

PENGARUH VARIASI KECEPATAN SPINDEL DAN KEDALAMAN PEMAKANAN TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN *STAINLESS STEEL* AISI 304 PADA PROSES FRAIS KONVENSIONAL DENGAN METODE TAGUCHI

The Effect of Spindle Speed Variation and Depth of Cut on the Surface Hardness of Stainless Steel AISI 304 in the Conventional Fraiss Process using Taguchi Method

Agus Hari Cahyono¹⁾, Nely Ana Mufarida²⁾, Asmar Finali³⁾

^{1,2,3)}Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember
Email: ¹⁾erickrezeptor@gmail.com ²⁾nelyana_munfarida@yahoo.com³⁾pcffinali@gmail.com

ABSTRAK

Proses pemesian frais adalah proses pemesian yang dilakukan dengan cara memotong atau menyayat benda kerja menggunakan alat potong bermata banyak yang berputar. Setiap permukaan benda kerja yang telah mengalami proses pemesian frais akan menghasilkan nilai kekasaran permukaan yang berbeda. Tujuan pada penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh dari parameter pemotongan serta mengetahui kombinasi yang optimal dari parameter pemotongan tersebut agar menghasilkan nilai kekasaran permukaan yang kecil. Pada penelitian ini parameter pemotongan yang digunakan adalah kecepatan spindel dengan variasi 600 rpm; 860 rpm; 960 rpm dan kedalaman pemakanan dengan variasi 0,1 mm; 0,3 mm; 0,5 mm, sedangkan proses frais yang dilakukan adalah proses frais vertikal dengan menggunakan mesin frais konvensional pada material *Stainless Steel* AISI 304 dan menggunakan pisau frais jari berbahan dasar HSS (*High Speed Steel*) dengan diameter 12 mm dan jumlah mata pisau 4 *flute*. Dari hasil analisa data menggunakan metode Taguchi dapat diketahui nilai kekasaran permukaan paling besar terdapat pada parameter pemotongan kecepatan spindel 600 rpm dan kedalaman pemakanan 0,5 yaitu 2,259 μm , sedangkan nilai kekasaran permukaan paling kecil terdapat pada parameter pemotongan kecepatan spindel 960 rpm dan kedalaman pemakanan 0,1 mm yaitu 1,137 μm , sehingga kombinasi yang optimal dari parameter pemotongan adalah kecepatan spindel sebesar 960 rpm dan kedalaman pemakanan sebesar 0,1 mm.

Kata kunci: mesin frais, kekasaran permukaan, kecepatan spindel, kedalaman pemakanan, *Stainless Steel* AISI 304, dan metode Taguchi.

ABSTRACT

Milling machining process is machining process which is done by cutting or slashing object using spinning multipoint cutter milling. Every surface object which has been through milling machining process will result different surface roughness value. The purpose of this research is to know the effect of cutting parameter and to know the optimal combination of the cutting parameter in order to result the least surface roughness value. In this research, parameter used is spindle speed with variation of 600 rpm; 860 rpm; 960 rpm and the depth of cut with variation of 0,1 mm; 0,3 mm; 0,5 mm, however the milling process used is vertical milling process uses conventional milling machine at Stainless Steel AISI 304 material and uses endmill cutter made of HSS (High Speed Steel) with 12 mm diameter and 4 flute blade. From the data analysis using Taguchi method, it can be known that the most roughness value is on the 600 rpm spindle speed and 0.5 mm depth of cut cutting parameter that is 2.259 μm , however the least surface roughness value is on the 960 rpm spindle speed and 0.1 mm depth of cut cutting parameter that is 1.137 μm . Therefore, the best cutting parameter combination is 960 rpm spindle speed and 0.1 mm depth of cut.

Keywords: milling machine, surface roughness, spindle speed, depth of cut, Stainless Steel AISI 304, and Taguchi method.

PENDAHULUAN

Proses pemesian merupakan suatu proses yang dilakukan untuk mengubah bentuk suatu benda kerja dengan cara membuang sebagian material dari benda kerja agar menjadi produk yang diinginkan dengan

menggunakan mesin perkakas. Salah satu contoh proses pemesian menggunakan mesin perkakas adalah proses pemesian yang menggunakan mesin frais.

Proses pemesinan menggunakan mesin frais merupakan proses permesinan yang banyak digunakan dalam pembuatan suatu produk, namun setiap produk yang telah mengalami proses pemesinan menggunakan mesin frais akan menghasilkan nilai kekasaran permukaan yang berbeda seperti permukaan yang halus atau kasar. Selain itu kekasaran permukaan juga merupakan salah satu faktor yang menentukan kualitas dari produk yang dihasilkan, semakin kecil nilai kekasaran permukaan suatu produk maka semakin baik kualitasnya dan semakin besar nilai kekasaran permukaan suatu produk maka semakin buruk kualitasnya.

Oleh karena itu, dilakukan penelitian yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari parameter pemotongan serta mengetahui kombinasi yang optimal dari parameter pemotongan tersebut agar mendapatkan nilai kekasaran permukaan yang kecil dengan menggunakan metode Taguchi.

Pada penelitian ini parameter pemotongan yang digunakan adalah kecepatan spindel dan kedalaman pemakanan, sedangkan proses pemesinan yang dilakukan pada penelitian ini adalah proses frais vertikal dengan menggunakan mesin frais konvensional pada material *Stainless Steel* AISI 304 dengan menggunakan pisau frais jari (*endmill cutter*) berbahan dasar HSS (*High Speed Steel*) dengan diameter 12 mm dan jumlah mata pisau 4 *flute*.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang dilakukan pada penelitian ini adalah metode eksperimental, metode ini merupakan metode penelitian yang dilakukan dengan cara pengamatan guna mencari data sebab-akibat pada suatu proses penelitian sehingga dapat mengetahui pengaruh variabel bebas terhadap variabel terikat. Metode eksperimental yang digunakan pada penelitian ini adalah metode Taguchi.

Alat dan Bahan Penelitian

Alat Penelitian

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- (1) Mesin frais konvensional Hauw Gan tipe ZX 6350 C.
- (2) Pisau frais jari (*endmill cutter*).
- (3) Alat uji kekasaran permukaan *Surface Roughness* TR 220.
- (4) Jangka sorong.

Bahan Penelitian

Benda kerja yang digunakan pada penelitian ini adalah *Stainless Steel* AISI 304.

Metode Taguchi

Metode Taguchi adalah salah satu metode dalam bidang teknik yang bertujuan untuk memperbaiki kualitas produk dan proses serta dalam waktu bersamaan dapat menekan biaya dan sumber seminimal mungkin. Dalam penelitian ini metode Taguchi digunakan untuk mengetahui pengaruh dari parameter pemotongan serta mengetahui kombinasi yang optimal dari parameter pemotongan tersebut agar mendapatkan nilai kekasaran permukaan yang diinginkan. Adapun langkah-langkah penyusunan metode Taguchi dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- (1) Pemilihan karakteristik kualitas
- (2) Karakteristik kualitas dalam penelitian ini adalah *smaller the better*, karena nilai kekasaran permukaan yang paling kecil adalah nilai yang paling baik.
- (3) Pemilihan faktor kontrol dan faktor gangguan
- (4) Faktor kontrol dalam penelitian ini adalah kecepatan spindel dan kedalaman pemakanan, sedangkan faktor gangguan dalam penelitian ini adalah nilai kekasaran permukaan.
- (5) Penentuan nilai faktor dan jumlah level percobaan
- (6) Nilai faktor dalam penelitian ini adalah 2 nilai faktor yaitu kecepatan spindel dan kedalaman pemakanan yang memiliki 3 level percobaan pada setiap faktor.

Tabel 1. Faktor dan Level Percobaan

Faktor	Level		
	1	2	3
Kecepatan Spindel	600 rpm	860 rpm	960 rpm
Kedalaman Pemakanan	0,1 mm	0,3 mm	0,5 mm

- (1) Perhitungan derajat kebebasan
Jumlah derajat kebebasan atau jumlah minimum percobaan yang harus dilakukan pada penelitian ini adalah 8 DoF.

Tabel 2. Derajat Kebebasan (DoF)

Faktor	Derajat Kebebasan	Jumlah Derajat Kebebasan
Kecepatan Spindel	9.1-1	8
Kedalaman Pemakanan	9.1-1	8

- (2) Pemilihan *Orthogonal Array* (OA)
Orthogonal Array pada penelitian ini adalah *Orthogonal Array* $L_9(3^2)$ karena terdapat 2 nilai faktor yang memiliki 3 level percobaan pada setiap faktor.

Tabel 3. *Orthogonal Array* $L_9(3^2)$

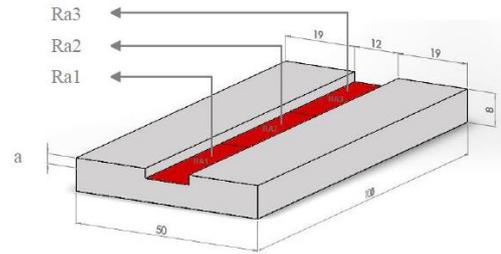
Eksp.	Faktor	
	Kecepatan Spindel	Kedalaman Pemakanan
1	1	1
2	1	2
3	1	3
4	2	1
5	2	2
6	2	3
7	3	1
8	3	2
9	3	3

- (3) Pelaksanaan eksperimen
 Eksperimen ini dilaksanakan dalam dua tahap eksperimen, yaitu tahap pembuatan spesimen benda kerja atau proses frais menggunakan mesin frais konvensional dan tahap pengujian spesimen benda kerja atau pengujian kekasaran permukaan pada benda kerja.

- (4) Analisa data
 Analisa data dalam penelitian ini menggunakan *software* Minitab 16 untuk menganalisa data dalam suatu *layout* tertentu. Analisa data pada penelitian ini meliputi perhitungan rata-rata kekasaran permukaan (*means*), perhitungan persamaan regresi nilai kekasaran permukaan, perhitungan *Signal to Noise Ratios* (SNR), perhitungan normalisasi *Signal to Noise Ratios* (X_i^*), dan pengujian normalitas dengan uji *Kolmogorov Smirnov*.

- (5) Interpretasi hasil
 Interpretasi hasil merupakan tahap untuk mengevaluasi faktor dan level mana yang berpengaruh dan tidak berpengaruh terhadap nilai kekasaran permukaan. Pada tahap ini diperlihatkan data hasil penelitian dalam bentuk *layout* tertentu sehingga memudahkan untuk mengetahui hasil dari analisa data tersebut.

Prosedur Penelitian



Gambar 1. Benda Kerja

Benda kerja yang digunakan pada penelitian ini adalah *Stainless Steel* AISI 304 berbentuk plat dengan ukuran panjang 100 mm, lebar 50 mm, dan tinggi 8 mm, kemudian dilakukan proses permesinan pada masing-masing benda kerja menggunakan mesin frais konvensional dengan variasi parameter pemotongan yang sudah ditentukan dan dilakukan pengujian kekasaran permukaan pada masing-masing benda kerja menggunakan *Surface Roughness Tester* TR 220, pengukuran kekasaran permukaan dilakukan pada tiga titik yaitu Ra1, Ra2, dan Ra3.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data hasil pengujian kekasaran permukaan pada proses pemesinan menggunakan mesin frais konvensional dengan pengaruh kecepatan spindel dan kedalaman pemakanan dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 4. Hasil Pengujian Kekasaran Permukaan

Eksp.	Faktor		Nilai Kekasaran (μm)		
	Kecepatan Spindel	Kedalaman Pemakanan	Ra1	Ra2	Ra3
1	600 rpm	0,1 mm	1,660	1,428	1,444
2	600 rpm	0,3 mm	1,870	1,775	1,701
3	600 rpm	0,5 mm	2,089	2,520	2,169
4	860 rpm	0,1 mm	1,439	1,091	1,245
5	860 rpm	0,3 mm	1,646	1,555	1,777
6	860 rpm	0,5 mm	2,117	1,806	1,737
7	960 rpm	0,1 mm	1,145	1,062	1,204
8	960 rpm	0,3 mm	1,559	1,595	1,665
9	960 rpm	0,5 mm	1,832	2,058	1,604

Analisa Data

Rata-Rata Kekasaran Permukaan

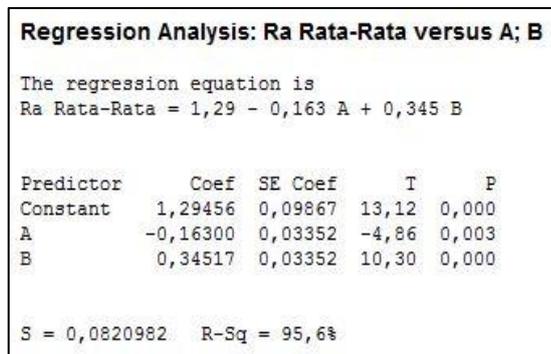
Data hasil perhitungan rata-rata kekasaran permukaan (*means*) dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 5. Hasil Perhitungan Rata-Rata Kekasaran Permukaan (*means*)

Eksp.	Faktor		Nilai Kekasaran (µm)			
	Kecepatan Spindel	Kedalaman Pemakanan	Ra1	Ra2	Ra3	Means
1	600 rpm	0,1 mm	1,660	1,428	1,444	1,511
2	600 rpm	0,3 mm	1,870	1,775	1,701	1,782
3	600 rpm	0,5 mm	2,089	2,520	2,169	2,259
4	860 rpm	0,1 mm	1,439	1,091	1,245	1,258
5	860 rpm	0,3 mm	1,646	1,555	1,777	1,659
6	860 rpm	0,5 mm	2,117	1,806	1,737	1,887
7	960 rpm	0,1 mm	1,145	1,062	1,204	1,137
8	960 rpm	0,3 mm	1,559	1,595	1,665	1,606
9	960 rpm	0,5 mm	1,832	2,058	1,604	1,831

Persamaan Regresi Nilai Kekasaran Permukaan

Data hasil analisis regresi Ra rata-rata terhadap faktor A dan faktor B atau keseluruhan faktor dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 2. Regression Analysis Ra Rata-Rata versus A, B

Dari hasil analisis regresi Ra rata-rata terhadap faktor A dan faktor B atau keseluruhan faktor didapatkan persamaan regresi nilai kekasaran permukaan sebagai berikut:

$$Ra = 1,29 - 0,163 n + 0,345 a$$

Persamaan diatas digunakan untuk memprediksi nilai kekasaran permukaan dalam menentukan parameter pemotongan untuk kecepatan spindel dan kedalaman pemakanan, dengan nilai *Regression Square* (R-Sq) atau tingkat kepercayaan regresi adalah 95,6 %.

Signal to Noise Ratios (SNR)

Data hasil perhitungan *Signal to Noise Ratio* (SNR) dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 6. Data Hasil Perhitungan *Signal to Noise Ratio* (SNR)

Eksp.	Faktor		Nilai Kekasaran (µm)				SNR
	Kecepatan Spindel	Kedalaman Pemakanan	Ra1	Ra2	Ra3	Means	
1	600 rpm	0,1 mm	1,660	1,428	1,444	1,511	-3,58529
2	600 rpm	0,3 mm	1,870	1,775	1,701	1,782	-5,01815
3	600 rpm	0,5 mm	2,089	2,520	2,169	2,259	-7,07832
4	860 rpm	0,1 mm	1,439	1,091	1,245	1,258	-1,99361
5	860 rpm	0,3 mm	1,646	1,555	1,777	1,659	-4,39693
6	860 rpm	0,5 mm	2,117	1,806	1,737	1,887	-5,51544
7	960 rpm	0,1 mm	1,145	1,062	1,204	1,137	-1,11521
8	960 rpm	0,3 mm	1,559	1,595	1,665	1,606	-4,11491
9	960 rpm	0,5 mm	1,832	2,058	1,604	1,831	-5,25377

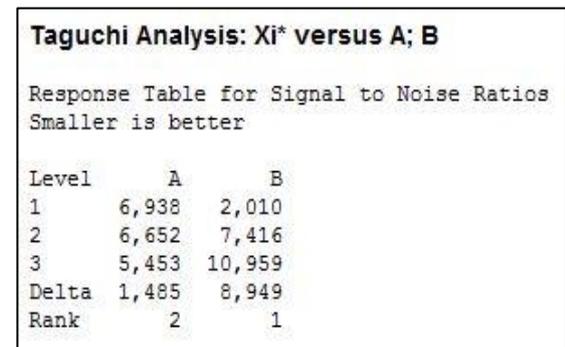
Normalisasi Signal to Noise Ratio (Xi*)

Data hasil perhitungan normalisasi *Signal to Noise Ratio* (Xi*) dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 7. Data Hasil Perhitungan Normalisasi *Signal to Noise Ratio* (Xi*)

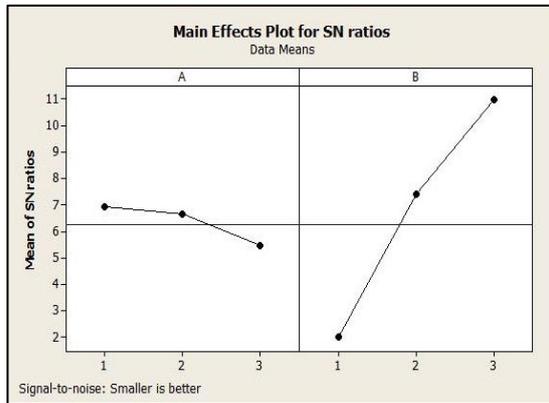
Eksp.	Kecepatan Spindel	Kedalaman Pemakanan	Means	SNR	Xi*
1	600 rpm	0,1 mm	1,511	-3,58529	0,58577
2	600 rpm	0,3 mm	1,782	-5,01815	0,34549
3	600 rpm	0,5 mm	2,259	-7,07832	0,00000
4	860 rpm	0,1 mm	1,258	-1,99361	0,85269
5	860 rpm	0,3 mm	1,659	-4,39693	0,44966
6	860 rpm	0,5 mm	1,887	-5,51544	0,26209
7	960 rpm	0,1 mm	1,137	-1,11521	1,00000
8	960 rpm	0,3 mm	1,606	-4,11491	0,49696
9	960 rpm	0,5 mm	1,831	-5,25377	0,30597

Dari tabel data hasil perhitungan normalisasi *Signal to Noise Ratio* (Xi*) didapatkan analisis Taguchi normalisasi *Signal to Noise Ratios* (Xi*) terhadap faktor A dan faktor B atau terhadap keseluruhan faktor yang dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 3. Taguchi Analysis (Xi*) versus A, B

Dari analisis Taguchi normalisasi *Signal to Noise Ratios* (X_i^*) terhadap faktor A dan faktor B atau terhadap keseluruhan sehingga didapat respon untuk normalisasi *Signal to Noise Ratios* (X_i^*) dari keseluruhan faktor yang kemudian dibuat dalam grafik yang dapat dilihat pada gambar dibawah ini.

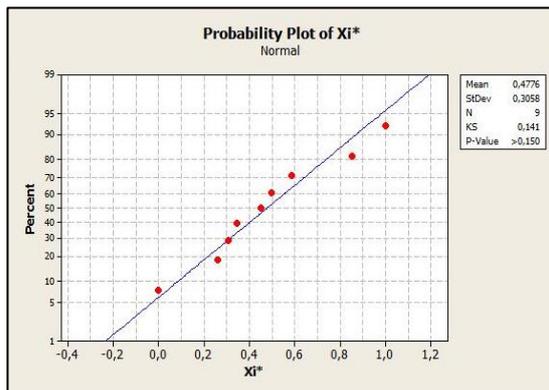


Gambar 4. Grafik Respon Normalisasi *Signal to Noise Ratios* (X_i^*) Terhadap Kekasaran Permukaan Dari Keseluruhan Faktor

Uji Kolmogorov Smirnov

Uji *Kolmogorov Smirnov* ini digunakan untuk mengetahui kenormalan pada suatu distribusi data, pengujian ini merupakan uji beda antara data yang akan diuji normalitasnya dengan data normal. Hipotesa untuk pengujian normalitas dengan uji *Kolmogorov Smirnov* adalah sebagai berikut:

- H_0 : Residual data berdistribusi normal
- H_1 : Residual data berdistribusi tidak normal



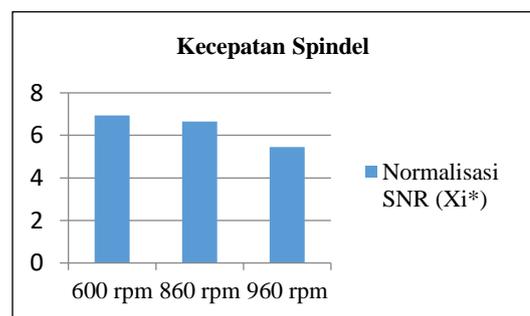
Gambar 5. Grafik Hasil Pengujian Normalitas dengan uji Kolmogorov Smirnov

Gambar diatas menunjukkan hasil pengujian normalitas dengan uji *Kolmogorov Smirnov*, berdasarkan pengujian normalitas untuk *Covidence Interval* (α) 0,05 (5%) atau untuk nilai *P-Value* > 0,05 (5%) dengan jumlah eksperimen (N) sebanyak 9

eksperimen didapatkan nilai *means* adalah 0,4776, nilai *Standart Deviation* (StDev) adalah 0,3058, nilai statistik *Kolmogorov Smirnov* (KS) adalah 0,141 dan nilai *P-Value* > 0,150 (15%) sehingga nilai *P-Value* > 0,05 (5%) maka H_0 gagal ditolak dan mempunyai residual data berdistribusi normal dan dapat disimpulkan bahwa terdapat pengaruh dari faktor dan level percobaan terhadap nilai kekasaran permukaan.

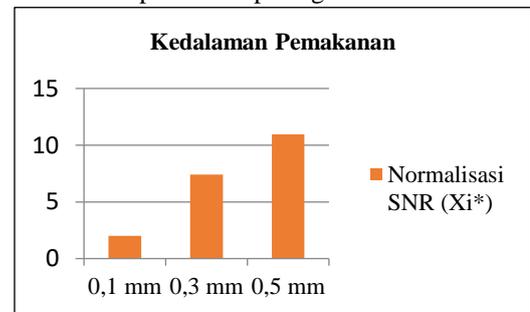
Interpretasi Hasil

Interpretasi hasil analisa data pengaruh kecepatan spindel terhadap kekasaran permukaan dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 6. Diagram Analisa Data Pengaruh Kecepatan Spindel Terhadap Kekasaran Permukaan

Interpretasi hasil analisa data pengaruh kedalaman pemakanan terhadap kekasaran permukaan dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 7. Diagram Analisa Data Pengaruh Kedalaman Pemakanan Terhadap Kekasaran Permukaan

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa data penelitian, maka didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- (1) Kecepatan spindel mempunyai pengaruh yang berbanding terbalik terhadap nilai kekasaran permukaan yaitu semakin tinggi kecepatan spindel maka nilai kekasaran permukaan akan

semakin kecil dan sebaliknya. Sedangkan kedalaman pemakanan mempunyai pengaruh yang berbanding lurus terhadap nilai kekasaran permukaan yaitu semakin tinggi kedalaman pemakanan maka nilai kekasaran permukaan semakin besar dan sebaliknya.

- (2) Nilai kekasaran permukaan paling besar terdapat pada parameter pemotongan kecepatan spindle 600 rpm dan kedalaman pemakanan 0,5 yaitu 2,259 μm , sedangkan nilai kekasaran permukaan paling kecil terdapat pada parameter pemotongan kecepatan spindle 960 rpm dan kedalaman pemakanan 0,1 mm yaitu 1,137 μm .
- (3) Dari hasil analisa data penelitian menggunakan metode Taguchi, parameter pemotongan kecepatan spindle yang paling optimal yang dapat menghasilkan nilai kekasaran permukaan yang paling kecil adalah 960 rpm dan kedalaman pemakanan yang paling optimal yang dapat menghasilkan nilai kekasaran permukaan yang paling kecil adalah 0,1 mm, sehingga kombinasi optimal dari parameter pemotongan adalah kecepatan spindle sebesar 960 rpm dan kedalaman pemakanan sebesar 0,1 mm.
- (4) Persamaan regresi untuk memprediksi nilai kekasaran permukaan dalam menentukan parameter pemotongan untuk kecepatan spindle dan kedalaman pemakanan adalah $Ra = 1,29 - 0,163n + 0,345a$, dimana a adalah nilai koefisien kecepatan spindle dan b adalah nilai koefisien kedalaman pemakanan dengan nilai tingkat kepercayaan regresi adalah 95,6 %.

Saran

Bedasarkan hasil analisa data penelitian, maka dapat disampaikan beberapa saran sebagai berikut:

- (1) Hasil analisa data penelitian diharapkan dapat menjadi bahan pertimbangan dalam menghasilkan nilai kekasaran permukaan yang kecil pada proses pemesinan menggunakan mesin frais konvensional.
- (2) Bagi peneliti yang ingin melakukan penelitian dengan permasalahan yang sama, penelitian ini dapat dikembangkan dengan pengaruh parameter pemotongan yang lain seperti kecepatan potong, kecepatan pemakanan, jenis pahat, jumlah mata pahat, dan pemberian pendingin serta menambah jumlah faktor dan jumlah level percobaan.

DAFTAR PUSTAKA

- Aditya, Apris Yudi, dkk. 2014. *Pengaruh Spindle Speed, Feed Rate dan Jumlah Mata Pahat Ball Nose End Mill Terhadap Kekasaran Permukaan Aluminium Pada Proses Conventional Milling*. Jurnal Teknik Mesin. Universitas Brawijaya.
- Azhar, Muhamad Choirul. 2014. *Analisa Kekerasan Permukaan Benda Kerja Dengan Variasi Jenis Material dan Pahat Potong*. Sripsi Teknik Mesin. Universitas Bengkulu.
- Fakhrudin Fikri, dkk. 2013. *Pengaruh Parameter dan Proses Pemotongan Terhadap Kekasaran Permukaan pada Proses Pemotongan End Mill*. Jurnal Teknik Mesin. Universitas Brawijaya.
- Fitria Nana. 2009. *Analisa Metode Desain Eksperimen Taguchi Dalam Optimasi Karakteristik Mutu*. Skripsi Matematika. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.
- Isa Rachmanta, dkk. 2014. *Pengaruh Parameter Pemotongan Terhadap Kekasaran Permukaan Baja Karbon Rendah Pada Proses Conventional Milling Menggunakan Pahat End Mill*. Jurnal Teknik Mesin. Universitas Brawijaya.
- Mufarida, Nely Ana. 2016. *Penulisan Karya Ilmiah (Skripsi)*. Jember. Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Jember.
- Rahmadi Fajar. 2010. *Optimasi Parameter Proses Permesinan CNC Milling Terhadap Kekasaran Permukaan Baja ST 40 Dengan Metode Taguchi*. Skripsi Teknik Mesin. Universitas Sebelas Maret.
- Rochim Taufik. 1993. *Teori dan Teknologi Proses Pemesinan*. Jakarta. Higher Education Development Support (HEDS).
- Suharno, dkk. 2013. *Pendalaman Materi Teknik Mesin*. Surakarta. Konsorsium Sertifikasi Guru.
- Sumbodo Wirawan, dkk. 2008. *Teknik Produksi Mesin Industri Jilid 2*. Jakarta. Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah, Departemen Pendidikan Nasional.