

Aplikasi *Box Behnken Design* untuk Optimasi Parameter Proses Pemesinan Bubut Magnesium AZ31

Arinal Hamni¹, Opi Sumardi^{1,*}, Gusri Akhyar Ibrahim¹ dan Achmad Yahya¹

¹Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung - Lampung

*Korespondensi: opisumardi@gmail.com

Abstrak. Paduan logam Magnesium AZ31 adalah salah satu jenis logam paduan yang penggunaannya semakin berkembang. Perkembangan penggunaan logam paduan Magnesium AZ31 digunakan pada alat-alat listrik, alat olah raga, biomedik dan industri otomotif. Salah satu proses pemesinan pada Magnesium AZ31 adalah proses pembubutan. Penelitian ini ditujukan untuk mengoptimasi kecepatan benda kerja, kecepatan putar pahat, pemakanan dan kedalaman potong terhadap nilai kekasaran permukaan. Selain itu, juga untuk mendapatkan model matematik nilai kekasaran permukaan yang optimal pada pemesinan bubut material magnesium AZ31 menggunakan pahat putar dan udara dingin bertekanan secara bersamaan. Penelitian ini menggunakan *Responce Surface Methode* yaitu *Box-Behnken Design*, dengan tiga faktor dan tiga level. Berdasarkan rancangan *Box-Behnken Design*, data penelitian ini dilakukan 15 kali percobaan. Hasil analisa menunjukkan bahwa nilai optimum kekasaran permukaan pada proses pembubutan paduan Magnesium AZ31 menggunakan *Responce Surface Methode Box-Behnken Design* adalah pada variabel kecepatan mesin 80 m/min, kecepatan potong 0.2 mm/rev dan kecepatan modulur pahat putar adalah 25 m/min dengan nilai Ra yang didapat sebesar 0.55 μm . Sedangkan untuk pemodelan matematik yang diperoleh adalah $ra = 2,12 - 0,0242 V_s - 3,9 f + 0,0108 V_c + 0,000105 V_s * V_s - 26,8 f * f - 0,000271 V_c * V_c + 0,0621 V_s * f - 0,000027 V_s * V_c + 0,1027 f * V_c$.

Kata kunci: optimasi, magnesium AZ31, *Box-Behnken Design*, pahat putar, udara dingin

© 2017. BKSTM-Indonesia. All rights reserved

Pendahuluan

Penggunaan material paduan logam yang memiliki sifat ringan dan tahan korosi menjadi alternatif penggunaan logam yang digunakan pada proses manufaktur saat ini, salah satunya adalah paduan logam magnesium. Magnesium memiliki sifat yang ringan dan tahan korosi [1, 2].

Pekembangan penggunaan logam paduan Magnesium AZ31 digunakan pada alat-alat listrik, alat olah raga, biomedik dan industri otomotif [3]. Pada proses pemesinan, magnesium memiliki karakteristik pemotongan yang sangat baik dan menguntungkan seperti kekuatan potong spesifik yang rendah, potongan gram yang pendek, keausan pahat yang relatif rendah, kualitas permukaan yang baik serta dapat dipotong pada kecepatan pemotongan dan pemakanan yang tinggi. Dengan perbandingan gaya pemotongan spesifik rendah berarti tuntutan kinerja untuk pemesinan magnesium adalah sangat rendah dibandingkan logam lain [4].

Salah satu upaya untuk mengoptimalkan proses pemesinan untuk mencapai produktivitas yang lebih tinggi dan kualitas permukaan benda kerja yang lebih baik dengan menggunakan metode *Respon Surface Methode* (RSM) [5]. Metodologi permukaan respon (RSM) adalah kumpulan matematika dan statistik teknik. Dengan desain yang cermat dari percobaan, tujuannya adalah untuk mengoptimalkan respon (variabel *output*) yang dipengaruhi oleh

beberapa variabel independen (variabel *input*) [6]. Salah satu metodologi permukaan respon (RSM) adalah *Taguchi design*, *Central Composite Design* dan *Box Behnken Design*.

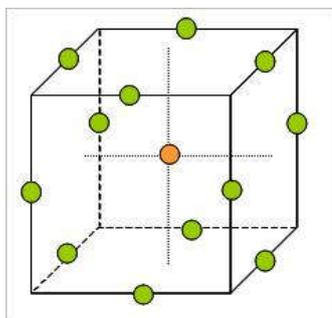
Manohar pada jurnalnya tahun 2013 yang berjudul *Application of Box Behnken design to optimize the parameters for turning Inconel 718 using coated carbide tools* dengan tiga variabel yaitu gerak makan (*feed rate*), kecepatan potong (*cutting speed*) dan kedalaman potong (*depth of cut*) menggunakan Metode Respon Permukaan *Box Behnken Design* dibandingkan dengan *Taguchi Design* untuk percobaannya, karena metode *Box Behnken Design* direkomendasikan untuk proses optimasi dengan tiga variabel [6, 7]. Kemudian penelitian Endang tahun 2013 tentang optimasi parameter proses pemotongan stainless steel SUS 304 untuk kekasaran permukaan dengan *Response Surface Methode* menyebutkan bahwa salah satu perbedaan *Box-Behnken Design* dengan *Central Composite Design* adalah pada *Box-Behnken Design* tidak ada axial/star runs pada rancangannya. Tidak adanya axial/star runs ini menyebabkan *box-behken* lebih efisien dalam rancangan, karena melibatkan lebih sedikit unit percobaan [8]. Oguz Perincek juga pada tesisnya tahun 2013 yang berjudul "*Use of Experimental Box-Behnken Design for the Estimation of Interactions Between Harmonic Currents Produced by Single Phase Loads*"

menyebutkan bahwa *Box Behnken Design* cocok digunakan dalam optimasi yang memakai tiga variabel, karena memakai sample dengan jumlah sedikit yaitu 15, dan langsung mampu memprediksi nilai optimum baik linier dan kuadrat [9].

Dari hasil penelitian yang dilakukan diatas, dapat disimpulkan bahwa *penggunaan Respon Rurface Methode (RSM) Box Behnken Design* dapat digunakan pada proses optimasi yang memiliki tiga variabel yang dapat memprediksi nilai optimum yang terbaik. Untuk itu pada penelitian ini akan dilakukan pengaplikasian metode respon permukaan *Box Behnken Design* untuk optimasi parameter pembubutan magnesium AZ31 menggunakan pahat putar yang diberi udara dingin ber-tekanan secara konstan. Metode ini dapat menentukan nilai parameter proses pembubutan magnesium AZ31 yang optimum guna mendapatkan nilai kekasaran permukaan yang baik.

Metodologi Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode analisis eksperimental untuk mengetahui dan mendapatkan nilai parameter operasi yang tepat sehingga didapatkan kondisi optimum pada proses permesinan bubut menggunakan pahat putar pada magnesium paduan AZ31. Kemudian hasil data eksperimental dimasukkan ke dalam *Box Behnken Design* untuk dilakukan proses analisis respon permukaan, seperti terlihat pada gambar 1.



Gambar 1. *Box Behnken Design*

Tabel 1. Parameter penelitian

No	Kecepatan potong/spindle (Vs) (m/min)	Gerak Makan (f) (mm/rev)	Kecepatan pahat (Vc) (m/min)
1	80	0,10	25
2	120	0,15	50
3	160	0,20	75

Tabel 2. Run Order Pengujian

No	Run Order	Kode Untuk Variabel		
		Kec. Spindel (Vs) (m/min)	Gerak Makan (f) (mm/rev)	Kec. Pahat (Vc) (m/min)

1	1	1	1	0
2	8	1	0	-1
3	11	0	0	0
4	13	-1	0	-1
5	6	-1	0	1
6	5	0	-1	1
7	4	-1	-1	0
8	2	-1	1	0
9	3	0	0	0
10	10	1	0	1
11	9	0	0	0
12	15	0	-1	-1
13	12	1	-1	0
14	7	0	1	1
15	14	0	1	-1

Hasil dan Pembahasan

Tabel 3 menunjukkan data dari hasil pengujian nilai kekasaran pada proses pemesinan bubut Magne-sium AZ31. Parameter yang secara statistik berpengaruh terbesar terhadap kekasaran permukaan adalah kecepatan putaran mesin (Vs) kemudian kecepatan pahat putar (Vc) dan yang terakhir adalah kecepatan pemakanan (f). Dimana hal ini didapat dari nilai P-Value desain eksperimen *Box Behnken Design*. Jika P-Value \leq dari α (0.05) maka hipotesis H_0 diterima, yang berarti menunjukkan variabel bebas berpe-ngaruh terhadap nilai dari variabel tetap. Begitu juga sebaliknya, jika nilai P-Value \geq dari α (0.05) maka hipotesis H_0 ditolak, yang berarti menunjukkan bahwa variabel bebas tidak terlalu berpengaruh terhadap nilai variabel tetap [8].

Tabel 3. Hasil data pengujian

No	Run Order	Kec. Spindel (Vs) m/min	Gerak Makan (f) m/rev	Kec. Pahat Putar (Vc) m/min	Ra (μ m)
1	1	80	0,1	50	0,89
2	8	160	0,15	75	1,28
3	11	120	0,1	75	0,57
4	13	120	0,15	50	1,19
5	6	160	0,15	25	1,49
6	5	80	0,15	25	0,91
7	4	160	0,2	50	1,82
8	2	160	0,1	50	1,56
9	3	80	0,2	50	0,65
10	10	120	0,2	25	0,95
11	9	120	0,1	25	1,09
12	15	120	0,15	50	1,06
13	12	120	0,2	75	0,94
14	7	80	0,15	75	0,82
15	14	120	0,15	50	1,13

Dari ketiga variabel bebas pada proses pemessinan Magnesium AZ31, variabel bebas yang paling memiliki pengaruh signifikan terhadap nilai variabel tetap adalah kecepatan putaran mesin (V_s), dengan P-Valuenya adalah 0.001, dimana nilai ini \leq dari α yang berarti H_0 diterima. Variabel bebas kedua yang berpengaruh adalah kecepatan pahat putar (V_c) dengan P-Value 0.096 dan yang ketiga adalah kecepatan pemakanan (f) dengan P-Value 0.573.

Response Surface Regression: ra versus V_s ; f; V_c						
Analysis of Variance						
Coded Coefficients						
Term	Effect	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant		1,1267	0,0824	13,67	0,000	
V_s	0,7208	0,3604	0,0505	7,14	0,001	1,00
f	0,0608	0,0304	0,0505	0,60	0,573	1,00
V_c	-0,2067	-0,1033	0,0505	-2,05	0,096	1,00
V_s*V_s	0,3358	0,1679	0,0743	2,26	0,073	1,01
$f*f$	-0,1342	-0,0671	0,0743	-0,90	0,408	1,01
V_c*V_c	-0,3392	-0,1696	0,0743	-2,28	0,071	1,01
V_s*f	0,2493	0,1242	0,0714	1,74	0,143	1,00
V_s*V_c	-0,0533	-0,0267	0,0714	-0,37	0,724	1,00
$f*V_c$	0,2567	0,1283	0,0714	1,80	0,132	1,00
Model Summary						
S	R-sq	R-sq(Adj)	R-sq(Pred)			
0,142799	93,66%	82,26%	6,60%			

Gambar 2. Respon surface regression

Nilai koefisien (*Coef*) pada gambar 2. *Response Surface Regression* menunjukkan nilai konstanta (*Constant*) sebesar 1.1267. Sehingga didapat sebuah persamaan sebagai berikut:

$$Y = 1.1267 + 0.3604V_s + 0.0304f - 0.1033V_c \quad (1)$$

Response Surface Regression: ra versus V_s ; f; V_c						
Analysis of Variance						
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	
Model	9	1,50697	0,16744	8,21	0,016	
Linear	3	1,3202	0,37734	18,50	0,004	
V_s	1	1,03920	1,03920	50,96	0,001	
f	1	0,00740	0,00740	0,36	0,573	
V_c	1	0,08542	0,08542	4,19	0,096	
Square	3	0,24456	0,08152	4,00	0,085	
V_s*V_s	1	0,10411	0,10411	5,11	0,073	
$f*f$	1	0,01662	0,01662	0,81	0,408	
V_c*V_c	1	0,10619	0,10619	5,21	0,071	
2-Way Interaction	3	0,13039	0,04346	2,13	0,215	
V_s*f	1	0,06167	0,06167	3,02	0,143	
V_s*V_c	1	0,00284	0,00284	0,14	0,724	
$f*V_c$	1	0,06588	0,06588	3,23	0,132	
Error	5	0,10196	0,02039			
Lack-of-Fit	3	0,09260	0,03087	6,60	0,134	
Pure Error	2	0,00936	0,00468			
Total	14	1,60893				

Gambar 3. Data ANOVA

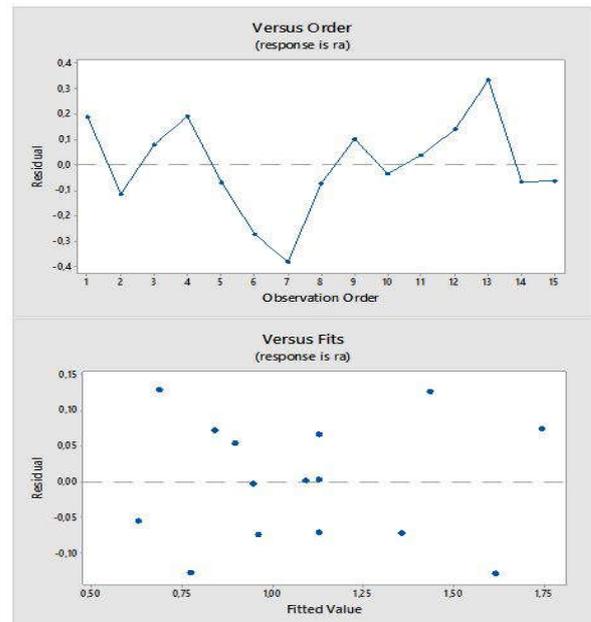
Jika salah satu dari ketiga parameter bebas mengalami kenaikan atau dinaikan satu poin dan variabel bebas yang lain tetap, maka kenaikan satu poin pada kecepatan putaran mesin (V_s) akan menaikkan nilai kekasaran permukaan (R_a) sebesar 0.3604%. Begitu juga seterusnya, kenaikan satu poin pada gerak makan (f) akan menaikkan nilai kekasaran sebesar 0.0304% dan kenaikan satu poin

pada kecepatan pahat putar (V_c) akan menurunkan nilai kekasaran permukaan sebesar 0.1033%.

Untuk mendapatkan kesesuaian model, maka dilakukan uji *lack of fit* dan uji koefisien determinasi (R^2). *Lack of fit* artinya penyimpangan atau ketidaktepatan terhadap model linier order pertama. Pengujian *lack of fit* artinya pengujian untuk mendeteksi apakah model linier order pertama tepat. Bila *lack of fit* tidak bermakna maka model linier order pertama tepat [10].

Pada hasil pengujian model, ada nilai *lack of fit* yaitu sebesar 0.134. Secara sepintas hasil pengujian model linier orde pertama tidak tepat, karena ada nilai *lack of fit* sebesar 0.134. Namun *lack of fit* akan menjadi tidak bermakna jika nilai P-Value pada model regresi variasi I lebih kecil dari $\alpha = 0,05$ [10]. Model data yang ditunjukkan pada Gambar 1.3, menunjukkan bahwa nilai P-Value pada model regresi orde I sebesar 0.016, dimana nilai ini lebih kecil dari α (0.05). Dengan ini menyatakan bahwa *lack of fit* tidak bermakna, sehingga model linier orde pertama dapat diterima.

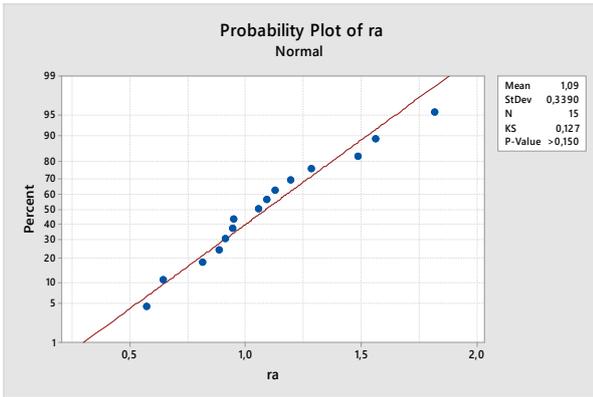
Pengujian koefisien determinasi (R^2), nilai R^2 berkisar antara 0 sampai 100 di mana semakin mendekati nilai 100 maka model semakin baik [8]. Model regresi R^2 dengan nilai sebesar $\geq 70\%$ dianggap cukup baik [10]. Prosentase dari total variasi oleh model (R^2) pada model pemessinan bubuk Magnesium AZ31 sebesar 93,66% (Gambar 3). Nilai ini cukup besar, ini menunjukkan bahwa ada kontribusi variabel bebas terhadap respon dari variabel tetap (R_a).



Gambar 4. Uji identik *Versus Fits* dan *Versus Order*

Berdasarkan data pada gambar 4, maka dapat terlihat bahwa residual yang dimiliki respon Y

diperoleh adalah independen. Hal itu dikarenakan grafik tidak membentuk suatu pola tertentu.



Gambar 5. Uji Normalitas

Gambar 5 menunjukkan hasil statistik *kolmogorov-smirnov* dan P-value untuk uji distribusi normal. Nilai statistik *kolmogorov-smirnov* adalah 0.127 dan nilai P-Value pada uji normal residual yaitu 0.150, yang berarti P-Value > α (0.05) sehingga H_0 diterima. Dengan demikian residual mempunyai distribusi normal dan asumsi normalitas dipenuhi.

Gambar 6 menunjukkan hasil uji pemodelan nilai optimum respon Y, yaitu nilai kekasaran permukaan Magnesium AZ31 yang dibubut menggunakan pahat putar dan udara dingin bertekanan. Data hasil uji pemodelan menunjukkan bahwa prediksi nilai variabel bebas untuk mendapatkan nilai kekasaran permukaan yang baik adalah pada kecepatan putar spindel (V_s) 80 m/min, gerak makan (f) 0.2 mm/rev, dan kecepatan pahat putar (V_c) 25 m/min, dengan nilai prediksi kekasaran permukaan yang didapat sebesar 0.552083 μm .

Response Optimization: ra						
Parameters						
Response	Goal	Lower	Target	Upper	Weight	Importance
ra	Minimum		0,573333	1,81667	1	1
Solution						
Solution	V_s	f	V_c	ra	Composite Fit	Desirability
1	80	0,2	25	0,552083		1

Gambar 6. Respon optimasi

Gambar 7 menunjukkan profil dari permukaan magnesium yang memiliki nilai kekasaran permukaan yang paling optimum dengan nilai Ra sebesar 0.552 μm . Dari gambar tersebut dapat dilihat kondisi profil optimum dari kekasaran permukaan magnesium AZ31 yang dibubut menggunakan pahat putar dan udara dingin bertekanan.



Gambar 7. Profil permukaan magnesium pada.

Kesimpulan

Metode RSM *Box Behnken Design* dapat digunakan untuk proses optimasi pada proses bubut magnesium AZ31 menggunakan pahat putar dan udara dingin bertekanan. Parameter yang secara statistik berpengaruh terbesar terhadap kekasaran permukaan pada proses pemesinan bubut magnesium AZ31 menggunakan pahat putar dan udara dingin bertekanan adalah kecepatan putar mesin (V_s) kemudian kecepatan pahat putar (V_c) dan yang terakhir adalah kecepatan pemakanan (f). dimana nilai dari P-Value untuk kecepatan putar mesin adalah 0.001, P-Value kecepatan pahat putar 0.96 dan P-Value gerak makan 0.573 dengan nilai koefisien determinan (R^2) sebesar 93.66%.

Kemudian pada pengujian asumsi residual berdistribusi normal, nilai statistik *kolmogorov-smirnov* adalah 0.127 dan nilai P-Value pada uji normal residual yaitu 0.150, yang berarti P-Value > α . Dengan demikian residual mempunyai distribusi normal dan asumsi normalitas dipenuhi. Data hasil uji pemodelan respon optimasi menunjukkan bahwa prediksi nilai variabel bebas untuk mendapatkan nilai kekasaran permukaan yang baik adalah pada kecepatan putar mesin (V_s) 80 m/min, gerak makan (f) 0.2 mm/rev, dan kecepatan pahat putar (V_c) 25 m/min, dengan nilai prediksi kekasaran permukaan yang didapat sebesar 0.552083 μm .

Model matematika untuk mendapatkan nilai kekasaran (R_a) pada proses pemesinan bubut magnesium AZ31 menggunakan pahat putar dan udara dingin bertekanan:

$$Ra = 2,12 - 0,0242 V_s - 3,9 f + 0,0108 V_c + 0,000105 V_s * V_s - 26,8 f * f - 0,000271 V_c * V_c + 0,0621 V_s * f - 0,000027 V_s * V_c + 0,1027 f * V_c$$

Penghargaan

Penulis menyampaikan penghargaan yang besar kepada Kementerian Ristek Dikti atas dukungan finansial dan kepada LPPM Universitas Lampung atas fasilitasnya dalam menyelesaikan penelitian ini.

Daftar Pustaka

- [1] Ibrahim, G. Ahkyar. 2014. Identifikasi Nilai Kekasaran Permukaan pada Pemessinan Paduan Magnesium. *Jurnal Mechanical*, Vol 5, no 1, 11.
- [2] Kalpakjian, Serope. 2009. *Manufacturing Engineering and Technology Sixth Edition in SI unit*. Illinois Institute of Technology : Chicago
- [3] Mahrudi, Haris. dkk. 2013. Rancang Bangun Aplikasi Thermovision Untuk Pemetaan Distribusi Suhu Dan Permulaan Penyalaan Magnesium Pada Pembubutan Kecepatan Tinggi. Jurusan Teknik Mesin. Universitas Lampung: Bandar Lampung.
- [4] Harun, Suryadiwansa, dkk. 2012. Peningkatan Produktifitas dan Pengendalian Suhu Pengapian Pemesinan Magnesium Dengan Sistem Pahat Putar (Rotary Tool System) dan Pendingin Udara (Air Cooling). Universitas Lampung: Bandar Lampung.
- [5] Manohar, M. Dkk. 2013. Application of Box Behnken design to optimize the parameters for turning Inconel 718 using coated carbide tools. Vikram Sarabhai Space Centre (ISRO) Trivandrum. India.
- [6] Burgeon, Luis. http://www.brad.ac.uk/staff/vtoropov/burgeon/thesis_luis/chapter.-pdf. tahun 2000. diakses pada Februari 2017.
- [7] Taraman, K. 1979. Multi machining output Multi independent variable turning research by response surface methodology, *International Journal of Production Research*, 13(4), 265-290, (1975).
- [8] Purwanti, Endang Puji. dkk. 2013. optimasi parameter proses pemotongan stainless steel SUS 304 untuk kekasaran permukaan dengan metode response surface. Universitas Negeri Yogyakarta: Yogyakarta.
- [9] Perincek, Oguz, dkk. 2013. Use of Experimental Box-Behnken Design for the Estimation of Interactions Between Harmonic Currents Produced by Single Phase Loads. Institute of Solar Energy. Ege University: Turkey.
- [10] Winhaju, Wiwiek Setya. 2013. Analisis Variasi dan Statistik Matematika Yang Terkait. ITS. Surabaya.