukan evaluasi apakah produk yang dibuat tersebut diterima atau tidak. Semakin rendah harga kekasaran yang dihasilkan, maka kriteria benda tersebut semakin baik. Jika harga kekasaran yang diperoleh semakin tinggi maka akan berdampak kepada komponen atau elemen mesin yang saling bergesekan. Gesekan akan meningkat jika kualitas permukaan tidak halus. Kualitas permukaan yang halus akan membuat sedikit gesekan dari pada permukaan yang kasar.

Baja EMS 45 adalah baja karbon sedang yang memiliki kandungan karbon sebesar 0,48% yang dapat digunakan dalam pembuatan komponen yang memiliki fungsi kerja saling bergesekan yaitu roda gigi, poros engkol. Dari beberapa jenis mesin perkakas yang dapat digunakan untuk membuat komponen tersebut adalah mesin *CNC Milling*. Tingkat kehalusan komponen mempengaruhi kualitas nilai jual maupun fungsinya. Untuk mendapatkan kehalusan yang berbeda, dapat digunakan dengan memvariasikan metode pemakanan ataupun jenis material *tool* yang digunakan. Variasi metode pemakanan dapat berupa kecepatan putar spindle, kecepatan pemakanan, kecepatan potong, arah pemakanan, dan sudut permukaan bidang benda kerja.

Penelitian tentang analisa kekasaran permukaan sebelumnya pernah dilakukan oleh peneliti lain. Imam Syafa'at, dkk (2016) dengan tema analisa arah pemakanan dan sudut pemakanan dan sudut permukaan bidang kerja terhadap kekasaran permukaan pada proses *finish milling* mesin frais CNC. Adapun hasil penelitiannya adalah pergeseran alat potong dengan variasi arah pemakanan dengan jarak konstan apabila bertemu dengan sudut permukaan bidang kerja yang berbeda akan menghasilkan perbedaan jarak pergeseran alat potong yang mempengaruhi nilai kekasaran. Nilai kekasaran yang paling kecil terjadi pada sudut permukaan bidang kerja 30° dengan arah pemakanan 45°.

Andri Mardiansyah (2014) menganalisa kekasaran permukaan benda kerja dengan variasi jenis material dan alat potong. Adapun hasil penelitian yang dilakukan yaitu nilai kekasaran permukaan terendah adalah 3,166 μm pada sudut 225° dikedalaman potong (a) 0,25 mm, menggunakan pahat potong *widia* pada material benda kerja baja AISI 1045. Kemudian nilai kekasaran permukaan terbesar adalah 7,610 μm pada sudut 45° dikedalaman potong (a) 0,75 mm, menggunakan pahat potong yang sama dengan material benda kerja baja VCN. Sedangkan kekasaran terendah menggunakan pahat bubut *sandvik* adalah 3,814 μm pada sudut 0° dikedalaman potong (a) 0,75 mm pada material benda kerja VCN. Sememntara itu kekasaran terbesar adalah 7,551 μm pada sudut 90° dikedalaman potong (a) 0,25 mm dengan

material alat potong *sandvik* pada material baja AISI 1045

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh arah pemakanan dan jenis material pahat terhadap nilai kekasaran permukaan material baja EMS 45 pada proses *milling*. Penelitian dengan melakukan percobaan terhadap tingkat kekasaran pada proses *milling* dengan variasi arah pemakanan dan jenis material alat potong. Jenis alat potong yang digunakan yaitu *flat endmill solid carbide* dan HSS diameter 8 mm, sedangkan spesimen menggunakan material baja EMS 45. Dalam penelitian ini faktor keausan alat potong diabaikan. Khususnya kecepatan putar (rpm), *feeding*, dan diameter alat potong.

METODE

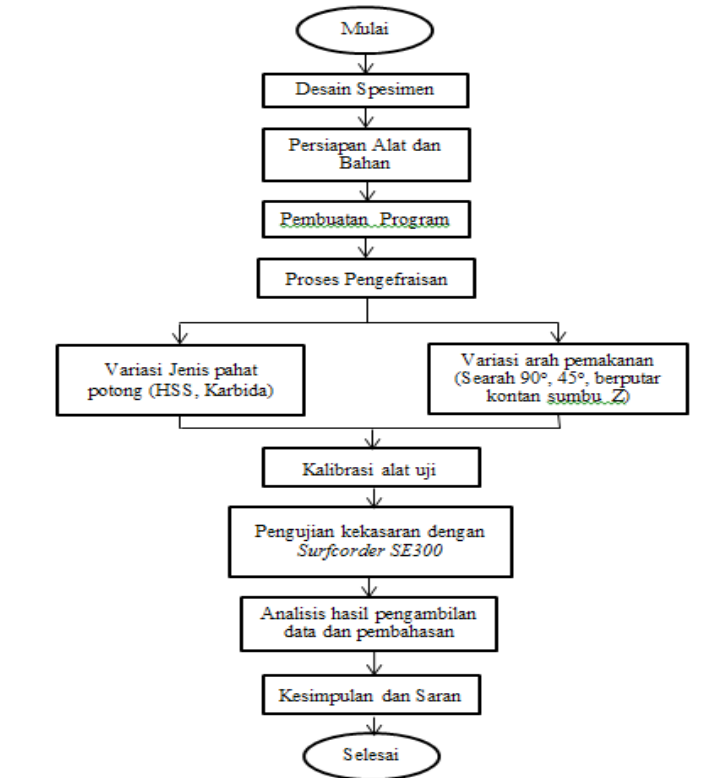
Desain Penelitian

Desain Penelitian yang digunakan adalah desain faktorial AxB dimana A adalah variasi jenis material alat potong sedangkan faktor B adalah variasi arah pemakanan. Proses pembentukan spesimen pada penelitian ini menggunakan mesin CNC *Milling* VMC 850B (Gambar.1.) Penelitian percobaan tanpa memperhatikan faktor yang mempengaruhi kekasaran permukaan khususnya kecepatan putar (rpm), *feeding*, dan diameter alat potong.



Gambar.1. Mesin CNC *Milling* VMC 850B

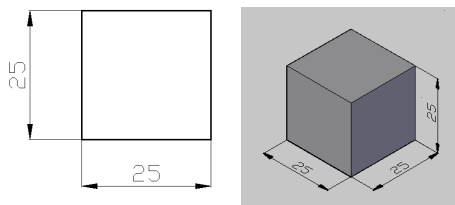
Setelah pembentukan spesimen selesai dilanjutkan dengan pengukuran kekasaran menggunakan *Surfcorder SE-300*. Langkah-langkah percobaan ditunjukkan pada gambar.2.



Gambar.2. Diagram Alir Penelitian

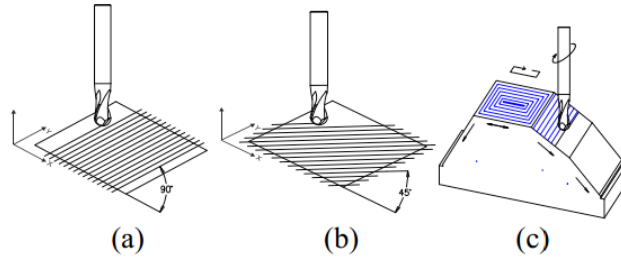
Spesimen Baja EMS 45

Subyek penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah baja karbon sedang dengan dimensi 25 mm x 25 mm x 25 mm yang berjumlah 4 buah. Proses pembentukan dilakukan dengan proses *roughing* dengan menyisakan ukuran 0,3 mm dari ukuran *finish* dengan beberapa variasi arah pemakanan sehingga dapat diperoleh dimensi seperti pada Gambar 3.



Gambar.3. Dimensi benda kerja baja EMS 45

Variasi arah pemakanan yang digunakan adalah arah pemakanan searah 90°, arah pemakanan searah 45°, dan berputar konstan sumbu Z. Arah pemakanan dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Arah pemakanan, (a) searah 90°, (b) searah 45°, (c) berputar konstan sumbu Z.

Analisis Data

Data yang diperoleh dari hasil penelitian kemudian dianalisis. Dalam penelitian ini analisis yang digunakan adalah teknik analisis deskriptif dan uji prasyarat analisis yang terdiri dari uji normalitas, uji homogenitas, dan uji analisis varian dua jalur dengan interaksi untuk menguji hipotesis. Pengujian ini menggunakan program aplikasi SPSS 16.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Berikut adalah data hasil penelitian kekasaran pengaruh variasi jenis material alat potong dan arah pemakanan pada baja EMS 45 pada proses *CNC Milling*.

Tabel.1. Data Hasil Pengukuran Kekasaran Permukaan Baja EMS 45

Jenis Pahat	Arah Pemakanan	Spesimen	Angka Kekasaran (Ra) Per Titik			Rata-rata (Ra)	Ra variasi
			1	2	3		
Endmill Carbida	Searah 90	1	0.675	0.625	0.663	0.654	0.67733
		2	0.597	0.619	0.701	0.639	
		3	0.790	0.699	0.727	0.739	
	Searah 45	1	0.640	0.576	0.609	0.608	0.46222
		2	0.341	0.290	0.297	0.309	
		3	0.460	0.455	0.492	0.469	
	Berputar Sb. Z	1	0.594	0.890	0.753	0.746	0.88067
		2	1.029	1.024	0.902	0.985	
		3	0.909	0.946	0.879	0.911	

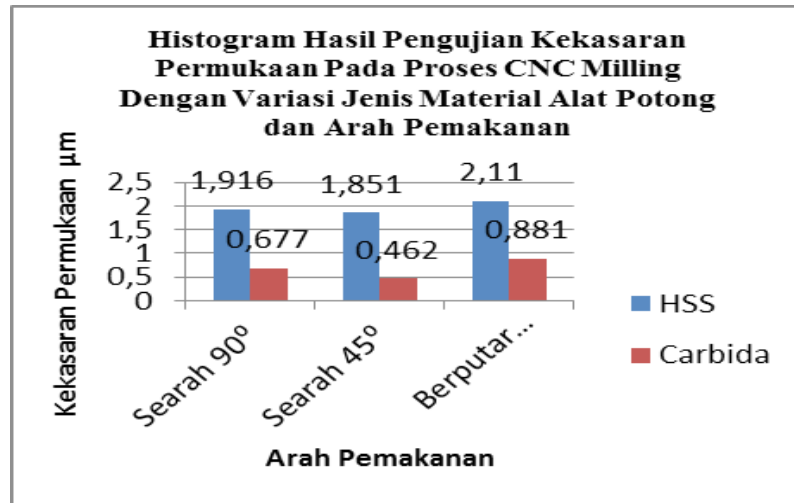
Jenis Pahat	Arah Pemakanan	Spesimen	Angka Kekasaran (Ra) Per Titik			Rata-rata (Ra)	Ra variasi
			1	2	3		
Endmill HSS	Searah 90	1	1.847	1.751	1.851	1.816	1.91578
		2	1.821	1.770	1.880	1.824	
		3	2.211	1.964	2.147	2.107	
	Searah 45	1	1.630	1.599	1.293	1.507	1.85089
		2	1.983	1.893	1.638	1.838	
		3	2.042	2.389	2.191	2.207	
	Berputar Sb. Z	1	2.483	2.108	1.842	2.144	2.11022
		2	2.087	2.487	2.087	2.220	
		3	1.814	2.005	2.079	1.966	

Dari data rata-rata statistik pada Tabel.1. diatas dapat dijelaskan bahwa nilai kekasaran diperoleh dari penggunaan jenis material pahat. Penggunaan material pahat yang memiliki tingkat kekerasan yang rendah maka akan menghasilkan nilai kekasaran yang rendah. Diketahui bahwa komposisi material antara pahat HSS dan Karbida memiliki tingkat kekerasan yang berbeda sehingga mempengaruhi ketahanan gesek material terhadap proses penyayatan. Jadi dapat disimpulkan bahwa klasifikasi material pahat semakin tinggi kekerasan material, maka semakin tinggi kerapuhan (kegetasan) dan semakin rendah pula keuletannya. Sehingga hal tersebut berpengaruh dalam ketahanan gesek pada proses penyayatan.

Tabel 2. Hasil Rata-rata Pengukuran Tingkat Kekasaran Permukaan Benda Kerja Hasil Milling Baja EMS 45 Pada Proses CNC Milling.

Variasi Arah Pemakanan	Jenis Material Pahat	
	HSS	Carbida
Searah 90°	1.916	0.674
Searah 45°	1.851	0.462
Berputar Sumbu Z	2.110	0.881

Dari hasil rata-rata pada Tabel.1. diatas dapat dijelaskan bahwa penggunaan jenis material alat potong akan menghasilkan nilai kekasaran yang rendah apabila jenis material pahat yang digunakan semakin keras. Sedangkan semakin kecil sudut bidang permukaan yang dihasilkan dari arah pemakanan pada proses *facing milling*, maka semakin kecil nilai kekasaran yang dihasilkan. Hal ini ditunjukkan pada penggunaan pahat Carbida dengan arah pemakanan searah 45° menghasilkan nilai kekasaran (Ra) sebesar 0,462 μm dibandingkan dengan pahat HSS dengan dengan arah pemakanan searah 45° menghasilkan nilai kekasaran (Ra) sebesar 1,851 μm .



Gambar 4. Histogram Hasil Uji Kekasaran Permukaan Baja EMS 45 Pada CNC Milling Dengan Variasi Jenis Material Pahat dan Arah Pemakanan.

Uji prasyarat

a. Uji Normalitas

Uji normalitas dilakukan dengan menggunakan uji normalitas Shapiro-Wilk dalam SPSS versi 16, diperoleh nilai signifikan dari perlakuan tidak berada pada daerah kritik atau lebih kecil dari $\alpha=0,05$ maka H_0 diterima. Diperoleh pada tabel, Endmill Karbida nilai signifikansinya $0,479 \geq 0,05$, dan pada Endmill HSS nilai signifikansinya $0,756 \geq 0,05$. Jadi data hasil pengukuran kekasaran permukaan baja EMS 45 pada proses CNC Milling dalam penelitian ini secara keseluruhan berasal dari populasi yang berdistribusi normal.

b. Uji Homogenitas

Uji homogenitas digunakan untuk menguji kesamaan beberapa buah rata-rata data. Pada penelitian ini menggunakan SPSS 16 dengan metode uji lavene statistik untuk menguji homogenitas data dengan pengambilan kesimpulan dengan taraf signifikansi sebesar 0,05 diperoleh nilai signifikan dari perlakuan tidak berada pada daerah kritik atau lebih kecil dari $\alpha=0,05$ maka H_0 diterima. Dari semua nilai signifikansi pada Tabel.11. diatas $\geq 0,05$, maka H_0 diterima. Jadi data hasil pengukuran kekasaran permukaan baja EMS 45 pada proses CNC Milling dalam penelitian ini secara keseluruhan berasal dari populasi yang homogen.

c. Uji Hipotesis

Dalam penelitian ini digunakan metode uji hipotesis dengan menggunakan analisis

varian dua jalan dengan interaksi menggunakan aplikasi SPSS 16 diperoleh nilai signifikan dari perlakuan tidak berada pada daerah kritik atau lebih kecil dari $\alpha=0,05$ maka H_0 diterima. Dari hasil nilai signifikansi pada Tabel.16. diperoleh bahwa jenis pahat mempengaruhi nilai kekasaran yang dibuktikan dengan nilai signifikansi hitung sebesar $0.00 \leq 0.05$, maka H_0 diterima. Nilai signifikansi arah pemakanan diperoleh $0.00 \leq 0.05$, maka H_0 diterima, artinya arah pemakanan mempengaruhi nilai kekasaran. Sedangkan interaksi antara jenis pahat dan arah pemakanan, nilai signifikansi diperoleh $0.419 \geq 0.05$, maka H_0 ditolak dan H_a diterima. Jadi interaksi antara jenis pahat dan arah pemakanan tidak mempengaruhi nilai kekasaran. Maka hipotesis yang menyatakan :

- a. Terdapat pengaruh antara jenis material alat potong terhadap kekasaran permukaan baja EMS 45 pada proses CNC *Milling*, diterima karena nilai hitung Sig. $0.00 \leq 0.05$ sesuai dengan kriteria penerimaan H_0 .
- b. Terdapat pengaruh antara variasi arah pemakanan terhadap kekasaran permukaan baja EMS 45 pada proses CNC *Milling*, diterima karena nilai hitung Sig. $0.00 \leq 0.05$ sesuai dengan kriteria penerimaan H_0 .
- c. Tidak ada pengaruh antara jenis material alat potong dan variasi arah pemakanan terhadap kekasaran permukaan baja EMS 45 pada proses CNC *Milling*, ditolak karena nilai hitung Sig. $0.419 \geq 0.05$ sesuai dengan kriteria penolakan H_0 .

Karena dari hasil pengujian menunjukkan penolakan H_0 (tidak ada perbedaan) pada interaksi jenis material alat potong dan arah pemakanan, maka harus uji lanjut menggunakan *Post Hoc Test*. Karena hasil uji anava menunjukkan perbedaan yang bermakna, maka uji selanjutnya adalah melihat kelompok mana saja yang berbeda. Dari hasil pengujian lanjut *Post Hoc Test* dapat diuraikan bahwa:

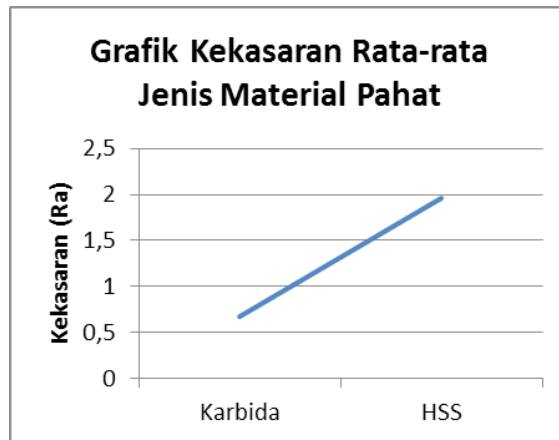
- a. Ada pengaruh signifikan antara arah pemakanan searah 90° dengan arah pemakanan berputar sumbu Z.
- b. Ada pengaruh signifikan antara arah pemakanan searah 45° dengan arah pemakanan searah 90° dan arah pemakanan berputar sumbu Z.
- c. Ada pengaruh signifikan antara arah pemakanan berputar sumbu Z dengan arah pemakanan searah 90° dan searah 45° .

Pembahasan

- a) Pengaruh Jenis Material Alat Potong Terhadap Kekasaran Permukaan Baja EMS 45 Pada Proses Milling

Dari analisis data yang diperoleh dapat diketahui bahwa parameter proses *milling* salah

satunya yaitu jenis material alat potong berpengaruh dalam menghasilkan nilai kekasaran pada permukaan. Pada Gambar.5. tentang grafik rata-rata kekasaran pada pengujian kekasaran pada benda kerja baja EMS 45 dengan variasi jenis material alat potong, diantaranya *Endmill Carbide* menghasilkan nilai kekasaran rata-rata sebesar 0.672 μm , sedangkan *Endmill HSS* menghasilkan nilai kekasaran rata-rata sebesar 1,959 μm .

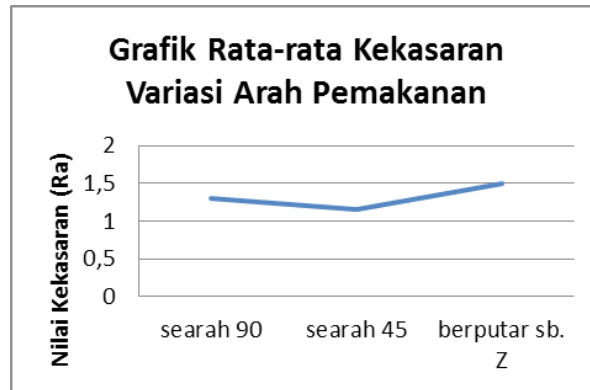


Gambar 5. Grafik kekasaran rata-rata jenis material pahat.

Klasifikasi sifat material alat potong pada umumnya semakin tinggi kekerasan material, maka semakin tinggi kerapuhan (kegetasan) material tersebut. Dengan kata lain semakin tinggi kekerasan material maka akan semakin rendah keuletannya.

b) Pengaruh Arah Pemakanan Terhadap Kekasaran Permukaan Baja EMS 45 Pada Proses Milling

Dari analisis data yang diperoleh dapat diketahui bahwa rata-rata kekasaran pada pengujian kekasaran pada benda kerja baja EMS 45 dengan variasi arah pemakanan diantaranya pemakanan searah 90° menghasilkan nilai kekasaran rata-rata sebesar 1,297 μm , pemakanan searah 45° menghasilkan nilai kekasaran rata-rata sebesar 1,156 μm , dan pemakanan berputar sumbu Z menghasilkan nilai kekasaran rata-rata sebesar 1,495 μm . Arah pemakanan dalam proses penyayatan memberikan pengaruh yang signifikan.

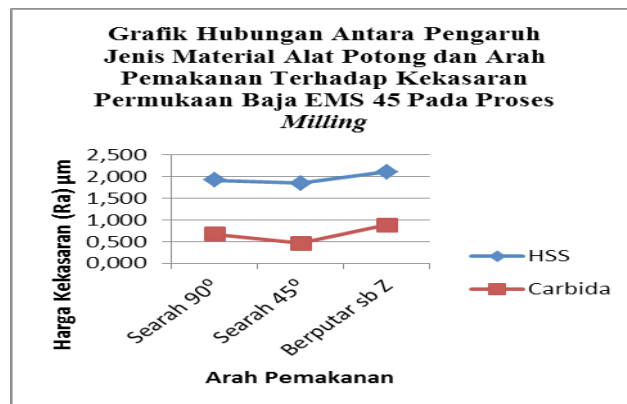


Gambar 6. Grafik kekasaran rata-rata variasi arah pemakanan.

Dari grafik tersebut diatas dapat disimpulkan bahwa dari ketiga variasi arah pemakanan yang memiliki nilai kekasaran yang paling rendah yaitu pemakanan searah 45°, dan arah pemakanan yang memiliki nilai kekasaran yang besar ditunjukkan pada pemakanan berputar sumbu Z. Jadi besarnya sudut gerak alat potong yang dihasilkan pada permukaan mempengaruhi kekasaran. Semakin kecil sudut bidang permukaan yang dihasilkan pada proses *face milling*, maka semakin kecil nilai kekasaran yang dihasilkan.

c) Pengaruh Jenis Material Alat Potong dan Arah Pemakanan Terhadap Kekasaran Permukaan Baja EMS 45 Pada Proses Milling

Berdasarkan hasil analisis pengujian hipotesis bahwa interaksi antara jenis material alat potong dan arah pemakanan tidak ada pengaruh yang signifikan. Hal ini dibuktikan pada hasil perhitungan statistika yang menyatakan nilai sig. lebih besar dari 0.05, yaitu $0,419 \geq 0,05$. Berikut adalah grafik hubungan antara pengaruh jenis material alat potong dan arah pemakanan terhadap kekasaran baja EMS 45 Pada proses *milling*.



Gambar 7. Grafik Hubungan Antara Pengaruh Jenis Material Alat Potong dan Arah Pemakanan Terhadap Kekasaran Permukaan Baja EMS 45 Pada Proses CNC Milling.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Simpulan yang diperoleh penelitian ini antara lain: 1) terdapat pengaruh antara jenis material alat potong terhadap kekasaran permukaan baja EMS 45 pada proses CNC Milling; 2) terdapat pengaruh antara variasi arah pemakanan terhadap kekasaran permukaan baja EMS 45 pada proses CNC Milling; 3) tidak ada pengaruh antara jenis material alat potong dan variasi arah pemakanan terhadap kekasaran permukaan baja EMS 45 pada proses CNC Milling.

Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh, maka peneliti dapat memberikan rekomendasi. Jenis material pahat potong dalam pengerjaan benda kerja pada CNC Milling sebaiknya menggunakan material pahat yang memiliki kekerasan tinggi seperti jenis karbida sehingga hasil yang dicapai permukaan benda kerja memiliki kekasaran yang rendah. Untuk pemilihan arah pemakanan pada CNC Milling dapat digunakan arah pemakanan searah 45° dalam tahap finishing karena memiliki hasil kekasaran yang rendah disbanding arah 45° dan 90°. Untuk penelitian selanjutnya yang sejenis sangat baik jika dianalisa faktor lain yang mempengaruhi tingkat kekasaran permukaan baja EMS 45 pada proses CNC Milling, misalnya pada permukaan benda kerja berkontur

DAFTAR PUSTAKA

- Adinnandha, Ramadhana dan Mahendra Sakti, Arya. *Analisa Jenis Pahat dan Kedalaman Pemakanan Terhadap Tingkat Kekasaran Permukaan Pada Benda Kerja Alumunium Dan Baja ST.37 Dengan Perlakuan Mesin Frais Vertikal*. Jurusan Teknik Mesin, Universitas Negeri Surabaya.
- Aji Wibowo. 2010. *Pengaruh Variasi Kecepatan Putar Spindel Dan Bahan Pahat Terhadap Kehalusan Permukaan Baja EMS 45 Pada Mesin CNC TU-2A Dengan Program Absolut*. Jurusan Teknik Mesin, Universitas Sebelas Maret Surakarta.
- B.H. Amstreat .1993. *Teknologi Mekanik*. Jakarta: Erlangga
- C.R. Barik, and M.K. Mandal. (2012). "Parametric Effect and Optimization of Surface Roughness of EN 31 in CNC Dry Turning. *International Journal of Lean Thinking*", 3(2).
- D.V.V. Krishan Prasad. (2013). "Influence of Cutting Parameters on Turning Process Using Anova Analisis". *Research Journal of Engineering Sciences*. 2(9),1-6.
- Mardiansyah, Andri. 2014. *Analisis Kekasaran Benda Kerja Dengan Variasi Jenis Material Dan Pahat Potong*. Program Studi Teknik Mesin S1. Fakultas Teknik, Universitas

Bengkulu.

- Munadi, Sudji. 1988. *Dasar-Dasar Meterologi Industri*. Jakarta: Departemen Pendidikan dan Kebudayaan, Direktorat Jendral Perguruan Tinggi. Rahdiyanta.
- Dwi. 2010. *Buku 3 Proses Frais (Milling)*. Jurusan Pendidikan Teknik Mesin, Universitas Negeri Yogyakarta.
- Situmorang, Rodian. 2015. *Alat Potong Mesin Perkakas*. Jurusan Teknik Mesin. Politeknik Negeri Bandung.
- Subagio Ganjar, Dalmasius. 2008. *Teknik Pemrograman Bubut dan Frais*. Jakarta: LIPI Press.
- Sudjana, Nana. 1989. *Metode Statistika*. Bandung : Tarsito.
- Sumbodo, Wirawan, dkk. 2008. *Teknik Produksi Mesin Jilid 2*. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah kejuruan, Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar Dan Menengah, Departemen Pendidikan Nasional.
- Sumbodo, Wirawan, Boenasir, Karsono, P. Agung. 2011. The Making Workpieces Using Autocad Software Based Siemens Sinumerik 802C Base Line Frais Machine. *International Journal of Engineering and Industries*. 2,(2) Mechanical Engineering, Semarang State University.
- Sunyapa, Bijak. 2016. *Analisis Variasi Proses Milling CNC Terhadap Kekasaran Permukaan Baja ST41 Dengan Metode Taguchi*. Jurusan Teknik Mesin, Universitas Jember.
- Syafaat, Imam, Wahid, M. Abdul dan Respati, Bondan. 2016. “Pengaruh Arah Pemakanan Dan Sudut Permukaan Bidang Kerja Terhadap Kekasaran Permukaan Material S45C Pada Mesin Frais CNC Menggunakan Ballnose Endmill”. *Jurnal Momentum*, 12(1) Jurusan Teknik Mesin, Universitas Wahid Hasyim.
- Hasan, Iqbal. 2006. *Analisis Data Penelitian dengan Statistik*. Jakarta: Bumi Aksara.
- Syaifulallah, Herry. 2015. “Analisis Tingkat Kekasaran Permukaan Hasil Proses Milling Pada Baja Karbon S45C Dengan Metode 33 Desain Faktorial”. *Jurnal penelitian Technologic*, 6 (2).
- Widarto, dkk. 2008. *Teknik Pemesinan*. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah kejuruan, Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar Dan Menengah, Departemen Pendidikan Nasional.
- Wiryosumarto, Harsono dan Okumura. 1996. *Teknologi Pengelasan Logam*. Jakarta: Pradnya Paramita.