

MODEL EMPIRIS KETINGGIAN *BOSS* DAN *BUSH* HASIL *FRICTION DRILLING* PELAT TEMBAGA MENGGUNAKAN *CARBIDE FORM DRILL* DENGAN METODE *RESPONSE SURFACE*

Oleh:

Imam Mashudi

Dosen Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Malang;

e-mail: i_mashudi@yahoo.co.id

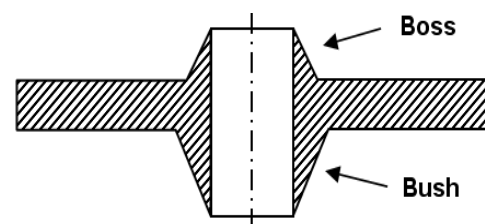
Abstract: *Friction drilling* is a method of hole-making process by forming. Rotating pointed tool without cutting edge presses sheet metal work piece. The friction heating at the interface between the tool and the work piece enables softening, deformation and displacement of work material and creates boss and bush without generating chips or waste materials. Resulted boss and bush height provide increased hole surface area to increase the fastening strength of the sheet metal through soldering, brazing, and screw fastening. Experimental study was conducted to obtain empirical models the effect of friction drilling process variable with carbide conical shaped tool of 8 mm diameter, work piece of 2 mm copper sheet C10100 to the boss and bush height. Empirical models of boss and bush height was obtained through Central Composite Design and response surface methods. From the research, it can be identified that the empirical models of boss and bush height is in the forms of second order polynomial equation.

Kata Kunci: friction drilling, boss, bush, model empiris, respon surface

Friction drilling pada prinsipnya sama dengan proses pengeboran konvensional. Terdapat beberapa perbedaan yang cukup mendasar diantaranya, ditinjau dari pahat yang digunakan, *friction drilling* menggunakan pahat berbentuk konis tanpa sisi potong, sedangkan ditinjau dari proses pembuatan lubang, *friction drilling* menghasilkan lubang bukan karena pemotongan tetapi karena proses pembentukan. Proses pembentukannya terjadi saat timbul peningkatan panas yang signifikan akibat putaran, penekanan, dan gesekan antara pahat gundi dengan benda kerja yang mampu melumerkan benda kerja tersebut.

Tidak seperti halnya pada pengeboran konvensional, teknik pelubangan dengan metode *friction drilling* tidak menghasilkan geram dan tidak memerlukan fluida pendingin. Semua material dari lubang

yang terbentuk akan membentuk peninggian permukaan lubang di atas pelat (*boss*) dan peninggian permukaan lubang di bawah pelat (*bush*) seperti ditunjukkan pada Gambar 1., sehingga *friction drilling* merupakan proses manufaktur yang bersih dan ramah lingkungan.



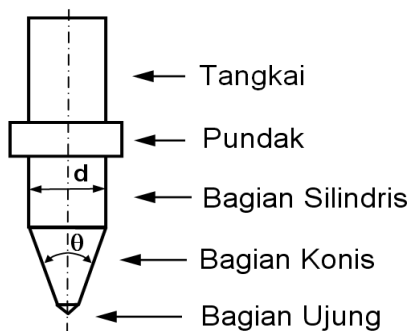
Gambar 1. *Boss* dan *Bush*

Beberapa nama pasaran digunakan untuk mendeskripsikan teknik ini. *Flow drilling* digunakan untuk menunjukkan bahwa lumeran logam mengalir untuk membentuk *boss* dan *bush*. *Thermal drilling* digunakan untuk menunjukkan terjadinya

pemanasan benda kerja saat proses. *Friction drilling* memberikan penekanan bahwa asal sumber panas saat proses adalah gesekan mekanis. *Form drilling* menunjukkan bahwa terbentuknya lubang bukan karena proses pemotongan, tetapi karena proses pembenturan.

Bagian-bagian Pahat *Friction Drilling*

Pahat *friction drilling* mempunyai nama-nama bagian sebagai berikut:

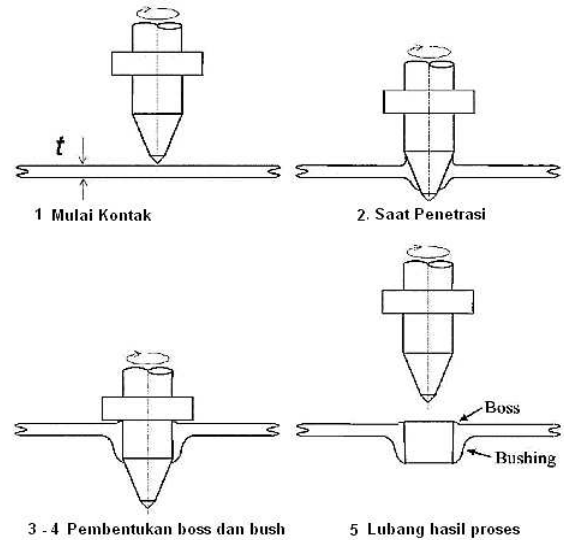


Gambar 2. Nama-nama Bagian dari Pahat *Friction Drilling*

Tangkai (*shank*) adalah bagian dari pahat yang dijepit dengan *collet*. Pundak (*collar*) adalah bagian dari pahat yang digunakan jika diperlukan untuk menghilangkan atau menggulung *boss* yang dihasilkan. Bagian silindris (*cylindrical*) adalah bagian dari pahat yang digunakan untuk pembentukan diameter lubang. Bagian konis (*conical part*) adalah bagian dari pahat yang digunakan sebagai pelunak material akibat panas yang dihasilkan saat pahat *friction drilling* menekan dan berputar pada benda kerja. Ujung pahat (*flowdrill point*) adalah bagian dari pahat yang digunakan untuk penetrasi awal.

Tahapan *Friction Drilling*

Miler (2005), menjelaskan, terdapat empat langkah *friction drilling* dan secara skematik ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Skematik Langkah *Friction Drilling*

Langkah-langkah tersebut adalah sebagai berikut:

1. Ujung konis pahat mendekati dan mulai menekan benda kerja.
2. Saat ujung pahat menekan benda kerja, gaya gesek permukaan kontak menghasilkan panas dan melunakkan benda kerja. Saat ujung pahat masuk ke benda kerja, ujung pahat menekan benda kerja yang lunak ke arah sisi dan sebagian mengalir ke permukaan atas benda kerja membentuk *boss*.
3. Setelah ujung pahat muncul ke sisi bawah benda kerja, terjadi proses pembentukan *bush*.

Pada sisi pahat yang silindris terjadi proses pembentukan keseluruhan *boss* dan *bush*.

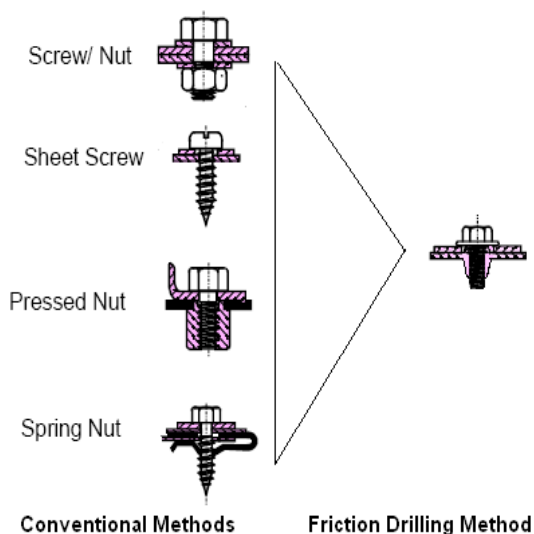
Beberapa penelitian sebelumnya telah dilakukan diantaranya Khrisna (2010), mengembangkan model matematika dari dorong aksial dan torsi yang diperlukan dalam *friction drilling* dengan bahan pahat dari High Speed Steel (HSS) dengan benda kerja berupa pelat aluminium AA6351, tebal

1 mm. Desain eksperimental yang digunakan adalah Metode Taguchi dengan hasil eksperimen bahwa sudut konis pahat mempunyai pengaruh yang tinggi pada gaya dorong dan torsi. Variasi torsi dan gaya dorong memiliki tren yang sama dengan variasi kecepatan putar dan kecepatan pembentukan. Reddy (2011), meneliti pengaruh rasio R2/R1 dari pahat bentuk konis terhadap gaya dorong dan torsi pada *friction drilling* pelat aluminium A1100, tebal 6 mm. Hasil yang diperoleh bahwa rasio R2/R1 mempunyai pengaruh yang tinggi pada gaya dorong dan. Gaya dorong yang tinggi tidak diinginkan karena deformasi (melengkungkan) pada pelat dan memperpendek usia pakai alat.

Penelitian ini memfokuskan dalam menemukan model empiris dari ketinggian *boss* dan *bush* di peroleh melalui rancangan penelitian dengan *Central Composite Design* dan metode *response surface*

Aplikasi *Friction Drilling*

Aplikasi metode *friction drilling* pada penggunaan pengikatan pelat dapat menggantikan metode konvensional seperti ditunjukkan pada Gambar 4 berikut:



Gambar 4. Metode Pengikatan Pelat

Pengikatan pelat dengan metode *friction drilling* tidak memerlukan komponen tambahan. *Boss* dan *bush* yang terbentuk akan menambah luasan pengikatan dan berasal dari material induk, sehingga akan meningkatkan kekuatan pengikatan dan mengurangi kemungkinan terjadinya korosi yang diakibatkan oleh persinggungan material yang berbeda.

Metode ini juga mampu memperbaiki kekuatan *soldering* atau *brazing* pada aplikasi pencabangan dalam sistem pemipaan. Dengan pengeboran konvensional, luasan pengikatan yang dihasilkan hanya setebal dinding pipa yang digurdi. Tetapi dengan proses ini, luasan pengikatan yang dihasilkan sama dengan luasan pengeboran konvensional ditambah dengan luasan dinding *boss*. Gambar 5 menunjukkan pencabangan pipa dengan proses pelubangannya menggunakan metode *friction drilling*



Gambar 5. Pencabangan Pipa

Terjadi penambahan luasan karena terbentuknya *boss* dan *bush*. Dengan metode ini memungkinkan digunakan untuk pembuatan bantalan dukung komponen mekanik lainnya.

Kolom dengan penampang berlobang penuh, *closed hollow section*, secara struktural lebih efisien daripada penampang H yang dikarenakan penambahan kekakuan dan kekuatan terhadap sumbu minornya.

Akan tetapi, kolom berlubang sulit diikat dengan komponen lainnya karena dalam pengikatan akan menghadapi kesulitan dalam proses pengencangan baut pengikat. Dengan metode *friction drilling* memungkinkan membuat pengikatan pada kolom penampang berlubang dengan menggunakan baut biasa.

Tujuan utama dari proses *friction drilling* untuk menghasilkan perluasan bidang lubang pada pelat tipis atau pipa logam untuk memberikan luasan pengikatan yang cukup untuk penguliran, *brazing*, *soldering*, atau pengelasan. Dari lingkup pemanfaatan proses *friction drilling* ini, maka ketinggian *boss* dan *bush* yang terbentuk memegang peranan penting.

METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini, *friction drilling* dilakukan pada bahan pelat tembaga, C10100, dengan *carbide tools*, untuk mencari model empiris dari ketinggian *bush* dan *boss* dengan metode *respon surface* dari pengaruh variabel proses pengerjaan yaitu kecepatan putaran pahat dan kecepatan pembentukan dan pengaruh geometri pahat yaitu sudut konisnya.

Hubungan antara respon yaitu ketinggian *bush* dan *boss* (Y) dengan variabel bebas yaitu kecepatan putar pahat (ω), kecepatan pembentukan (F), dan sudut konis pahat (θ), umumnya tidak diketahui. Langkah pertama dalam metode respon permukaan adalah mencari pendekatan yang cocok terhadap hubungan tersebut.

Jika respon dapat dimodelkan dengan baik dalam fungsi linier dari variabel-variabel bebas, maka fungsi pendekatannya adalah model orde pertama dan dirumuskan sebagai berikut:

$$y = \beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \dots + \beta_kx_k + \varepsilon \tag{1}$$

Jika terdapat kurvatur dalam sistem, maka fungsi pendekatannya adalah bentuk polinomial orde yang lebih tinggi yaitu model orde kedua dan dirumuskan sebagai berikut:

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ij} x_i^2 + \sum_{i < j} \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon \tag{2}$$

Dengan pemodelan empiris bentuk multiplikatif dengan C, α_1 , α_2 , α_3 sebagai konstanta, ketinggian *bush* dan *boss* dapat dirumuskan:

$$Y = C (\omega)^{\alpha_1} (F)^{\alpha_2} (\theta)^{\alpha_3} \tag{3}$$

Untuk memudahkan dalam pendugaan nilai dari (C1, α_1 , α_2 , α_3) dan maka persamaan (3) dapat ditrans-formasikan dalam bentuk *natural logarithmic* untuk mendapatkan bentuk linier polinomial orde pertama, yaitu sebagai berikut:

$$Y = \ln(C) + \alpha_1 \ln(\omega) + \alpha_2 \ln(F) + \alpha_3 \ln(\theta) \tag{4}$$

Persamaan (4), dapat dituliskan kembali dalam bentuk yang lebih mudah yaitu sebagai berikut:

$$Y = \alpha_0 + \alpha_1 X_1 + \alpha_2 X_2 + \alpha_3 X_3 \tag{5}$$

Montgomery (1991), menjelaskan untuk mendapatkan model empiris orde pertama dan orde kedua dilakukan rancangan percobaan faktorial 2^k ditambah dengan pengamatan beberapa kali di titik pusat dan titik-titik di sumbu aksialnya dengan $\alpha = 2^{k/4}$ dalam bentuk *Central Composite Design* (CCD). Rancangan faktorial 2^k CCD digunakan untuk percobaan yang terdiri dari k faktor dengan masing-masing faktor mempunyai level rendah (diberi kode -1), level tinggi (diberi kode +1), level tengah (diberi kode 0), dan level pada sumbu aksial (diberi kode $-\alpha$ dan

+ α). Untuk $k = 3$, nilai $\alpha = 1.682$. Tabel1 menunjukkan rancangan percobaan orde kedua untuk $k = 3$ dengan CCD.

Tabel 1 Rancangan Percobaan $k = 3$ dengan CCD

No	ω	F	θ
1	-1	-1	-1
2	-1	-1	+1
3	-1	+1	-1
4	-1	+1	+1
5	+1	-1	-1
6	+1	-1	+1
7	+1	+1	-1
8	+1	+1	+1
9	-1.682	0	0
10	+1.682	0	0
11	0	-1.682	0
12	0	+1.682	0
13	0	0	-1.682
14	0	0	+1.682
15	0	0	0
16	0	0	0
17	0	0	0
18	0	0	0
19	0	0	0
20	0	0	0

Level variabel proses, ω (kecepatan putar pahat gudi gesek, rpm), F (laju pembentukan, mm/menit), dan (sudut pahat gudi gesek, °) yang akan digunakan ditunjukkan pada Tabel2 berikut:

Tabel 2 Level Variabel Proses

No	Var	-1,682	-1	0	+1	+1,682
1	ω	659	1000	1500	2000	2341
2	F	80	100	130	160	181
3	θ	19	20	22	24	25

Dalam pelaksanaan penelitian, faktor-faktor lain yang ditentukan sebelumnya ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3 Faktor-faktor yang Ditentukan

No	Faktor	Keterangan
1	Bahan pelat	Pelat tembaga, C10100
2	Tebal pelat	2 mm
3	Bahan pahat	<i>Solid Carbide</i>
4	Dia. pahat	8 mm
5	Mesin	Mesin CNC, VMC200

HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah proses penyiapan selesai, dilanjutkan dengan proses *friction drilling* dengan kombinasi level variabel proses sesuai dengan rancangan penelitian (Tabel-1 dan Tabel-2) untuk mendapatkan ketinggian *bush* dan *boss*.

Tabel 4 Hasil Percobaan

No Urut	Acak Percobaan	ω = Kecepatan (rpm)	F = Feed (mm/mnt)	θ = Sudut (°)	Y = Ketinggian <i>Bush</i> dan <i>Boss</i> (mm)
1	32	1000	100	20	5.609
2	27	2000	100	20	6.052
3	35	1000	160	20	5.373
4	23	2000	160	20	5.945
5	13	1000	100	24	5.647
6	39	2000	100	24	6.168
7	36	1000	160	24	4.768
8	12	2000	160	24	5.944
9	16	659	130	22	5.041
10	11	2341	130	22	6.373
11	31	1500	80	22	5.760
12	28	1500	181	22	5.194
13	4	1500	130	19	5.839
14	17	1500	130	25	5.347
15	29	1500	130	22	6.133
16	5	1500	130	22	5.772
17	19	1500	130	22	6.243
18	1	1500	130	22	6.052
19	6	1500	130	22	6.189
20	14	1500	130	22	5.860
21	9	1000	100	20	6.056
22	34	2000	100	20	6.135
23	8	1000	160	20	5.020
24	33	2000	160	20	5.991
25	21	1000	100	24	5.151
26	22	2000	100	24	6.370
27	25	1000	160	24	4.473
28	30	2000	160	24	5.804
29	38	659	130	22	4.555
30	40	2341	130	22	5.966
31	10	1500	80	22	5.985
32	26	1500	181	22	5.245
33	2	1500	130	19	5.597
34	7	1500	130	25	5.538
35	18	1500	130	22	5.760
36	3	1500	130	22	6.029
37	20	1500	130	22	6.224
38	15	1500	130	22	6.226
39	24	1500	130	22	6.200
40	37	1500	130	22	6.157

Pada setiap kali akhir proses penggurdian diberikan jeda untuk memberikan cukup waktu pendinginan dari pahat gurdi gesek yang digunakan. Selanjutnya dilakukan proses pengukuran dan diperoleh data pengamatan ketinggian *bush* dan *boss* seperti ditunjukkan pada Tabel 4.

Pendugaan model dalam bentuk multiplikatif diperoleh dengan mens-transformasikan data kombinasi faktor dan hasil pengamatan pada Tabel-4 ke dalam bentuk logaritmik (*Natural Logarithmic*) dan hasilnya ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5 Hasil Percobaan Dalam Natural Logarithmic (Pers. 5)

No	X1	X2	X3	Y
1	6.908	4.605	2.996	1.724
2	7.601	4.605	2.996	1.800
3	6.908	5.075	2.996	1.681
4	7.601	5.075	2.996	1.783
5	6.908	4.605	3.178	1.731
6	7.601	4.605	3.178	1.819
7	6.908	5.075	3.178	1.562
8	7.601	5.075	3.178	1.782
9	6.491	4.868	3.091	1.618
10	7.758	4.868	3.091	1.852
11	7.313	4.382	3.091	1.751
12	7.313	5.198	3.091	1.648
13	7.313	4.868	2.944	1.765
14	7.313	4.868	3.219	1.677
15	7.313	4.868	3.091	1.814
16	7.313	4.868	3.091	1.753
17	7.313	4.868	3.091	1.831
18	7.313	4.868	3.091	1.800
19	7.313	4.868	3.091	1.823
20	7.313	4.868	3.091	1.768
21	6.908	4.605	2.996	1.801
22	7.601	4.605	2.996	1.814
23	6.908	5.075	2.996	1.613
24	7.601	5.075	2.996	1.790
25	6.908	4.605	3.178	1.639
26	7.601	4.605	3.178	1.852
27	6.908	5.075	3.178	1.498
28	7.601	5.075	3.178	1.759
29	6.491	4.868	3.091	1.516
30	7.758	4.868	3.091	1.786
31	7.313	4.382	3.091	1.789
32	7.313	5.198	3.091	1.657
33	7.313	4.868	2.944	1.722
34	7.313	4.868	3.219	1.712
35	7.313	4.868	3.091	1.751

36	7.313	4.868	3.091	1.797
37	7.313	4.868	3.091	1.828
38	7.313	4.868	3.091	1.829
39	7.313	4.868	3.091	1.825
40	7.313	4.868	3.091	1.818

Pendugaan Model Bentuk Polinomial Orde Pertama

Dugaan model polinomial orde pertama dari Y terhadap variabel-variabel proses (X1 = Kecepatan putar spindel, X2 = Kecepatan pemakanan, dan X3 = Sudut konis pahat gurdi gesek) adalah sebagai berikut:

$$\hat{Y} = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 \quad (6)$$

Pengolahan data pada Tabel-5 dengan MINITAB® menghasilkan analisa statistik seperti berikut:

Response Surface Regression: Y versus X1, X2, X3

Estimated Regression Coefficients for Y

Term	Coef	SE Coef	T	P	
Constant	1.5786		0.46257	3.413	0.002
X1	0.2110		0.02874	7.343	0.000
X2	-0.1547	0.04369		-3.541	0.001
X3	-0.2003	0.11443		-1.750	0.089

S = 0.05492 R-Sq = 65.9% R-Sq(adj) = 63.1%

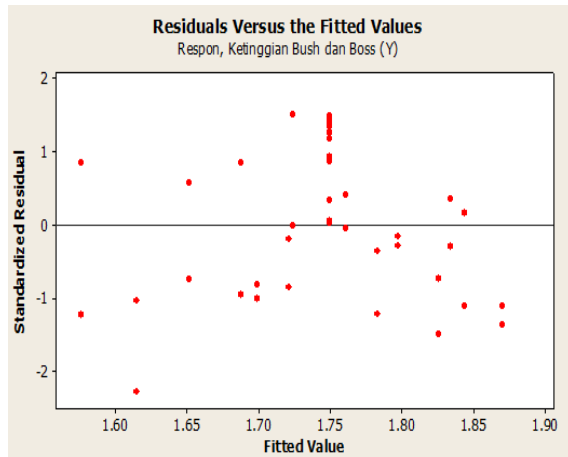
Analysis of Variance for Y

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P	
Regres	3	0.21018	0.21018	0.070060	0.070060	23.23	
Linear	3	0.21018	0.21018	0.070060		23.23	0.000
Res Err	36	0.10858	0.10858	0.003016			
LackF	11	0.07665	0.07665	0.006968		5.46	0.000
PureErr	25	0.03193	0.03193	0.001277			
Total	39	0.31876					

Dari hasil di atas, pendugaan model dari ketinggian boss terhadap variabel proses adalah:

$$\hat{Y} = 1.5786 + 0.211 X_1 - 0.1547 X_2 - 0.2003 X_3 \quad (7)$$

Nilai variasi (R²) sebesar 65,9%, tidak cukup besar, yang berarti bahwa pendugaan model polinomial orde pertama kurang memenuhi.



Gambar 6 Grafik *Residual-Fitted Value* Pendugaan Orde Pertama

Gambar 6. menunjukkan adanya pola tertentu yang mengindikasikan terjadinya ketidaklinieran, dan ini dapat diartikan bahwa residual tidak memiliki penyebaran yang sama. Dengan demikian asumsi identik tidak dipenuhi, yang juga memberikan indikasi bahwa model masih memerlukan variabel penduga yang lain, misalnya mungkin dalam bentuk kuadrat. Hal ini memberikan dukungan tambahan bahwa pendugaan model polinomial orde pertama sangat tidak memenuhi.

Pendugaan Model Bentuk Polinomial Orde Kedua

Dugaan model polinomial orde kedua dari Y terhadap variabel-variabel proses (X_1 = Kecepatan putar spindel, X_2 = Kecepatan pemakanan, dan X_3 = Sudut konis pahat gurdi gesek) adalah sebagai berikut:

$$\hat{y}_1 = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 \quad (8)$$

Pengolahan data pada Tabel 5. dengan MINITAB® menghasilkan analisa statistik seperti berikut:

Response Surface Regression: Y versus X1, X2, X3

Estimated Regression Coefficients for Y

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-28.1574	13.0833	-2.152	0.040
X1	-1.6315	1.2217	-1.335	0.192
X2	4.8536	1.8506	2.623	0.014
X3	15.7615	5.5456	2.842	0.008
X1*X1	-0.1368	0.0471	-2.903	0.007
X2*X2	-0.5651	0.1119	-5.051	0.000
X3*X3	-3.1596	0.7683	-4.113	0.000
X1*X2	0.2674	0.1065	2.510	0.018
X1*X3	0.8120	0.2757	2.945	0.006
X2*X3	-0.4941	0.4077	-1.212	0.235

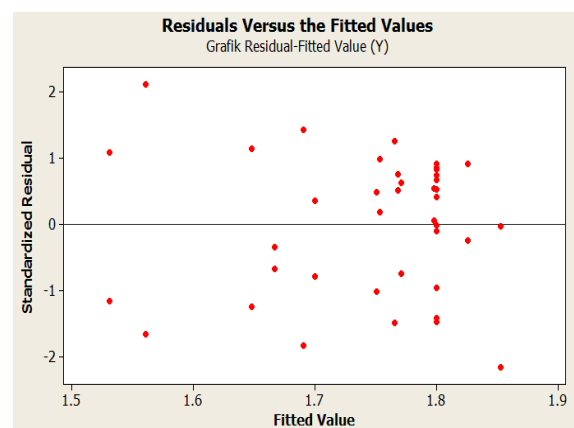
S=0.03499 R-Sq=88.5% R-Sq(adj)=85.0%

Analysis of Variance for Y

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regres	9	0.282035	0.282035	0.031337	25.60	0.000
Linear	3	0.210180	0.022973	0.007658	6.26	0.002
Square	3	0.051784	0.049845	0.016615	13.57	0.000
Interaction	3	0.020071	0.020071	0.006690	5.47	0.004
Resid Error	30	0.036725	0.036725	0.001224		
Lack-of-Fit	5	0.004793	0.004793	0.000959	0.75	0.593
Pure Error	25	0.031931	0.031931	0.001277		
Total	39	0.318760				

Variasi total yang dapat diterangkan (R^2) oleh model sebesar 85,0%. Nilai ini cukup besar, yang berarti bahwa pendugaan model polinomial orde kedua memenuhi.

Gambar 7. menunjukkan tidak adanya pola tertentu yang mengindikasikan bahwa asumsi identik dipenuhi. Keacakan residual ini memberikan indikasi terjadinya kelinieran. Dengan demikian model tambahan bahwa pendugaan model polinomial orde kedua sangat memenuhi.



Gambar 7 Grafik *Residual-Fitted Values* Pendugaan Orde Dua

Dengan model matematis,

$$\begin{aligned} \hat{Y} = & -28.157 - 1.631X_1 + 4.853X_2 + 15.762X_3 \\ & - 0.137X_1^2 - 0.565X_2^2 + -3.160X_3^2 \\ & + 0.267X_1 * X_2 + 0.812X_1 * X_3 - 0.494X_2 * X_3 \end{aligned} \quad (8)$$

PENUTUP

Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini bahwa model empiris dari ketinggian *boss* dan *bush*

yang diperoleh melalui rancangan penelitian dengan *Central Composite Design* dan metode *response surface* adalah berbentuk polinomial orde dua seperti ditunjukkan pada persamaan (8) dengan variasi total yang dapat diterangkan (R^2) oleh model sebesar 85,0%, yang berarti bahwa pendugaan model polinomial orde kedua memenuhi.

DAFTAR PUSTAKA

- Miller, S. F., Blau, P. J., Shih, A. J., 2005, *Microstructural Alteration Associated With Friction Drilling of Steel, Aluminium, and Titanium*, ASM International, 14, 647-653.
- Montgomery, D. C., 1991, *Design and Analysis of Experiments*, John Wiley & Sons, Singapore.

- Khrisna, G, Kishore, K, Satyanarayana, V, 2010, *Some investigations in friction drilling aa6351 Using high speed steel tools*, Asian Research Publishing Network. Vol 5.
- Reddy.D V, Krishnaiah.G, Gopi Chand and Indumathi, 2011, *Analysis in Form Drilling AA1100 Using HSS Tools*, International Conference on Trends in Mechanical and Industrial Engineering