

## Optimasi Parameter Pembubutan Terhadap Kekasaran Permukaan Produk

Fransisca Gayuh Utami Dewi, Femiana Gapsari  
Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya  
Jalan Mayjend Haryono 167, Malang 65145, Indonesia  
Phone: +62-341-587711, Fax: +62-341-554291  
E-mail: memi\_kencrut@ub.ac.id

### Abstract

*Machining parameters in turning processes including cutting speed, depth of cut, feed rate, and the length of the cutting parameters affect the product quality. One of the required product quality is the level of surface roughness. Reseach used response surface experimental based on central composite design to develop the empirical method of relationship between cutting parameters and surface roughness. Furthermore, an optimization is also conducted by using desirability function approach to determine the combination of cutting parameters in order to have low surface roughness of product. The results show that the machining parameters (depth of cut, length of cutting, cutting speed) have significant impact to the surface roughness of product. Based on the results, the mathematical model:  $Y = 1.109 - 0.068(X_1) - 0.111(X_2) - 0.098(X_3) + 0.268(X_1)^2 + 0.17(X_2)^2 + 0.106(X_3)^2 + 0.086X_1X_2 - 0.073X_1X_3 - 0.001X_2X_3$*

**Keywords:** surface roughness, machining, depth of cut, cutting speed.

### PENDAHULUAN

Proses permesinan merupakan parameter penting dalam industri manufaktur. Karakteristik tersebut dapat mempengaruhi kinerja dari suatu produk yang dihasilkan dari proses permesinan.

Proses permesinan adalah proses pemotongan atau pembuangan sebagian benda kerja dengan maksud untuk membentuk produk sesuai dengan yang diinginkan. Proses permesinan yang banyak dilakukan dalam industri manufaktur adalah proses penyekrapan (*shaping*), penggurdian (*drilling*), penyayat atau frais (*milling*), proses gergaji (*sawing*), proses gerinda (*grinding*), dan pembubutan (*turning*) [1]. Mesin bubut adalah suatu mesin perkakas yang mempunyai gerakan utama berputar yang berfungsi untuk mengubah bentuk dan ukuran benda kerja dengan cara menyayat benda kerja dengan suatu pahat penyayat, posisi benda kerja berputar sesuai dengan sumbu mesin dan pahat bergerak ke kanan atau ke kiri searah sumbu mesin bubut untuk melakukan penyayat atau pemakanan. Proses pembubutan dapat diaplikasikan

dalam pembuatan ulir, poros, ataupun digunakan untuk meratakan permukaan suatu benda kerja [1].

Parameter permesinan dalam proses pembubutan meliputi kecepatan potong (*cutting speed*), kedalaman pemotongan (*depth of cut*), dan laju pemakanan (*feed rate*). Dalam aplikasinya, ketiga parameter tersebut memiliki pengaruh yang cukup besar pada kekasaran permukaan dari hasil proses permesinan. Pemilihan nilai laju pemakanan dan kedalaman pemotongan yang tinggi maka proses pembubutan akan efisien, namun produk yang dihasilkan akan memiliki kekasaran permukaan yang tinggi. Sedangkan pemilihan nilai laju pemakanan dan kedalaman pemotongan yang rendah akan mengurangi efisiensi proses pembubutan, namun produk yang dihasilkan memiliki kekasaran permukaan yang rendah. Selain ketiga parameter utama tersebut, panjang pemotongan merupakan salah satu faktor yang juga dapat mempengaruhi hasil proses pembubutan. Dengan panjang pemotongan yang besar maka proses pemakanan akan

berlangsung lama sehingga permukaan benda kerja akan semakin kasar yang diakibatkan oleh geram (*chip*) yang menempel pada ujung pahat selama proses pemakanan. Oleh sebab itu, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai pemilihan parameter pemotongan pada mesin bubut. Dari beberapa parameter pemotongan tersebut, panjang pemotongan, *depth of cut* dan *cutting speed* dipilih sebagai variabel bebas untuk mendapatkan nilai optimal dari masing – masing variabel sehingga didapatkan kekasaran permukaan yang paling rendah.

Kekasaran permukaan suatu produk permesinan dapat mempengaruhi beberapa fungsi dari produk tersebut seperti tingkat kepresisian, kemampuan penyebaran pelumas, pelapisan, dan sebagainya. Semakin halus permukaan semakin tinggi tingkat kepresisian dari produk tersebut, dan semakin halus permukaan semakin merata pelumasan yang terjadi, begitu juga halnya dengan kualitas hasil pelapisan. Dengan demikian kekasaran permukaan menjadi tolak ukur keakuratan dan kualitas dari suatu produk industri manufaktur [2].

Berdasarkan uraian diatas maka dilakukan rancangan optimasi untuk mendapatkan variasi parameter pemotongan pada proses pembubutan konvensional. Diharapkan dengan penelitian ini dapat dihasilkan produk proses pembubutan yang memiliki kekasaran permukaan cukup rendah.

**METODA PENELITIAN**

**Tahap Pengumpulan Data**

Data-data yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah *depth of cut*, panjang pemotongan dan *cutting speed* selama proses pembubutan. Besarnya nilai kekasaran permukaan akan diketahui dari eksperimen.

**Penentuan Level Variabel**

Pada penelitian ini terdapat dua macam variabel, yaitu variabel bebas dan variabel respon. Parameter yang dijadikan variabel bebas dalam penelitian ini adalah :

1. *Depth of Cut* ( $X_1$ ) :0.25 mm-0.75mm
2. Panjang Pemotongan( $X_2$ ) :50-150mm

3. *Cutting Speed* ( $X_3$ ) :50-110 m/min

Untuk mendapatkan model empiris orde pertama dan 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) [3,4].

Rancangan faktorial  $2^k$  CCD digunakan untuk percobaan yang terdiri dari k faktorial 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 + $\alpha$ )). Untuk k = 3, nilai  $\alpha = 1,682$  [4].Level variabel dapat dilihat pada tabel 1.

**Tabel 1. Level Variabel**

Nama Variabel	<i>Depth of Cut</i> (mm)	Panjang Pemotongan (mm)	<i>Cutting Speed</i> (m/min)
Rendah (-1)	0.25	50	50
Tengah (0)	0.5	100	80
Tinggi (1)	0.75	150	110

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Data hasil penelitian berdasarkan rancangan percobaan CCD yang ditunjukkan pada Tabel 3. dianalisis dengan menggunakan MINITAB 14 dan didapat hasil desain *response surface* dengan *Central Composite Design* (CCD) yang ditampilkan pada Tabel 2 di bawah.

**Tabel 2. Hasil Desain Response Surface.**

Central Composite Design	
Factors:	3
Base runs:	20
Base blocks:	1
Replicates:	1
Total runs:	20
Total blocks:	1
Two-level factorial: Full factorial	
Cube points:	8
Center points in cube:	6
Axial points:	6
Center points in axial:	0

Berdasarkan pengujian model linier diketahui bahwa hasil penelitian tidak sesuai dengan model orde pertama (linier). Oleh karena itu dilakukan pengujian model orde kedua (*full quadratic*).

**Tabel 3.** Hasil Penelitian

Depth of Cut (X <sub>1</sub> )	Faktor			Kekasaran Permukaan (Ra)
	Panjang Pemotongan (X <sub>2</sub> )	Cutting Speed (X <sub>3</sub> )		
-1	-1	-1		1.98
1	-1	-1		1.73
-1	1	-1		1.53
1	1	-1		1.78
-1	-1	1		1.83
1	-1	1		1.44
-1	1	1		1.53
1	1	1		1.33
-1.682	0	0		1.98
+1.682	0	0		1.78
0	-1.682	0		1.81
0	+1.682	0		1.39
0	0	-1.682		1.55
0	0	+1.682		1.29
0	0	0		1.15
0	0	0		1.10
0	0	0		1.13
0	0	0		1.08
0	0	0		1.06
0	0	0		1.13

**Pengujian Model Full Quadratic**

Berdasarkan rancangan CCD didapatkan output ANOVA full quadratic response surface seperti tabel 4 dibawah ini.

**Tabel 4.** ANOVA Untuk Model Full Quadratic

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	9	1.861	1.861	0.207	80.5	0.000
Linear	3	0.360	0.360	0.120	46.7	0.000
Square	3	1.398	1.398	0.466	181.4	0.000
Interaction	3	0.103	0.103	0.343	13.4	0.001
Residual Error	10	0.026	0.026	0.003		
Lack-of-Fit	5	0.020	0.020	0.004	3.4	0.104
Pure Error	5	0.006	0.006	0.001		
Total	19	1.887				

**Uji Koefisien Regresi Serempak**

Pada tabel 4 terlihat bahwa pada level pengujian  $\alpha = 0.05$  dan P-Value dari regresi adalah 0.001 yaitu lebih kecil dari 0,05 sehingga hipotesis awal ditolak. Hasil ANOVA untuk model menunjukkan linier (p-value 0.002) dan model kuadratik (p-value = 0.000) signifikan karena P-Value keduanya kurang dari  $\alpha = 0.05$  (penelitian ini menggunakan level signifikansi 5%). Sebaliknya, model non linier yang mengikut sertakan interaksi antar faktor tidak signifikan. Artinya, model yang tepat untuk kasus ini adalah model kuadratik.

**Uji Lack of Fit**

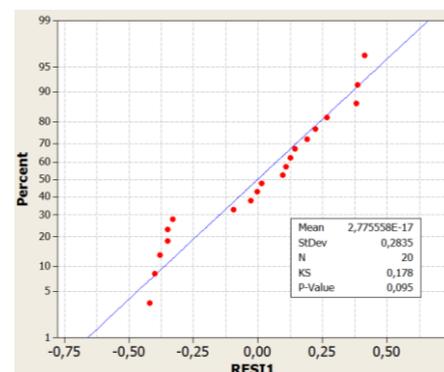
Hasil analisis yang ditunjukkan tabel 4. ANOVA menunjukkan pula hasil uji Lack of Fit yang dapat digunakan untuk menguji kecukupan model, dengan hipotesis:

- a. H<sub>0</sub> : tidak ada lack of fit
- b. H<sub>1</sub> : ada lack of fit

Berdasarkan tabel ANOVA didapatkan lack of fit memiliki p-value 0.104 yang lebih besar dari 0.05 artinya gagal tolak H<sub>0</sub> (terima H<sub>0</sub>). Hal ini menunjukkan bahwa model yang dibuat telah sesuai.

**Uji Kenormalan**

Uji kenormalan dari residual data kekasaran permukaan (Ra) dilakukan di MINITAB 14. Nilai p-value lebih besar dari 0.05 yang artinya bahwa residual telah terdistribusi normal. Asumsi kenormalan residual pada suatu model regresi telah dipenuhi oleh model model regresi yang telah dibuat sehingga bisa digunakan. Hasil uji kenormalan dapat dilihat pada gambar 1.



**Gambar 1.** Uji Distribusi Normal Residual Hipotesis

**Uji Koefisien Determinasi ( $R^2$ )**

Besarnya koefisien determinasi dari regresi model full quadratic ditunjukkan oleh tabel 5 berikut ini.

**Tabel 5. Uji Regresi Full Quadratic**

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	1,10902	0,02067	53,648	0
X1	-0,06783	0,01371	-4,946	0,001
X2	-0,11103	0,01371	-8,096	0
X3	-0,09718	0,01371	-7,086	0
X1*X1	0,26827	0,01335	20,096	0
X2*X2	0,1693	0,01335	12,682	0
X3*X3	0,10567	0,01335	7,916	0
X1*X2	0,08625	0,01792	4,813	0,001
X1*X3	-0,07375	0,01792	-4,116	0,002
X2*X3	-0,00125	0,01792	-0,07	0,946
S=0,05069 R-Sq = 98,6% R-Sq(adj) = 97,4%				

Berdasarkan tabel 5 diatas prosentase dari total variasi yang dapat diterangkan oleh model ( $R^2$ ) sebesar 97.40%. Nilai ini cukup besar, yang berarti bahwa pendugaan model polynomial orde kedua memenuhi.

**Model Empiris Pengujian Model Full Quadratic**

Model Empiris Pengujian Model Full Quadratic dari nilai kekasaran permukaan berdasarkan model analisis *response surface* didapatkan model matematika sebagai berikut.

$$Y = 1.109 - 0.068(X_1) - 0.111(X_2) - 0.098(X_3) + 0.268 (X_1)^2 + 0.17 (X_2)^2 + 0.106 (X_3)^2 + 0.086X_1 X_2 - 0.073X_1 X_3 - 0.001 X_2 X_3 \quad (1)$$

Dimana:

Y : Kekasaran Permukaan (Ra)

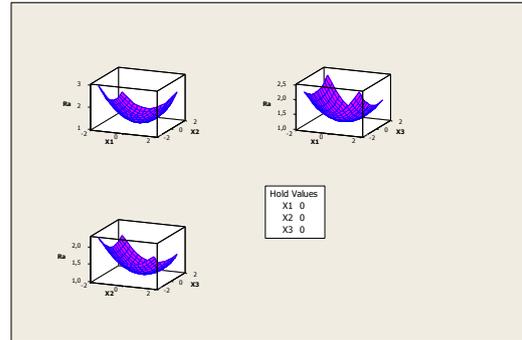
X<sub>1</sub> : Depth of Cut

X<sub>2</sub> : Panjang Pemotongan

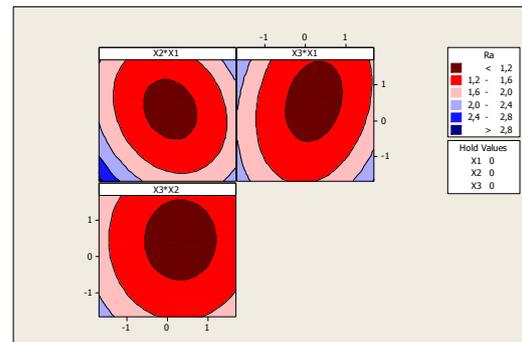
X<sub>3</sub> : Cutting Speed

**Surface Plot dan Counter Plot Model Full Quadratic**

Berdasarkan hasil analisis *response surface* model full quadratic akan ditunjukkan *contour plot* dan *surface plot* dari besarnya kekasaran permukaan. Masing-masing hasil analisis, *surface plot* kekasaran permukaan ditunjukkan pada gambar 2, sedangkan *contour plot* ditampilkan pada gambar 3 berikut.



**Gambar 2. Surface plot** dari nilai kekasaran permukaan



**Gambar 3. Contour plot** dari nilai kekasaran permukaan

**Analisis Pendekatan dengan Desirability Function**

Dari model yang telah diketahui dapat ditentukan jumlah cacat *side seam* yang akan diperoleh. Metode optimasi yang digunakan adalah pendekatan *desirability function* dengan MINITAB versi 14 [5].

Kriteria *desirability function* yang digunakan adalah *smaller the better*. Kriteria ini dilakukan untuk mengetahui nilai kekasaran permukaan pada pamater pemotongan bubut tertentu.

**Tabel 6. Analisis Pendekatan Desirability Function**

Global Solution	
X1	= 1.682
X2	= 1.682
X3	= 1.682
Predicted Responses	
Ra	= 1.01571; desirability = 0.98397
Composite Desirability	= 0.98397
Composite Desirability	= 0.821162

Untuk melakukan analisis dengan pendekatan *desirability function*, maka terlebih dahulu dimasukkan nilai batas dari

respon. Berdasarkan hasil percobaan dimasukkan nilai kekasaran permukaan terkecil yang didapat. Analisis *desirability function* sebagai hasil dari kombinasi variabel proses yang menghasilkan respon minimal ditunjukkan tabel 6.

Berdasarkan tabel 6 diketahui nilai *composite desirability* adalah 0.9837 berarti nilai terendah yang dikehendaki akan tercapai (dalam percobaan ini diharapkan mendekati nol) apabila nilai *composite desirability* sebesar 1.000. Berdasarkan hasil eksperimen kombinasi variabel optimasi didapatkan model empiris yang akan digunakan sebagai setting parameter pemotongan dimana diketahui  $X_1, X_2,$  dan  $X_3$  berada pada level 1.682.

### KESIMPULAN

Berdasarkan pendekatan optimasi *response surface* maka didapatkan kesimpulan bahwa *depth of cut*, panjang pemotongan, dan *cutting speed* yang optimal yaitu sebesar 1.26mm, 184.1mm, dan 130.46mm/min menghasilkan nilai kekasaran permukaan Ra terendah 1.0157. Pengujian model *full quadratic* memenuhi syarat dan teruji berdasarkan eksperimen. Model empiris untuk *full quadratic* yaitu:

$$Y = 1.109 - 0.068(X_1) - 0.111(X_2) - 0.098(X_3) + 0.268(X_1)^2 + 0.17(X_2)^2 + 0.106(X_3)^2 + 0.086X_1X_2 - 0.073X_1X_3 - 0.001X_2X_3$$

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Rochim, Taufiq., 1993, Teori & Teknologi Proses Permesinan, *Higher Education Development Support Project*, Jakarta.
- [2] Rochim, Taufik., 2001, Spesifikasi Metrologi & Kontrol Kualitas Geometrik, ITB, Bandung.
- [3] Arora, J.S., 1989, *Introduction to Optimum Design*. McGraw-Hill. Singapore.
- [4] D. C. Montgomery, R.H Myers., 2006, *Response Surface Methodology, : Process and Product Optimization Using Designed Experiments*, 2<sup>nd</sup> edition, Jhon Wiley.
- [5] Iriawan, Nur dan Septin Puji Astuti., 2006, *Mengolah Data Statistik Dengan Mudah Menggunakan Minitab 14*, ANDI, Yogyakarta.