ISSN 2302 – 5255
Volume 8 Nomor 1, April 2015

JURNAL ENERGI DAN MANUFAKTUR

Jurnal Energi dan Manufaktur	Vol. 8	No. 1	Halaman 1-110	BALI April 2015	ISSN 2302 – 5255

JURNAL ENERGI DAN MANUFAKTUR

DEWAN REDAKSI

Ketua Penyunting : Prof. Dr. Tjokorda Gde Tirta Nindhia, ST, MT.

Penyunting Ahli :

Prof. Dr. Ir. I GB Wijaya K.	(Unud)
Prof. Dr. Ir. I NG Antara, MEng.	(Unud)
Prof. Dr. Tjokorde Gde Tirta Nindhia, ST, MT.	(Unud)
Prof. I N Suprapta Winaya, ST, MASc, PhD.	(Unud)
Dr.Eng. Made Sucipta,ST.,MT	(Unud)
I Made Widiyarta,ST.,MEng.Sc.PhD	(Unud)
Prof. Ir. Ngakan Putu Gede Suardana,MT.,PhD	(Unud)
Dr. Ir. I Wayan Surata, M Erg	(Unud)
Prof. Dr. Ing. Ir. I Made Londen Batan, MEng.	(ITS)
Prof. Ir. I N Sutantra, MSc, PhD.	(ITS)
Prof. Dr. Ir. I NG.Wardana, MEng.	(UB)
Dr. Ir. Suhanan, DEA.	(UGM)
Dr. Ir. Yanuar, MEng, MSc.	(UI)
Prof. Dr. Ir. Johny Wahyudi S, DEA.	(UI)
Ir. I GN Wiratmaja Puja, MSME, PhD.	(ITB)
Dr. Ir. Dipl.Ing. Berkah Fajar TK.	(Undip)
Prof. Dr. Ing. Ir. Harwin Saptoadi, MSE.	(UGM)

Penyunting Pelaksana :

I Ketut Adi Atmika, ST., MT.
I Made Astika, ST., MErg, MT.
DNK. Putra Negara, ST, MSc.
IGK. Sukadana, ST., MT.
AAIA. Sri Komala Dewi, ST., MT.
Dr. Wayan Nata Septiadi, ST., MT.
I Gede Teddy Prananda Surya, ST.,MT

Alamat Redaksi : Jurusan Teknik Mesin, Universitas Udayana
Kampus Bukit Jimbaran, Badung – Bali. 80362
Telp./ Fax. : 0361 703321
e-mail : jem.jurnal@yahoo.com
jem.jurnal@gmail.com

Kata Pengantar

Puji syukur tercurahkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas terbitnya Jurnal Energi dan Manufaktur Volume 8 Nomor 1 pada bulan April 2015 ini, yang merupakan kelanjutan Jurnal Ilmiah Teknik Mesin *CahraM*, Fakultas Teknik Universitas Udayana. Penerbitan jurnal ini bertujuan menyediakan media publikasi untuk hasil-hasil penelitian maupun kajian aplikasi dibidang Teknik Mesin, baik untuk penelitian dikalangan internal maupun eksternal kampus Universitas Udayana. Kami harap dapat lebih memperluas perkenalan dan interaksi dengan para peneliti dari institusi pendidikan maupun peneliti dan mengundang partisipasi penulis laporan/makalah penelitian dari luar Universitas Udayana lebih banyak lagi.

Dewan redaksi mengucapkan terima kasih atas dukungan dan motivasi dari rekan-rekan di kampus serta pimpinan jurusan dalam merealisasikan terbitnya jurnal ini. Dewan redaksi juga menyampaikan terima kasih atas partisipasi rekan-rekan peneliti, terlebih untuk partisipan dari luar Universitas Udayana yang telah mengirimkan naskahnya untuk dipublikasikan melalui Jurnal Energi dan Manufaktur Teknik Mesin Universitas Udayana. Dalam Volume 8, Nomor 1, April 2015 ini disajikan enam belas artikel.

Akhirnya dewan redaksi berharap semoga artikel-artikel dalam jurnal ini bermanfaat bagi pembaca dan memperkuat semangat untuk ikut dalam mengembangkan ilmu dan teknologi terutama dibidang Teknik Mesin. Kami tunggu naskah-naskah untuk penerbitan berikutnya.

Dewan Redaksi

Daftar Isi

Optimasi Kondisi Pemesinan untuk Kekasaran Permukaan pada proses *Slot Milling* Baja Tahan Karat AISI 304 — 1
(Amrifan Saladin Mohruni, Erna Yuliwati, Redy Kholif Muhrobin)

Pendekatan Baru Penentuan Kemudahan Proses μ-EDM dengan menggunakan analis dimensional teorema buckingham π — 9
(Nidia Lestari, Muslim Mahardika)

Aspek Keselamatan Kerja pada Proses Pembentukan Batu Permata menggunakan Mesin Gerinda — 15
(Anom Santiana, M. Yusuf)

Meningkatkan Pendapatan Masyarakat dengan Mesin Pencacah Sampah Plastik — 21
(I Gede Putu Agus Suryawan, Cok Istri P. Kusuma Kencanawati, I Made Widiyarta)

Kajian Esperimental Parameter Modal Massa Raket Tenis dengan Tumpuan Bebas-bebas — 27
(Deli Usman, Mulyadi Bur, Meifal Rusli)

Reduksi Suara Lengkingan pada Struktur Cakram dengan Beban Gesek melalui penambahan Massa — 35
(Muchlisinalahuddin, Meifal Rusli, Mulyadi Bur)

Drag Reduction Suspensi Bakteri Selulosa pada Aliran *Crude Oil* dalam Pipa Spiral — 45
(Yanuar, Kurniawan, Rendi, Habib, Edwin, Vaul)

Distribusi Kekerasan dan *Total Case Depth* Baja Karbon Rendah setelah proses *Pack Carburizing* — 53
(Dewa Ngakan Ketut Putra Negara, I Ketut Gede Sugita, IGN Arimbawa)

Mekanisme Aus Baja Karbon AISI 1065 pada permukaan Kontak Basah akibat Beban Kontak Gelinding-Luncur — 57
(I Made Widiyarta, I Made Parwata, I Made Gatot Karohika, I Putu Lokantara, Made Arie Satryawan)

Karakteristik Traksi Sepeda Motor dengan *Continuose Variabel Transmission System* — 63
(I Ketut Adi Atmika, I Dewa Gede Ary Subagia)

Kekuatan Lentur Komposit Polyester berpenguat Serat Tapis Kelapa — 71
(I Made Astika, I Gusti Komang Dwijana)

Studi Kemampuan Tanaman Rumah dalam Penyerapan Panas Matahari untuk mengatasi Panas Lokal — 79
(Ahmad Syuhada, Dharma Dawood)

Kaji Eksperimental Penurunan Tekanan Air dalam Liter Pasir Aktif — 87
(Toto Supriyono, Herry Sonawan, Rizal A. P)

Analisis Performa Refrigeran R 290 pada Sistem AC yang menggunakan *Accumulator Heat Exchanger* — 95
(Ega Taqwali Berman, Syamsuri Hasan)

Optimasi Derajat kebebasan *Redundent* mekanisme Pararel *Spherical* 3-URU untuk Optimalisasi Kekakuan Kinematik — 99
(Sepriyanto, Syamsul Huda, Lovely Son, Mulyadi Bur)

Potensi Biogas dari Substrat Bio-Limbah Perhotelan — 107
(I Nyoman Suprapta Winaya, I Gusti Ngurah Putu Tenaya, I Made Agus Putrawan)

Optimasi Kondisi Pemesinan untuk Kekasaran Permukaan pada Proses *Slot Milling* Baja Tahan Karat AISI 304

Amrifan Saladin Mohruni[1)*], Erna Yuliwati[2)], Redy Kholif Muhrobin[1)]

[1)]Jurusan Teknik Mesin, Universitas Sriwijaya, Sumatera Selatan-Indonesia.
[2)]Jurusan Teknik Industri, Universitas Bina Darma, Sumatera Selatan-Indonesia.
Email: mohrunias@yahoo.com, mohrunias@unsri.ac.id

Abstrak

Dalam *slot milling*beberapa parameter berkontribusi penting untuk mencapai kekasaran permukaan benda kerja yang sesuai dengan kebutuhan. Diantara parameter-parameter tersebutadalah kecepatan potong dan laju pemakanan, yang untukpencarian parameter kondisi pemesinan yang optimum sangat diperlukan. Dalam rangka pencarian kondisi pemesinan yang optimumperlu dibuat model matematis empirik yang dapat menggambarkan hubungan antara parameter-parameter tersebut. Pada penelitian ini pembuatan model matematik empirik dilakukan menggunakan metodologi permukaan respon (*Response Surface Methodology*) pada sebuah plat *stainless steel* AISI 304 dengan dimensi adalah 150 mm x 100 mm x 10 mm. Dari hasil optimasi diperoleh bahwa kecepatan potong dan laju pemakanan yang menghasilkan respon R_a0,510 μm yang optimal berturut-turut adalah 30 m/min dan 0,15 mm/tooth. Sementara itu, nilai R_a yang terbesar yang diperoleh dalam pengujian ini adalah 4,783 μm.

Kata kunci: optimasi,*slot milling*, *stainless steel* AISI 304, response surface methodology

Abstract

In slot milling, some parameters give important contribution to achieve required surface roughness of work pieces. These parameters are cutting speed and feed rate, which are required for finding of the optimum cutting conditions. In order to find this optimum cutting condition, it is necessity to generate the empirical mathematical model, which figured out the relationship among the involved parameters. In this study, the response surface methodology (RSM) was used in constructing of empirical mathematical models on stainless steels AISI 304 (150 mm x 100 mm x 10 mm). The optimized surface roughness R_a0, 510 μm was resulted using cutting speed and feed rate 30 mm/min and 0,15 mm/tooth respectively. In contrary, the maximum surface roughness R_a achieved is 4,783 μm.

Keywords: optimization, slot milling, stainless steel AISI 304, response surface methodology

1. PENDAHULUAN

Mesin perkakas adalah suatu alat atau mesin dimana energi yang diberikan dipergunakan untuk mendeformasikan dan selanjutnya memotong material kedalam bentuk dan ukuran produk sesuai dengan yang dikehendaki. Dalam proses pemotongan ini mesin diberi alat bantu potong yang dinamakan "pahat potong". Berdasarkan sistem kerja dan cara pengoperasiannya mesin perkakas dapat dibedakan menjadi tiga yaitu : (1) mesin perkakas konvensional; (2) mesin perkakas non konvesional; (3) mesin perkakas NC (numerical control). Berdasarkan penelitian senbelumnya banyaknya parameter dan hubungan antar parameter terkait proses milling yang telah diteliti. A.M Ramos, et.al. melakukan studi dan analisa kekasaran permukaan yang dihasilkan dengan tiga macam strategi milling yang berbeda yaitu tipe radial, raster dan 3D offset untuk komponen yang mengandung geometri kompleks seperti bentuk cembung dan cekung [1]. Dari penelitian tersebut disimpulkan bahwa ketiga strategi pemesinan menghasilkan kekasaran yang berbeda dan tipe 3D offset adalah yang paling cocok untuk pemesinan yang mengandung geometri kompleks.

Wang M.Y., et.al. menyimpulkan hasil penelitian bahwa untuk kondisi tanpa cairan pendingin, kekasaran permukaan sangat dipengaruhi oleh kecepatan potong, kecepatan makan dan geometri pahat [2]. Sedangkan untuk kondisi dengan cairan pendingin factor yang sangat berpengaruh

* Penulis korespondensi, HP: 0711515583
Email: mohrunias@yahoo.com

terhadap kekasaran permukaan adalah kecepatan makan dan geometri pahat. Proses dengan cairan pendingin juga menghasilkan permukaan lebih halus dibandingkan tanpa menggunakannya.Bernardos P.G. et.al. berdasarkan *Taguchi Design Of Experiments* dan *Artificial Neural Networks* didapatkan bahwa factor yang sangat berpengaruh adalah kecepatan makan, gaya potong, kedalaman potong dan penggunaan cairan pendingin [3].Sementara itu, Chang C.K., et.al. dengan menggunakan *different polynomial networks*, menyimpulkan bahwa parameter yang paling mempengaruhi kekasaran permukaan adalah kecepatan potong, kecepatan makan tiap gigi dan keausan pahat [4].

Göloğlu C., et.al. menggunakan *Genetic Programming* untuk memprediksi pengaruh dari beberapa parameter pemesinan menyatakan bahwa selain parameter pemesinan, pergeseran pahat juga mempengaruhi kekasaran permukaan dari pemesinan milling [5].Dari hasil studi literatur yang sudah ada, pada penelitian inditeliti beberapa parameter proses penting yang mempengaruhi kekasaran permukaan. Parameter proses yang divariasikan pada penelitian ini adalah kecepatan pemotongan (Vc) dan gerak makan pergigi (fz). Kedalaman potong yang digunakan seragam yaitu 1 mm. Tujuan utama penelitian ini adalah untuk mendapatkan model matematis yang dapat menggambarkan hubungan antara cutting speed dan feed per tooth dengan kekasaran permukaan. Selanjutnya, tujuan berikutnya adalah mencari kombinasi pengaturan cutting speed dan feed per tooth yang menghasilkan kekasaran permukaan yang terbaik melalui optimasi.

Proses optimasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Response Surface Model (RSM)* melalui *Analysis of Variance (ANOVA)* dengan menggunakan *software Design Expert Versi 8.07* untuk mencari hubungan antara parameter pemotongan dengan kekasaran permukaan.

2. PROSEDUR EKSPERIMEN

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh parameter pemesinan (*cutting speed* dan *feed per tooth*) terhadap kekasaran permukaan pada proses *slot milling* pada material *stainless steel* AISI 304. Dibawah ini adalah langkah-langkah penelitian yang dilakukan.

Gambar 1 Langkah – langkah pelaksanaan pengujian yang dilakukan.

Guna meningkatkan akurasi hasil penelitian pengujian *slot milling*, pengujian menggunakan Mesin Freis Vertikal Chevalier Falcon 2552 VMC dengan Control Fanuc Series 18-MC yang bertempat di PT. Pupuk Sriwidjaja. Sedangkan untuk pengujian kekasaran permukaan hasil pengujian *slot milling* tersebut dilakukan di Laboratorium Politeknik Negeri Sriwijaya.

Material yang digunakan untuk pengujian *slot milling* adalah plat *Stainless Steel AISI 304* dengan komposisi: (C=0,02%, Si=0,32%, Mn=1,31%, P=0,30% , Mo=2,03%, S=0,20%, Ni=12,17%, Cr=16,38%). Sedangkan *mechanical* propertinya adalah: (*yield strength* = 206 N/mm^2, *tensile strength*= 520 N/mm^2, *Hardenes*; 187 HB). Dimensi benda kerja 10 mm x 100 mm x 150 mm.

Untuk alat uji kekasaran permukaan menggunakan *Surftest* dengan kecermatan 0,1 μm. Pengujian kekasaran dilakukan pada setiap permukaan *slot* diukur pada bagian *entry* dan *Exit*-nya.

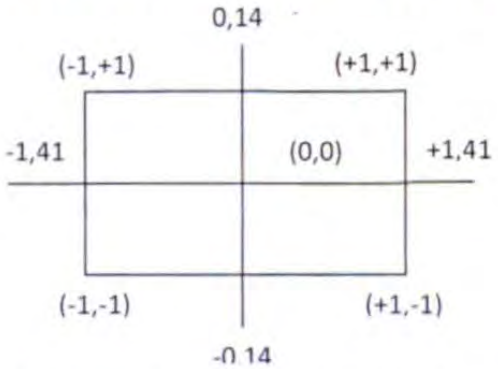
Pahat yang digunakan dalam pengujian ini adalah pahat HSS *End Mill* 2 *flutes* produk EDS 12 buah dengan diameter 10 mm. komposisi kimia dari pahat tersebut adalah: (V=1.51%, Cr=3.87%, Mn=0.52%, Fe=74.8%, Co=6.87, Ni=0.96, Mo=6.08%, W=4.72%).Dalam pengujian ini dilakukan proses *slot milling* sebanyak 12 kali pengujian. Masing-masing pengujian menggunakan satu pahat diameter 10 mm yang baru.. Sisi atas dan bawah benda kerja masing-masing mendapat 6 pengujian *slot milling* dengan kedalaman potong 1 mm. *Cutting condition* yang digunakan adalah sebagai berikut:

Tabel 1 *Cutting condition* yang digunakan

STD	Vc	fz	N (rpm)	Vf (mm/min)
1	10	0.05	318	31
2	30	0.05	955	95
3	10	0.15	318	95
4	30	0.15	955	286
5	5.86	0.1	187	37
6	34.14	0.1	1087	217
7	20	0.03	637	38
8	20	0.17	637	216
9	20	0.1	637	127
10	20	0.1	637	127
11	20	0.1	637	127
12	20	0.1	637	127

Untuk pemilihan *cutting speed* dan *feed per tooth* menggunakan nilai yang memiliki batasan tertentu. Dalam hal ini nilai minimum (diberi tanda -1) yang dipilih untuk *cutting speed* adalah 10 dan nilai maksimumnya (diberi tanda +1) adalah 30. Sedangkan untuk pemilihan *feed per tooth* nilai minimumnya adalah 0,05 dan nilai maksimumnya adalah 0,15. Nilai dalam batasan tersebut digunakan sebagai parameter pemotongan (*cutting condition*) untuk pengujian nomer 1 – 4.

Untuk pemilihan *cutting condition* nomer 5 - 8 dipilih nilai-nilai diluar batasan yang ada dengan *range* tertentu, yaitu untuk *cutting speed* sebesar 4,14 (5,86 dan 34,14), sedangkan *range* untuk *feed per tooth* sebesar 0,02 (0,03 dan 0,17). Untuk pemilihan *cutting condition* nomer 9 – 12 dipilih nilai tengah dari batasan sebanyak 4 kali guna mendapatkan nilai *error* dari hasil pengujian.



Gambar 2 Batasan-batasan dalam pemilihan *cutting condition* pengujian.

Langkah optimasi dilakukan dengan menggunakan ANOVA (*analysis of variance*) dengan metode*Response Surface Quadratic Model (RSQM)*berbantukan *software Design ExpertVersi 8.07* untuk menemukan harga *Ra* yang minimum dan pemodelan matematika.Persamaan matematika dan simbol harus terketik. Harus dapat dibedakan antara angka satu (1) dan huruf I serta antara angka nol (0) dan huruf O. Persamaan harus diberi nomor urut dalam tanda kurung yang diletakkan di sisi kanan dari persamaan tersebut. Satuan yang digunakan dalam naskah adalah Sistem Satuan Internasianal (SI). Jika satuan lain harus digunakan, maka satuan SI juga harus dicantumkan dalam tanda kurung. Tidak ada aturan khusus dalam penggunaan simbol-simbol yang sudah umum digunakan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian *slot milling* diukur kekasarannya menggunakan alat TR 200 Qualitest dengan standar pengujian ISO sepanjang 3,2 mm pengujian. Dari hasil pengujian kekasaran didapat nilai kekasaran permukaan masing-masing *slot* pada bagian *Entry* dan *Exit* seperti tabel 2.

Metode analisa menggunakan ANOVA. ANOVA (*analysis of variance*) adalah analisa berbasis statistik, dengan tujuan pengambilan keputusan parameter pemotongan untuk mendeteksi setiap perbedaan dalam rata-rata performa parameter pengujian dan juga meringkas hasil pengujian. Hasil dari ANOVA dan statistik kasus adalah pembelajaran kedepan untuk analisis dan interprestasi. ANOVA untuk analisa kekasaran permukaan (*Ra*) *Entry* dan *Exit* dari proses *slot milling* pada material *stainless steel* setelah ditranformasikan kedalam *Box-Cox Plot* (State-Ease,Inc,2000) untuk analisa *Response Surface Quadratic Model (RSQM)*.

Tabel 2 Hasil Pengujian

	Parameter Kekasaran							
	Ra Entry (μm)				Ra Exit (μm)			
STD	**1**	**2**	**3**	**Rata-rata**	**1**	**2**	**3**	**Rata-rata**
1	0.641	0.703	0.521	**0.622**	0.623	0.614	0.585	**0.607**
2	1.759	2.099	2.634	**2.164**	0.503	0.631	0.396	**0.51**
3	4.183	5.637	4.531	**4.783**	3.332	4.175	3.125	**3.544**
4	1.171	1.351	1.2	**1.241**	1.282	1.309	1.043	**1.211**
5	1.794	2.125	1.933	**2.951**	3.599	3.872	3.632	**3.701**
6	1.375	1.304	1.302	**1.327**	1.386	1.379	1.393	**1.386**
7	0.904	1.321	1.389	**1.205**	0.579	0.545	0.548	**0.557**
8	1.39	1.604	1.611	**1.535**	1.512	1.536	1.654	**1.567**
9	0.849	1.802	1.268	**1.306**	0.777	0.973	0.836	**0.862**
10	4.114	4.877	4.21	**4.4**	3.098	3.404	2.589	**3.03**
11	3.16	3.726	2.986	**3.291**	2.527	2.812	2.39	**2.576**
12	2.621	2.831	2.586	**2.646**	2.085	2.22	1.945	**2.083**

Tabel 3 ANOVA untuk Ra Entry (*response 1)*

Source	**Sum Of Squares**	**df**	**Mean square**	**F Value**	**p-value Prob > F**
Model	10.49	3	3.50	3.01	0.0945 *not significant*
A-Speed V	*2.31*	1	*2.31*	*1.99*	*0.1963*
B-Feed	*1.72*	1	*1.72*	*1.48*	*0.2588*
AB	*6.46*	1	*6.46*	*5.57*	*0.0460*
Residual	9.29	8	1.16		
Lack of Fit	*4.28*	*5*	*0.86*	*0.51*	*0.7600 not significant*
Pure Error	*5.01*	*3*	*1.67*		
Cor Total	19.77	11			

Std. Dev.	1.08	R-Squared	0.5302
Mean	2.29	Adj R-Squared	0.3541
C.V. %	47.07	Pred R-Squared	0.2028
PRESS	15.76	Adeq Precision	5.813

Tabel 4 ANOVA untuk Ra *Exit quadratic model (response 2)*

Source	Sum Of Squares	df	Mean square	F Value	p-value Prob > F
Model	11.39	5	2.28	3.86	0.0653 *not significant*
A-Speed V	*4.07*	*1*	*4.07*	*6.89*	*0.0393*
B-Feed	*3.21*	*1*	*3.21*	*5.43*	*0.0585*
AB	*1.25*	*1*	*1.25*	*2.12*	*0.1959*
A^2	*0.091*	*1*	*0.091*	*0.15*	*0.7083*
B^2	*2.47*	*1*	*2.47*	*4.19*	*0.0867*
Residual	3.54	6	0.59		
Lack of Fit	*0.92*	*3*	*0.31*	*0.35*	*0.7926 not significant*
Pure Error	*2.62*	*3*	*0.87*		
Cor Total	14.94	11			
Std. Dev.		0.77		R-Squared	0.7628
Mean		1.80		Adj R-Squared	0.5652
C.V. %		42.62		Pred R-Squared	0.2486
PRESS		11.22		Adeq Precision	6.519

Untuk ANOVA Ra Entry, *Model F-value* bernilai 3,01 menyatakan bahwa 9,45% kesempatan yang ada pada sebuah "*Model F-Value*", nilai sebesar ini dapat terjadi akibat dari *noise*. Nilai dari "*Prob > F*" kurang dari 0,0500 mengindikasikan bahwa terminologi model adalah signifikan. Dalam kasus AB terminologi model adalah signifikan. Nilai lebih dari 0,1000 mengindikasikan bahwa terminologi model adalah tidak signifikan. Jika banyak terjadi model yang tidak signifikan (tidak perlu menghitung dengan *support hierarchy*), pengurangan model mungkin akan memperbaiki model tersebut.

Sebuah "*Lack of Fit F-value*" pada 0,51 menyatakan sebuah *Lack of Fit* adalah relatif tidak signifikan untuk sebuah kesalahan murni. Disana terdapat 76.00% kesempatan bahwa sebuah "*Lack of Fit F-value*" dapat menjadi sebesar itu akibat dari *noise*. Tidak signifikan *lack of fit* adalah baik (hasil model yang seharusnya)

Sebuah "*Pred R-Squared*" pada 0.2028 adalah sesuai dengan "*Adj R-Squared*" pada 0.3541. "*Adeq Precision*" adalah ukuran untuk rasio kekeliruan. Sebuah rasio lebih dari 4 adalah dibutuhkan. Rasio yang terjadi adalah 5,813, ini mengindikasikan rasio telah cukup memadai. Model ini dapat digunakan untuk mengatur *design space*.

Sedangkan untuk ANOVA Ra Exit, *Model F-value* bernilai 3,86 menyatakan 6,53% kesempatan yang ada pada sebuah "*Model F-Value*", ", nilai sebesar ini dapat terjadi akibat dari *noise*. Nilai dari "*Prob > F*" kurang dari 0,0500 mengindikasikan bahwa terminologi model adalah signifikan. Dalam kasus A, terminologi model adalah signifikan. Nilai lebih dari 0,1000 mengindikasikan bahwa terminologi model adalah tidak signifikan.

Jika terdapat banyak terminologi model yang tidak signifikan, maka tidak membutuhkan perhitungan *support hierarchy*, mungkin pengurangan model dapat memperbaiki model tersebut.

Pada "*Lack of Fit F-value*" adalah 0,35 menyatakan bahwa *Lack of Fit* adalah relatif tidak signifikan dalam kesalahan murni. Disana terdapat 79,26% peluang pada "*Lack of Fit F-value*" , besarnya ini dapat terjadi akibat *noise*. Tidak signifikan pada *lack of fit* adalah baik untuk memperbaiki model.

Pada "*Pred R-Squared*" yaitu 0,2486 adalah tidak menutup kemungkinan untuk sebuah "*Adj R-Squared*" pada 0,5652 sebagai sebuah hasil normal yang diharapkan. Berbagai hal yang dipertimbangkan diantaranya pengurangan model, transformasi hasil, *outliers*, dan sebagainya .

"*Adeq Precision*" mengukur sebuah *signal* untuk rasio *noise*. Sebuah rasio yang lebih dari 4 adalah diharapkan. Dalam model ini rasionya adalah 6,519 , ini mengindikasikan bahwa rasio *noise* telah memadai. Model ini dapat digunakan untuk mengarahkan *design space*.

Tabel 5 Faktor dan level dari *design of experiment* untuk Ra Entry

Coefficient Factor	*Standard Estimate*	*95% CI df*	*95% CI Error*	*Low*	*High*	*VIF*
Intercept	2.29	1	0.31	1.57	3.01	
A-Speed V	-0.54	1	0.38	-1.42	0.34	1.00
B-Feed	0.46	1	0.38	-0.42	1.34	1.00
AB	-1.27	1	0.54	-2.51	-0.029	1.00

Tabel 6 Faktor dan level dari *design of experiment* untuk Ra Exit

Coefficient Factor	Standard Estimate	95% CI df	95% CI Error	Low	High	VIF
Intercept	2.14	1	0.38	1.20	3.08	
A-Speed V	-0.71	1	0.27	-1.38	-0.048	1.00
B-Feed	0.63	1	0.27	-0.031	1.30	1.00
AB	-0.56	1	0.38	-1.50	0.38	1.00
A^2	0.12	1	0.30	-0.62	0.86	1.04
B^2	-0.62	1	0.30	-1.36	0.12	1.04

Dari tabel diatas didapat persamaan akhir dari kekasaran permukaan hasil pengujian. Persamaan untuk kekasaran permukaan (Ra) Entry adalah :

$$y_1 = -0{,}54\, x_1 + 0{,}46\, x_2 - 1{,}27\, x_1 x_2 + 2{,}29$$

Persamaan untuk kekasaran permukaan (Ra) Exit adalah :

$$y_2 = 0{,}12\, x_1^2 - 0{,}62\, x_2^2 - 0{,}71\, x_1 + 0{,}63\, x_2 - 0{,}56\, x_1 x_2 + 2{,}14$$

Dimana : y_1 = Ra Entry; y_2 = Ra Exit; x_1 = Speed V; x_2 = Feed

Tabel dibawah ini menjelaskan batasan maksimun dan minimum dari parameter yang digunakan dalam pengujian ini yang masing-masing memiliki bobot yang sama (1). Nilai kekasaran maksimum dan minimum yang didapat dari pengujian juga dimuat dalam tabel dibawah ini.

Tabel 7 *Constraints* Ra Entry

Name	*Goal*	*Lower Limit*	*Upper Limit*	*Lower Weight*	*Upper Weight*	*Goal Importance*
A:SpeedV	is in range	10	30	1	1	3
B:Feed	is in range	0.05	0.15	1	1	3
Ra Entry	Minimize	0.622	4.783	1	1	3

Tabel 8 *Constraints* Ra Exit

Name	Goal	Lower Limit	Upper Limit	Lower Weight	Upper Weight	Importance
A:Speed V	is in range	10	30	1	1	3
B:Feed	is in range	0.05	0.15	1	1	3
Ra Entry	Minimize	0.622	4.783	1	1	3
Ra Exit	minimize	0.51	3.701	1	1	3

Tabel 9 Solusi kondisi pemotongan yang ditemukan untuk Ra Entry

Number	Speed V	Feed	Ra Entry	Desirability
1	30.00	0.15	0.944251	0.923 Selected
2	10.00	0.05	1.09225	0.887
3	10.25	0.05	1.11058	0.883

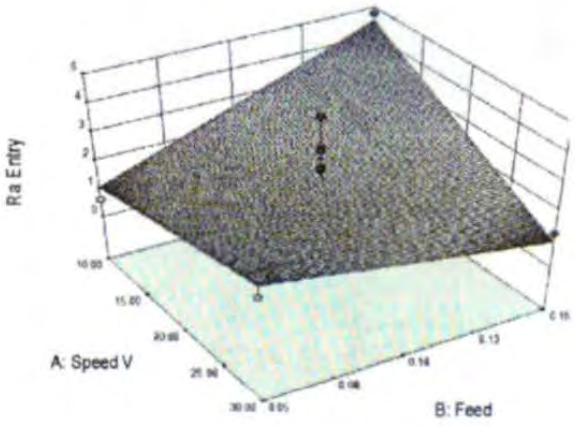
Tabel 10 Solusi kondisi pemotongan yang ditemukan untuk Ra Exit

Number	Speed V	Feed	Ra Entry	Ra Exit	Desirability
1	30.00	0.15	0.944251	0.996681	0.884 Selected
2	10.00	0.05	1.09225	1.15607	0.841
3	30.00	0.13	1.20401	1.30823	0.803
4	22.48	0.05	2.0079	0.852079	0.772

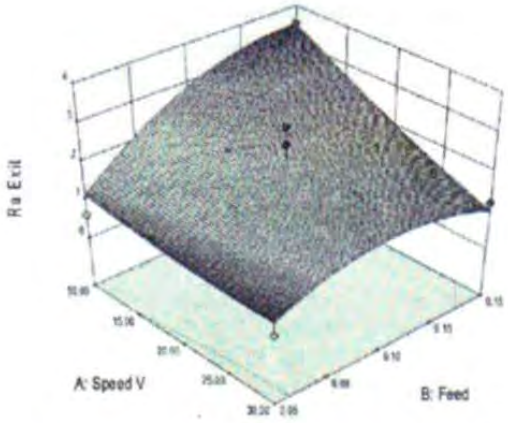
Dari hasil *analysis of variance* (ANOVA) untuk kekasaran permukaan (Ra) Entry dengan menggunakan *software Design ExpertVersi 8.07*menghasilkan tiga solusi kondisi pemotongan. Dari ketiga kondisi pemotongan tersebut terpilih satu kondisi pemotongan yang disarankan, yaitu pada kondisi pemotongan dengan *cutting speed* (Vc) = 30 m/min dan *feed per tooth* (fz) = 0,15 mm/tooth.

Dari hasil *analysis of variance* (ANOVA) untuk kekasaran permukaan (Ra) Exit dengan menggunakan *software Design ExpertVersi 8.07*menghasilkan empat solusi kondisi pemotongan (Tabel 10). Dari keempat kondisi pemotongan tersebut terpilih satu kondisi pemotongan yang disarankan untuk mendapatkan kualitas kekasaran permukaan terbaik, yaitu pada kondisi pemotongan dengan *cutting speed* (Vc) = 30 m/min dan *feed per tooth* (fz) = 0,15 mm/tooth. Ini berarti untuk mendapatkan kekasaran permukaan terbaik pada keseluruhan bagian hasil pengujian *slot milling* disarankan untuk menggunakan kondisi pemotongan terpilih, yaitu yaitu pada kondisi pemotongan dengan *cutting speed* (Vc) = 30 m/min dan *feed per tooth* (fz) = 0,15 mm/tooth.

Analisa melalui gambar 3 dimensi didapat dari *software* ini. Gambar grafik analisa 3 dimensi hasil pengujian kekasaran permukaan Entry dan Exit seperti terlihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 3 Tiga dimensi *surface roughness* Entry terhadap *feed per tooth* dan *cutting speed*.



Gambar 4 Tiga dimensi *surface roughness* Exit terhadap *feed per tooth* dan *cutting speed*

Dari gambar grafik tiga dimensi diatas dapat diketahui seberapa besar pengaruh kondisi pemotongan dengan perpaduan antara *cutting speed* dan *feed per tooth* dalam menghasilkan kekasaran hasil pengujian. Untuk *cutting condition* tertentu juga dapat diprediksi hasil kekasaran permukaannya. Warna dari biru hingga merah *menjelaskan* tingkat kekasaran permukaan yang didapat dari rendah ke tinggi. Grafik tersebut juga menjelaskan dimana kondisi pemotongan yang terbaik untuk mendapatkan kualitas kekasaran permukaan terbaik pada bagian Entry dan Exit permukaan hasil pengujian.

Untuk hasil eksperimen, faktor signifikan yang mempengaruhi kualitas kekasaran permukaan dibahas untuk menentukan hasil terbaik dengan menggunakan parameter pengaturan. Kualitas permukaan hasil proses *slot milling* tergantung pada kecepatan potong, laju pemakanan dan kedalaman potong dalam percobaan ini.

Berdasarkan data yang diperoleh dari pengujian kekasaran, kinerja mesin optimal untuk nilai kekasaran permukaan diperoleh dengan kecepatan pemotongan (Vc) = 30 m/min,dan gerak makan per gigi (fz) = 0,15 mm/tooth.Angka-angka persen menggambarkan bahwa kecepatan potong

memiliki efek yang paling signifikan diikuti oleh gerak makan per gigi.Faktor tingkat interaksi antara kecepatan potong dan gerak makan per gigi berkontribusi terhadap nilai-nilai kekasaran permukaan. Ini menandakan bahwa untuk nilai kekasaran permukaan yang baik, tingkat gerak makan pergigi juga harus diperhatikan dalam rangka untuk mencapai kinerja pemesinan yang terbaik.

Kekasaran permukaan yang buruk biasanya juga disebabkan oleh adanya getaran pada saat proses pemotongan sedang berjalan. Ini biasanya disebabkan oleh pencekam benda kerja yang tidak mencekam dengan baik, atau terlalu jauh dari permukaan yang dimesin yang mengakibatkan material dapat begetar. Kualitas material pahat juga berpengaruh terhadap ketahanan aus pahat pada suhu yang tinggi.

4. SIMPULAN

Penelitian ini telah membuktikan dan mendiskusikan aplikasi dari metode *Design of Experiment* untuk menyelidiki efek dari parameter pemotongan pada kekasaran permukaan dalam proses *slot milling* pada material *stainless steel* AISI 304. Dalam proses *milling*, parameter dipilih dengan mempertimbangkan penelitian sebelumnya. Selain itu, model empiris dari respon pemesinan seperti kekasaran permukaan akan memberikan kontribusi untuk penelitian selanjutnya. Penelitian ini dapat membantu peneliti lain atau industri dibidang manufaktur.Dari analisis dalam proses *slot milling* menggunakan pendekatan eksperimental desain, dapat ditarik beberapa kesimpulan, yaitu:

a. Percobaan statistik dirancang berdasarkan *Design of Experiment* dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *Design ExpertVersi 8.07* untuk menganalisa pengaruh parameter pemotongan terhadap kekasaran permukaan dalam proses *slot milling stainless steel* AISI 304. Pendekatan ANOVA digunakan untuk analisis data dan menarik beberapa kesimpulan.
b. Dari penelitian ini dibuktikan bahwa semakin tinggi kecepatan pemotongan (Vc) diiringi dengan semakin rendahnya kecepatan pemakanan (fz), semakin halus kekasaran permukaan yang dihasilkan. Demikian juga sebaliknya, semakin rendah kecepatan pemotongan (Vc) diiringi dengan semakin tingginya kecepatan pemakanan (fz), akan semakin kasar permukaan hasil pemesinan.
c. Karakteristik kinerja pemesinan optimal didapat pada kondisi pemesinan dengan kecepatan potong 30 m/min dan gerak makan pergigi sebesar 0,15 mm/tooth.
d. Karakteristik kinerja terbaik kualitas kekasaran permukaan diperoleh dengan kecepatan potong tinggi, tingkat pemakanan rendah dan kedalaman potong yang rendah.
e. Dengan beberapa parameter pemotongan yang dilakukan dalam pengujian ini, kekasaran permukaan berkualitas terbaik yang dapat dicapai adalah sekitar 0,510 μm dan yang paling kasar yang dapat dicapai adalah 4,783 μm.
f. Kemungkinan faktor penyebab terjadinya kesalahan dalam pengujian ini adalah pada faktor pemesinan dan kesalahan operator (Kesalahan *Jig* dan *Fixture* dan *set-up* pengujian)

DAFTAR PUSTAKA

[1] Ramos A.M., Relvas C., Simoes J.A., "*The influence of finishing milling strategies on texture, roughness, and dimensional deviations on the machining of complex surfaces*", Journalof Materials Processing Technology,Vol. 136, No.1-3, pp. 209-216, 2003.

[2] Wang M.Y., Chang H.Y., "*Experimental study of surface roughness in slot end milling AL2014-T6*", International Journal of Machine Tools & Manufacture,Vol. 44, No. 1, pp. 51-57, 2004.

{3] Benardos P.G., Vosniakos G.C, "*Prediction of surface roughness in CNC face milling using neural networks and Taguchi's design of experiments*", Robotics and Computer Integrated Manufacturing, Vol. 18, No.5-6, pp. 343-354, 2002.

[4] Chang C.K., Lu H.S, "*Study on the prediction model of surface roughness for side milling operations*", International Journal of Advance Manufaacturing Technology, Vol. 29, No. 9-10, pp. 867-878, 2006.

[5] Göloğlu C., Arslan Y., "*Zig-zag Machining Surface Roughness Modelling Using Evolutionary Approach*", IMS'2006: 5th International Symposiumon Intelligent Manufacturing Systems,Agents and Virtual Worlds, pp. 734-742, 2006.

[6] Rochim, T, "*Teori dan Teknologi Proses Pemesinan*", Higher Education Development support Project, Jakarta , 1993.

[7] Suteja, J, Susila Ca, Yudistira A, "*Optimasi Proses Pemesinan Milling Fitur Pocket Material Baja Karbon Rendah Menggunakan Response Surface Methodology*", *Jurnal Teknik Mesin Vol. 10, No. 1,* pp.1-7 *April 2008.*