

PENGARUH PUTARAN SPINDEL, GERAK MAKAN DAN SUDUT MATA PAHAT TERHADAP GETARAN BENDA KERJA ALUMINIUM 6061 PADA PROSES DRILLING

Agung Eko Hadiyoto¹, Santoso Mulyadi²

¹ Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember

² Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember Jl. Kalimantan 37 Jember 68121

E-mail: santosomulyadi32@yahoo.co.id

ABSTRACT

*Chatter in drilling process due to excitation, both from within and from outside the system but the resulting chatter effect is very dependent on the excitation frequency and the elements of the cheater system itself. This study aimed to determine the effect of spindle speed, feeding rate and tool angle in consideration of aspects of chatter in drilling process. In this experimental design experiments conducted using Drill Machine Model KMR Kao Ming-700DS. Spindle speed used is 136 rpm, 368 rpm and 681 rpm. Feeding used is 0.07 mm/rotation, 0.13 mm/rotation, 0.22 mm/rotation and use a variety of tool angle is 90°, 100° and 118°. Materials used for the experiment was aluminium 6061. chatter measurement results work material drilling process using a series of chatter test equipment with a number of fully testing is testing 27. Analysis of the data used is the linear regression. From the results of the testing results of the regression equation $A = 10^{3.371} * (n)^{0.627} * (f)^{0.581} * (2Kr)^{1.112}$ and R-square value 81.6 %. Spindle speed parameter, feed rate and tool angle jointly effect to the chatter of work material in drilling process.*

Keywords: Drilling, Chatter, Feeding, Spindle Speed

PENDAHULUAN

Teknologi di bidang manufaktur semakin berkembang, hal ini dapat dirasakan dengan semakin banyak produk yang dihasilkan oleh proses manufaktur baik dengan proses pemesinan konvensional maupun non konvensional. Proses *drilling* merupakan salah satu bentuk proses pemesinan konvensional yang secara sederhana dapat dikatakan sebagai proses pembuatan lubang dengan menggunakan mata pahat (*twist drill*). Pada proses *drilling* pembuatan lubang dengan Mata pahat spiral di dalam benda kerja merupakan suatu proses *feeding* dan *cutting* dengan daya penyerpihan yang besar [1].

Industri yang umumnya bergerak di bidang manufaktur sangatlah banyak, mereka berusaha meningkatkan mutu produk yang dihasilkan dengan proses yang dilakukan, Hal ini untuk menghasilkan produk dengan kualitas tinggi dan keakuratan dalam dimensi, penyelesaian permukaan, laju produksi tinggi, keausan pahat potong rendah dan peningkatan prestasi produk benda kerja. Menurut rujukan [2] dalam mencapai kualitas pada proses pengerjaan mesin dipengaruhi oleh adanya getaran pahat pada spindle head dan getaran benda kerja pada saat proses pemotongan berlangsung atau dikenal dengan istilah *chatter*. Salah satu akibat munculnya *chatter* ini adalah ketidakrataan permukaan benda kerja hasil pemotongan. Ketidakrataan permukaan tergantung pada posisi relative sesaat dari pahat potong dan benda kerja. Komponen gaya-gaya potong memiliki pengaruh besar terhadap akurasi dan benda kerja.

Getaran yang terjadi pada mesin biasanya menimbulkan efek yang tidak dikehendaki; seperti ketidaknyamanan, ketidaktepatan dalam pengukuran atau rusaknya struktur mesin. Getaran terjadi karena adanya eksitasi, baik yang berasal dari dalam maupun

dari luar sistem akan tetapi efek getaran yang ditimbulkannya sangat tergantung dari frekuensi eksitasi tersebut dan elemen-elemen dari sistem getaran itu sendiri. Untuk meredam getaran yang terjadi dapat dilakukan dengan cara memasang sistem peredam dinamik pada sistem yang bergetar atau memasang sistem tersebut pada tumpuan yang baik sesuai dengan frekuensi eksitasinya.

Pada kenyataannya sangat sulit untuk mendapatkan benda kerja dengan karakteristik geometri yang sempurna dan memperoleh hasil dengan kualitas tinggi tanpa memperhatikan hal-hal yang mempengaruhi proses permesinan, seperti getaran pada saat proses berlangsung. Getaran sangatlah mempengaruhi proses pemesinan. Oleh karena itu dalam suatu proses permesinan benda kerja banyak terjadi penyimpangan yang salah satu diantaranya disebabkan oleh parameter pemotongan itu sendiri [2].

Berdasarkan uraian diatas, perlu dilakukan penelitian tentang analisis pengaruh putaran spindel, gerak makan dan sudut mata pahat terhadap getaran bendakerja pada proses *drilling*.

METODOLOGI PENELITIAN

Benda kerja *aluminium* 6061 dengan ukuran panjang 140 mm, lebar 140 mm dan tinggi 70 mm di *drill* menggunakan mesin *drill* merek Kao Ming model KMR – 700DS dengan spesifikasi putaran *spindle* 136 – 1250 RPM, gerak makan 0.07, 0.13, 0.22 mm/putaran, mampu cekam phat diameter 8 – 15 mm buatan Taiwan tahun 1998. kemudian parameter – parameter yang digunakan adalah putaran *spindle* 136, 368, dan 681 Rpm, gerak makan 0.07, 0.13 dan 0.22 mm/putaran dan sudut mata pahat 90°, 100° dan 118° dengan diameter

mata pahat 14 mm. Proses *drilling* yang dilakukan pada benda kerja *aluminium* 6061 ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh putaran *spindle*, gerak makan dan sudut mata pahat terhadap getaran benda kerja *aluminium* 6061 pada proses *drilling*. Untuk mengetahui getaran yang timbul pada benda kerja saat proses *drilling* berlangsung alat yang digunakan adalah alat uji getaran yaitu *accelerometer*. Rangkaian yang digunakan dalam alat uji getaran ini adalah *accelerometer* sebagai sensor pembaca hasil getaran, *amplifier* untuk menguatkan daya, ADC (*Analog to Digital Converter*) untuk mengubah sinyal – sinyal *analog* menjadi bentuk sinyal *digital* dan komputer sebagai alat pengolah data hasil getaran pada saat proses *drilling*.

Setelah itu lakukan proses *drilling* dengan memasukkan parameter – parameter variabel bebas yang telah ditentukan, dilakukan 27 kali percobaan dengan variabel bebas yang berbeda – beda. Hasil data getaran dari proses *drilling* dianalisis untuk mengetahui pengaruh variabel bebas yang ditentukan terhadap variabel terikat yaitu getaran.

Dalam metode penyelesaian penelitian ini analisis dan pengujian data yang diperoleh pada saat penelitian akan diuji menggunakan analisis regresi linier berganda. Untuk mengetahui pengaruh antara putaran *spindle*, gerak makan dan sudut mata pahat terhadap getaran hasil proses *drilling* serta untuk memudahkan penganalisaan dan menarik kesimpulan dari hasil percobaan, maka digunakan asumsi bahwa getaran (A) fungsi dari putaran *spindle* (n), gerak makan (f), dan sudut mata pahat ($2\kappa_r$), dengan demikian dapat dituliskan fungsi sebagai berikut:

$$A = b \cdot n \cdot f \cdot 2\kappa_r$$

Dimana: A= Getaran yang diperoleh dari percobaan, b= konstanta, n= putaran *spindle*, f= gerak makan, $2\kappa_r$ = sudut mata pahat.

Dari fungsi di atas dapat dirubah menjadi bentuk persamaan matematis sebagai berikut:

$$A = b_0 \cdot n^{\beta_1} \cdot f^{\beta_2} \cdot 2\kappa_r^{\beta_3}$$

Untuk merubah kedalam bentuk linier maka bentuk tersebut di atas perlu ditransformasikan ke dalam bentuk logaritma, sehingga menjadi:

$$\log A = \log b_0 + \beta_1 \log n + \beta_2 \log f + \beta_3 \log 2\kappa_r$$

Persamaan di atas masih perlu ditransformasikan menjadi bentuk/model persamaan regresi linier multiple menjadi:

$$Y = \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3$$

dengan transformasi: $Y = \log A$, $X_1 = \log n$, $X_2 = \log f$, $X_3 = \log 2\kappa_r$

Langkah selanjutnya adalah menentukan hubungan atau korelasi antara Y terhadap variabel X1, X2, dan X3 dengan menentukan nilai/harga konstanta α , harga koefisien X1 X2 dan X3 berupa β_1 β_2 dan β_3 . Untuk menentukan konstanta dan koefisien-koefisien tersebut dilakukan dengan bantuan perangkat lunak/software SPSS 16.0. Dari hasil pengolahan data didapatkan persamaan regresi, analisa varians dan hubungan antara variabel bebas dan variabel respon satu persatu serta dapat pula diketahui variabel-variabel yang berpengaruh terhadap nilai penyimpangan geometri yang didapatkan melalui percobaan.

Syarat regresi linear berganda uji asumsi klasik adalah persyaratan statistik yang harus dipenuhi pada analisis regresi linear berganda. Tidak semua uji asumsi klasik harus dilakukan pada analisis regresi, misalnya uji multikolinearitas tidak dilakukan pada analisis regresi linear sederhana dan uji autokorelasi tidak perlu diterapkan pada data cross sectional. Uji asumsi klasik yang sering digunakan yaitu uji normalitas, uji multikolinearitas, uji linearitas, uji autokorelasi dan uji heteroskedastisitas. Analisis dapat dilakukan tergantung pada data yang ada. Sebagai contoh, dilakukan analisis terhadap semua uji asumsi klasik, lalu dilihat mana yang tidak memenuhi persyaratan. Kemudian dilakukan perbaikan pada uji tersebut, dan setelah memenuhi persyaratan, dilakukan pengujian pada uji yang lain.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 1 Hasil pengukuran getaran pada benda kerja hasil proses *drilling*

n (rpm)	f(mm/putaran)	$2\kappa_r$ (°)	A (m/s ²)
136	0,07	90	154.69
		100	120.40
		118	162.93
	0,13	90	180.17
		100	265.06
		118	293.98
	0,22	90	319.97
		100	296.49
		118	120.34
368	0,07	90	720.19
		100	341.79
		118	138.74
	0,13	90	379.77
		100	604.65
		118	483.15
	0,22	90	691.95
		100	339.78
		118	482.67
681	0,07	90	294.68
		100	356.70
		118	164.21
	0,13	90	849.25
		100	636.30
		118	801.84
	0,22	90	604.30
		100	1049.30
		118	748.95

Uji Asumsi Klasik

Uji Normalitas

Tabel 2 Hasil uji Kolmogrov-Smirnov

	Y	X1	X2	X3
Asymp. Sig. (2-tailed)	.782	.087	.131	.097

Dari Tabel 2 dapat diketahui bahwa (Asym. Sig 2-tailed) nilai signifikansi Y sebesar 0.782, nilai signifikansi X₁ sebesar 0.087, nilai signifikansi X₂ sebesar 0.131, nilai signifikansi X₃ sebesar 0.097.

Sehingga signifikansi > 0.05 berarti data terdistribusi normal (H_0 diterima).

Uji Homogenitas

Tabel 3 Uji Homogenitas X_1, X_2, X_3

	Levene Statistic	df1	df2	Sig
X1	.678	2	24	.517
X2	.111	2	24	.896
X3	.776	2	24	.471

Dari Tabel 3 dapat diketahui bahwa nilai signifikansi X_1 sebesar 0.517, X_2 sebesar 0.896, X_3 sebesar 0.471. Karena nilai signifikansi $X_1, X_2,$ dan X_3 semuanya lebih besar dari 0.05 maka dapat disimpulkan bahwa data semuanya homogenitas atau memiliki varian yang sama.

Uji Multikolinearitas

Tabel 4 Hasil output VIF

Model	Collinearity Statistics	
	Tolerance	VIF
1 (Constant)		
X1	1,000	1,000
X2	1,000	1,000
X3	1,000	1,000

Dari Tabel 4 dapat diketahui bahwa nilai VIF kurang dari 10 dan nilai toleransi lebih dari 0.1 untuk ketiga variabel maka H_0 diterima dan model regresi tidak terjadi multikolinearitas.

Uji Autokorelasi

Tabel 5 Stastistik Durbin-Watson

Model	Durbin - Watson
1	1,77

Dari Tabel 5 Dengan ini maka $4 - DU = 4 - 1,651 = 2.349$ dan $4 - DL = 4 - 1.162 = 2.838$. Karena nilai $DW = 2.146$ berada pada daerah antara DU dan $4-DU$ atau $DU < DW < 4-DU$ ($1.651 < 2.146 < 2.349$), maka dapat disimpulkan bahwa tidak terjadi autokorelasi pada model regresi.

Uji Linearitas

Tabel 6 Uji Linieritas

	F	Sig.
Y * X1 Deviation from Linearity	0,469	0,500
Y * X2 Deviation from Linearity	1,625	0,125
Y * X3 Deviation from Linearity	0,049	0,826

Dari Tabel 6 dapat diketahui bahwa nilai signifikansi pada linearitas $Y * X_1, Y * X_2, Y * X_3$ lebih dari 0.05 maka H_0 diterima atau dapat disimpulkan bahwa antara variabel Y dan variabel X terdapat hubungan yang linear. Dengan ini maka asumsi linearitas terpenuhi.

Uji Heteroskedastisitas

Tabel 7 Uji Heteroskedastisitas

Model	t	Sig	Std.err or	Unstandarized Residual B	
X1	Sig. (2-tailed)	0,76	0,45	0,06	0,05
X2	Sig. (2-tailed)	-1,38	0,18	.088	-.122
X3	Sig. (2-tailed)	1,43	0,17	0,37	.531
standarized Residual	Beta	0,15	-0,27	0,26	-

Dari Tabel 7 dapat diketahui bahwa korelasi ketiga variable memiliki nilai signifikansi lebih dari 0.05. Sehingga dapat disimpulkan bahwa model regresi tidak ada Heteroskedastisitas

Analisis Regresi Berganda

Pengujian Hipotesa

Uji kesesuaian model (Uji F)

Tabel 8 Uji kesesuaian model (Uji F)

Model	F
Regresion	13,994

Dari Tabel 8 diperoleh F hitung sebesar 13.994. Dengan menggunakan tingkat keyakinan 95%, $\alpha = 5\%$ maka:

$$Df1 = k - 1 = 3 - 1 = 2$$

$$Df2 = n - k - 1 = 27 - 3 - 1 = 23$$

Maka hasil diperoleh untuk F tabel sebesar 3.422. Karena nilai F hitung $> F$ tabel ($13.944 > 3.422$), maka H_0 ditolak. Berarti secara bersama-sama ada pengaruh variabel bebas terhadap variabel terikat.

Uji individual (Uji t)

Tabel 9 Uji Individual (Uji t)

Model	T
(Constant)	2,548
X1	5,236
X2	3,439
X3	2,567

Dari Tabel 9 di atas diperoleh t hitung:

Untuk, X₁ = 10.533; X₂ = 10.533; X₃ = 4.334. Tabel distribusi t dicari pada 1/2 α = 5% = 0.05/2 = 0.025. Dengan derajat kebebasan df = n - k - 1 = 27 - 3 - 1 = 23. Maka hasil yang diperoleh untuk t tabel adalah 2.06866. Maka untuk, X₁ : t hitung > t tabel (5.263 > 2.06866), maka H₀ ditolak. Artinya bahwa putaran spindle secara parsial berpengaruh terhadap getaran benda kerja. Nilai t hitung positif, artinya pengaruh yang terjadi adalah positif, bahwa semakin tinggi nilai putaran spindle maka semakin meningkat getaran benda kerja. X₂ : t hitung > t tabel (3.439 > 2.06866), maka H₀ ditolak. Artinya bahwa gerak makan secara parsial berpengaruh terhadap getaran benda kerja. Nilai t hitung positif, artinya pengaruh yang terjadi adalah positif, bahwa semakin tinggi nilai gerak makan maka semakin meningkat getaran benda kerja. X₃ : t hitung > t tabel (4.334 > 2.06866), maka H₀ ditolak. Artinya bahwa sudut mata pahat secara parsial berpengaruh terhadap getaran benda kerja. Nilai t hitung positif, artinya pengaruh yang terjadi adalah positif, bahwa semakin tinggi nilai sudut mata pahat maka semakin meningkat getaran benda kerja.

Analisis Regresi Linier Berganda Bentuk Log

Tabel 10 Analisis regresi linier berganda bentuk log

Model	Unstandardized Coefficients	
	B	Std. Error
(Constant)	3,731	1,465
X1	0,627	0,119
X2	0,581	0,169
X3	1,112	2,710

Dari hasil analisis regresi linier berganda pada Tabel 10, maka persamaan regresi linier bergandanya adalah:

$$Y = 3.731 + 0.627 X_1 + 0.581 X_2 + 1.112 X_3$$

Konstanta sebesar 3.731; artinya jika log putaran spindle, log gerak makan dan log sudut mata pahat nilainya nol, maka variabel log getaran memiliki nilai sebesar 3.731. Koefisien regresi log variabel putaran spindle sebesar 0.627; artinya jika log variabel putaran spindle mengalami kenaikan satu satuan sementara log variabel prediktor lainnya bersifat tetap, maka log variabel getaran akan mengalami peningkatan sebesar 0.627. Koefisien regresi log variabel gerak makan sebesar 0.581; artinya jika log variabel gerak makan mengalami kenaikan satu satuan sementara log variabel

prediktor lainnya bersifat tetap, maka log variabel getaran akan mengalami peningkatan sebesar 0.581. Koefisien regresi log variabel sudut mata pahat sebesar 1.112; artinya jika log variabel sudut mata pahat mengalami kenaikan satu satuan sementara log variabel prediktor lainnya bersifat tetap, maka log variabel getaran akan mengalami peningkatan sebesar 1.112.

Dengan transformasi:

$$Y = \text{Log } A, X_1 = \text{Log } n, X_2 = \text{Log } f, X_3 = \text{Log } 2\kappa_r = \alpha$$

Persamaan diatas menjadi:

$$A = 10^{3.731} * (n)^{0.627} * (f)^{0.581} * (2\kappa_r)^{1.112}$$

Analisis Koefisien Determinasi (R²)

Tabel 11 Analisis koefisien determinasi (R²)

Model	R	R Square	Adjusted R Square
1	0,924	0,816	0,790

Hasil analisis determinasi dapat dilihat pada Tabel 11 berupa output Model Summary dari hasil analisis regresi linier berganda diatas. Berdasarkan output diperoleh angka R Square sebesar 0.816 atau 81.6%. Hal ini menunjukkan bahwa prosentase pengaruh variabel bebas terhadap variabel terikat sebesar 81.6%. Sedangkan sisanya 18.4% dipengaruhi oleh variabel lain yang tidak dimasukkan dalam model penelitian ini.

PEMBAHASAN

Getaran merupakan respon dari sebuah sistem mekanik, baik yang diakibatkan oleh gaya yang diberikan maupun perubahan kondisi operasi sebagai fungsi waktu. Gaya yang menyebabkan getaran ini dapat ditimbulkan oleh beberapa sumber misalnya kontak/benturan antar komponen yang bergerak/berputar, putaran dari massa yang tidak seimbang (*unbalance mass*), *misalignment* dan juga karena kerusakan. Dalam penelitian ini getaran yang terjadi karena adanya kontak/benturan antara pahat dengan benda kerja.

Setelah menganalisis data hasil percobaan menggunakan metode regresi maka didapatkan persamaan statistik yang menunjukan bahwa semua parameter yang divariasi berpengaruh terhadap getaran. Sebagai persamaan yang menggambarkan hubungan antara tiga variabel tersebut adalah

$$A = 10^{3.371} * (n)^{0.627} * (f)^{0.581} * (2\kappa_r)^{1.112}$$

Dari persamaan statistik yang dihasilkan, putaran spindle berpengaruh pada getaran dengan nilai koefisien 3.371, gerak makan berpengaruh pada getaran dengan nilai koefisien 0.627. Semakin besar nilai putaran spindle dan gerak makan, maka getaran yang dihasilkan akan bertambah besar. [2] semakin tinggi putaran spindle sangat sensitif terhadap terjadinya getaran.

Semakin besar gerak makan yang digunakan maka getaran yang dihasilkan akan semakin besar sehingga gaya potong yang diperlukan semakin

besar dimana pahat drilling harus ditekan dengan tekanan yang cukup besar agar pahat dapat bergerak menembus benda kerja. Penekanan tersebut berfungsi untuk melawan gaya ekstrusi yang besar di ujung pahat serta untuk melawan gesekan pada bidang utama/mayor bagi kedua mata potong [3].

Selain putaran spindle dan gerak makan, sudut mata pahat juga berpengaruh terhadap terjadinya getaran pada proses drilling dengan nilai koefisien 1.112. Semakin besar sudut mata pahat akan memungkinkan terjadinya lenturan ataupun getaran (chatter) akibat gaya tekan yang terlampaui besar [3]. Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa semakin besar sudut mata pahat maka getaran semakin bertambah besar.

KESIMPULAN DAN SARAN

Putaran *spindel*, gerak makan dan sudut mata pahat berpengaruh terhadap terjadinya akselerasi getaran pada proses *drilling*. Akselerasi getaran paling kecil diperoleh pada percobaan ke-9 dengan penggunaan putaran spindle 136 rpm, gerak makan 0.22 mm/put dan dengan sudut mata pahat 118°. Akselerasi getaran paling besar diperoleh pada percobaan ke-26 dengan penggunaan putaran spindle 681 rpm, gerak makan 0.22 mm/put dan dengan sudut mata pahat 100°. Persamaan getaran $A = 10^{3.371} * (n)^{0.627} * (f)^{0.581} * (2\kappa_r)^{1.112}$. Variabel prediktor (putaran spindle, gerak makan dan sudut mata pahat) mempunyai pengaruh sebesar 81.6% terhadap variabel respons yaitu getaran pada benda kerja.

Pada percobaan ini hanya membahas tentang pengaruh parameter-parameter pada proses *drilling* terhadap getaran saja. Sebaiknya perlu dikaji lebih dalam lagi seperti getaran pada proses *drilling* yang mengakibatkan permukaan hasil proses *drilling* (benda kerja) menjadi kasar dan bentuk lubang yang tidak silindris, sehingga dapat ditarik suatu hubungan antara besar getaran dengan kekasaran permukaan dan keovalan lubang hasil proses *drilling* pada benda kerja.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bashori, Nuron. 2013. *Pengaruh Putaran Spindel, Gerak Makan dan Sudut Mata Pahat Terhadap Getaran Spindle Head Pada Proses Drilling*. Jember: Fakultas Teknik Uneversitas Jember.
- [2] Mulyadi, Santoso. 2009. *Getaran Paksa 2 DOF dari Pahat Drill Menggunakan Program Matlab*. Jurnal Rotor Universitas Jember, 2 (2): 18-23.
- [3] Rochim, Taufiq. 1993. *Teori & Teknologi Proses Pemesinan*. Bandung: ITB.