

# Pengaruh Parameter Potong dan Geometri Pahat Terhadap Kekasaran Permukaan Pada Proses Bubut

**Ninuk Jonoaji**

Dosen Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Mesin – Universitas Kristen Petra

**Joni Dewanto**

Dosen Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Mesin – Universitas Kristen Petra

## Abstrak

Produk berkualitas diperoleh dari adanya proses pemesinan yang baik. Kekasaran permukaan adalah salah satu penyimpangan yang disebabkan oleh kondisi pemotongan dari proses pemesinan. Untuk itu perlu dilakukan percobaan untuk menganalisa pengaruh radius pahat, gerak pemakanan dan kecepatan potong terhadap kekasaran permukaan.

Percobaan dilakukan berdasarkan disain eksperimen dan analisis regresi. Gerak pemakanan memberikan pengaruh paling besar dan kecepatan potong memberikan pengaruh paling kecil terhadap kekasaran permukaan.

Kata kunci : Gerak pemakanan, kecepatan potong, nose radius, kekasaran permukaan

## Abstract

*High quality products are obtained from good machining process. Surface roughness is a result of cutting conditions. Experiment is performed to analyze the effect of nose radius, feed rate and cutting speed on surface and is based on experimental design and regression analysis.*

*The feed rate gives the greatest effect and cutting speed gives the smallest effect on surface roughness.*

*Keywords : feed rate, cutting speed, nose radius, surface roughness*

## 1. Pendahuluan

Untuk memperoleh produk bermutu berupa tingkat kepresisian yang tinggi serta kekasaran permukaan perlu didukung oleh proses pemesinan yang gerakannya dikontrol secara otomatis/elektris.

Proses pemesinan dilakukan pada suatu material baja S45C dengan menggunakan pahat Coated Carbide. Karakteristik kekasaran permukaan dipengaruhi oleh faktor kondisi pemotongan dan geometri pahat. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh faktor kecepatan potong, gerak pemakanan dan nose radius pahat terhadap kekasaran permukaan benda kerja, menentukan parameter potong terbesar pengaruhnya terhadap kekasaran dan menentukan model persamaan kekasaran permukaan.

Kondisi pemotongan divariasikan dengan jumlah tertentu dan kecepatan potong adalah konstan.

Kondisi pemotongan divariasikan dengan jumlah tertentu dan kecepatan potong adalah konstan. Benda kerja hasil pemesinan diukur kekasarnya dan pengolahan data dengan metode statistik.

## 2. Alat Percobaan

### Mesin bubut CNC:

- Merk/type : EMCO / 242 - TC
- Putaran spindel : 50 – 4500 rpm

### Tool :

- Tool holder : PCLNR/L 2020K12
- Pahat insert : CNMG 120404MA (U625)  
CNMG 120408MA (U625)  
CNMG 120412MA (U625)

### Benda kerja :

- Baja S45C (baja karbon dengan kadar karbon 0,45%).
- Dimensi panjang 90 mm dan diameter 25,4 mm.
- Hasil uji lab : Kekuatan tarik 67 kg/mm<sup>2</sup> dan kekerasan HB 187

### Surface Tester :

- Mitutoyo : type surfest 301 series 178

**Catatan** : Diskusi untuk makalah ini diterima sebelum tanggal 1 Agustus 1999. Diskusi yang layak muat akan diterbitkan pada Jurnal Teknik Mesin Volume 1 Nomor 2 Oktober 1999.

**Cairan pendingin :**

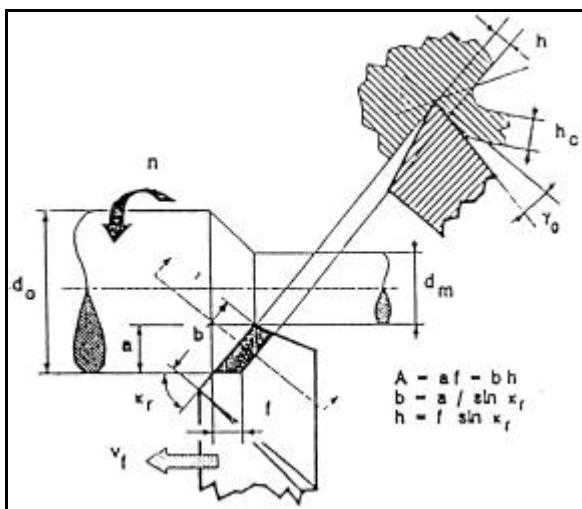
- Castrol Magna BMX 68 dengan perbandingan 1:40

**3. Dasar Teori**

Pada proses pemesian pahat bergerak relatif terhadap benda kerja dan menghasilkan geram (chip). Pergerakan berupa gerak potong dan gerak pemakanan.

Perumusan yang digunakan:

- Kecepatan potong :  $V_c = \pi n d / 1000$  m/menit
- Kecepatan pemakanan :  $V_f = f . n$  mm/menit
- Lebar pemotongan :  $b = a / \sin k_r^o$  mm
- Tebal geram sebelum terpotong :  $h = f . \sin k_r^o$  dimana :
- $n$  = putaran spindle (rpm)
- $d$  = diameter rata-rata (mm)
- $f$  = gerak makan (mm/rev)
- $a$  = kedalaman potong (mm)
- $k_r$  = sudut potong utama (°)



Gambar 1. Proses Bubut

Analisis variansi tiga faktorial digunakan sesuai dengan banyaknya parameter yaitu  $V_c$  (cutting speed),  $f$  (feed rate) dan  $nr$  (nose radius pahat). Tiap parameter mempunyai tiga tingkatan dengan replikasi sebanyak dua kali dan data teracak secara lengkap.

Model yang digunakan dalam penelitian :

$$Y_{ijkl} = u + V_{Ci} + f_j + nr_k + V_c f_{ij} + V_c nr_{ik} + f nr_{jk} + V_c f nr_{ijk} + e_{l(ijk)}$$

Keterangan:

- $Y_{ijkl}$  : Variabel respon karena pengaruh bersama tingkatan ke  $i$  dari faktor  $V_c$ , tingkatan ke  $j$  dari faktor  $f$  dan tingkatan ke  $k$  dari faktor  $nr$  pada observasi ke  $l$ .

- $u$  : pengaruh rata-rata keseluruhan
- $V_{Ci}$  : pengaruh faktor  $V_c$
- $f_j$  : pengaruh faktor  $f$
- $nr_k$  : pengaruh faktor  $nr$
- $V_c f_{ij}$  : pengaruh interaksi faktor  $V_c$  dan  $f$
- $V_c nr_{ik}$  : pengaruh interaksi faktor  $V_c$  dan  $nr$
- $f nr_{jk}$  : pengaruh interaksi faktor  $f$  dan  $nr$
- $V_c f nr_{ijk}$  : pengaruh interaksi faktor  $V_c$ ,  $f$  dan  $nr$
- $e_{l(ijk)}$  : pengaruh kesalahan acak, dengan asumsi  $e_{l(ijk)} \approx IIDN(0, \sigma^2)$

Analisa variansi yang dilakukan terhadap data yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel ANOVA.

Harga F-ratio dibandingkan dengan harga F-tabel. Bila F-ratio > F-tabel maka sumber perlakuan mempunyai pengaruh terhadap variabel yang diselidiki dan bila lebih kecil maka sumber perlakuan tidak atau sedikit memberi pengaruh pada variabel respon dengan  $\alpha$  yang telah ditentukan.

Variabel yang terdapat dalam persamaan regresi berupa variabel bebas dan variabel terikat. Model persamaan kekasaran secara teoritik:

$$R_a = 0,0321 f^2 / nr$$

Dianalogkan dengan model persamaan:

$$SR = C V_c^p f^q nr^r$$

dimana:

- $SR$  = nilai kekasaran permukaan ( $\mu m$ )
- $V_c$  = kecepatan potong (m/mnt)
- $f$  = gerak pemakanan(mm/rev)
- $nr$  = nose radius pahat (mm)
- $C, p, q, r$  = konstanta

Tabel 1. ANOVA untuk tiga faktorial

Sumber Variansi	Jumlah Kuadrat	Derajat kebebasan	Rata-rata Kuadrat	Fo-Ratio
A	$SS_A$	$a-1$	$MS_A = \frac{SS_A}{a-1}$	$F_0 = \frac{MS_A + MS_{ABC}}{MS_{AB} + MS_{AC}}$
B	$SS_B$	$b-1$	$MS_B = \frac{SS_B}{b-1}$	$F_0 = \frac{MS_B + MS_{ABC}}{MS_{AB} + MS_{BC}}$
C	$SS_C$	$c-1$	$MS_C = \frac{SS_C}{c-1}$	$F_0 = \frac{MS_C + MS_{ABC}}{MS_{AC} + MS_{BC}}$
AB	$SS_{AB}$	$(a-1)(b-1)$	$MS_{AB} = \frac{SS_{AB}}{(a-1)(b-1)}$	$F_0 = \frac{MS_{AB}}{MS_{AC}}$
AC	$SS_{AC}$	$(a-1)(c-1)$	$MS_{AC} = \frac{SS_{AC}}{(a-1)(c-1)}$	$F_0 = \frac{MS_{AC}}{MS_{BC}}$
BC	$SS_{BC}$	$(b-1)(c-1)$	$MS_{BC} = \frac{SS_{BC}}{(b-1)(c-1)}$	$F_0 = \frac{MS_{BC}}{MS_{AB}}$
ABC	$SS_{ABC}$	$(a-1)(b-1)(c-1)$	$MS_{ABC} = \frac{SS_{ABC}}{(a-1)(b-1)(c-1)}$	$F_0 = \frac{MS_{ABC}}{MS_B}$
ERROR	$SS_E$	$abc(n-1)$	$MS_E = \frac{SS_E}{abc(n-1)}$	
TOTAL	$SS_T$	$abcn-1$		

Keterangan :

$$\begin{aligned}
 - SS_T &= \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^n Y_{ijkl}^2 - \frac{Y_{...}^2}{abcn} \\
 - SS_A &= \sum_{i=1}^a \frac{H_{i..}^2}{bcn} - \frac{Y_{...}^2}{abcn} \\
 - SS_B &= \sum_{j=1}^b \frac{H_{.j.}^2}{acn} - \frac{Y_{...}^2}{abcn} \\
 - SS_C &= \sum_{k=1}^c \frac{H_{..k}^2}{abn} - \frac{Y_{...}^2}{abcn} \\
 - SS_{AB} &= \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \frac{H_{ij.}^2}{cn} - \frac{Y_{...}^2}{abcn} - SS_A - SS_B \\
 &= SS_{\text{subtotal}(AB)} - SS_A - SS_B \\
 - SS_{AC} &= \sum_{i=1}^a \sum_{k=1}^c \frac{H_{ik.}^2}{bn} - \frac{Y_{...}^2}{abcn} - SS_A - SS_C \\
 &= SS_{\text{subtotal}(AC)} - SS_A - SS_C \\
 - SS_{BC} &= \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \frac{Y_{.jk}^2}{an} - \frac{Y_{...}^2}{abcn} - SS_B - SS_C \\
 &= SS_{\text{subtotal}(BC)} - SS_B - SS_C \\
 - SS_{ABC} &= \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \frac{H_{ijk}^2}{n} - \frac{Y_{...}^2}{abcn} - SS_A - SS_B - SS_C - SS_{AB} - SS_{AC} - SS_{BC} \\
 &= SS_{\text{subtotal}(ABC)} - SS_A - SS_B - SS_C - SS_{AB} - SS_{AC} - SS_{BC} \\
 - SS_E &= SS_T - S_{\text{subtotal}(ABC)}
 \end{aligned}$$

Model regresi dalam bentuk log:  
 $\log SR = \log C + p \log Vc + q \log f + r \log nr$   
 Model matematik persamaan liniernya:

$$h = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_3 x_3$$

dimana:

- $\eta = \log SR$
- $x_1 = \log Vc, x_2 = \log f, x_3 = \log nr$
- $\alpha_i =$  parameter yang harus dicari

Dalam suatu penelitian kesalahan ( $\epsilon$ ) harus diperhitungkan, sehingga persamaan ditulis

$$Y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + e$$

$$Y^* = Y - e = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + e$$

Persamaan diatas diselesaikan dengan menggunakan bentuk matrik:

$$Y = Xb + e$$

dimana:

$$\begin{matrix}
 \begin{matrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{matrix} \\
 \mathbf{Y} = \begin{matrix} (nx1) \end{matrix}
 \end{matrix}
 =
 \begin{matrix}
 \begin{bmatrix} 1 & x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1k} \\ 1 & x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2k} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ 1 & x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nk} \end{bmatrix} \\
 \mathbf{X} = \begin{matrix} (mp) \end{matrix}
 \end{matrix}
 \begin{matrix}
 \begin{bmatrix} b_0 \\ b_1 \\ \vdots \\ b_k \end{bmatrix} \\
 \mathbf{b} = \begin{matrix} (px1) \end{matrix}
 \end{matrix}
 +
 \begin{matrix}
 \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ \vdots \\ e_n \end{bmatrix} \\
 \mathbf{e} = \begin{matrix} (nx1) \end{matrix}
 \end{matrix}$$

Keterangan:

- $n =$  jumlah observasi
- $k =$  jumlah variabel bebas
- $p = k + 1$

Dengan metode kuadrat kecil, didapat:

$$\beta' = (X^T X)^{-1} X^T Y$$

Maka perkiraan model regresi adalah:

$$Y = X\beta'$$

Untuk pengujian koefisien regresi secara serentak digunakan pendekatan hipotesis:

$$H_0 = \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_k = 0$$

$$H_1 = \beta_j \neq 0, \text{ untuk paling sedikitnya satu } j.$$

Tolak  $H_0$  bila F-ratio > F-tabel.

**Tabel 2. Analisa Variansi untuk nyata regresi dalam regresi berganda**

Sumber Variasi	Jumlah Kuadrat	Derajat Kebebasan	Rata-rata Kuadrat	Fo
Regresi	SS <sub>R</sub>	k	MS <sub>R</sub>	MS <sub>R</sub> /MS <sub>E</sub>
Error atau residual	SS <sub>E</sub>	n-k-1	MS <sub>E</sub>	
Total	SS <sub>T</sub>	n-1		

dimana:

- $SS_T = SS_R + SS_E$
- $SS_T = Y^T Y - (1/n) Y^T 1 1^T Y$
- $SS_R = \beta' X Y - (1/n) Y^T 1 1^T Y$
- $SS_E = Y Y - \beta' 1 X Y$

Keterangan:

- $SS_T =$  total jumlah kuadrat observasi
- $SS_T =$  jumlah kuadrat regresi
- $SS_E =$  jumlah kuadrat error

Pengujian residual berupa uji normal, uji identik dan uji independen. Koefisien Determinasi untuk mempertim-bangkan ketepatan sebuah model.

$$\begin{aligned}
 R^2 &= SS_R/SS_T \\
 &= 1 - SS_E/SS_T
 \end{aligned}$$

Nilai dari koefisien determinasi harus terletak  $0 \leq R^2 \leq 1$  yang menyatakan jumlah variabilitas dalam model regresi.

### 4. Prosedur Percobaan

Untuk mendapatkan data dari variasi kondisi pemesinan, perlu dilakukan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Mempersiapkan dimensi benda kerja
2. Menguji kekuatan tarik dan kekerasan material uji
3. Menentukan kondisi pemesinan:
  - Kecepatan potong:  $V_{C1} = 150 \text{ m/mnt}$   
 $V_{C2} = 175 \text{ m/mnt}$   
 $V_{C3} = 200 \text{ m/mnt}$
  - Gerak makan:  $f_1 = 0,1 \text{ mm/rev}$   
 $f_2 = 0,15 \text{ mm/rev}$   
 $f_3 = 0,12 \text{ mm/rev}$
  - Radius pahat:  $nr_1 = 0,4 \text{ mm}$   
 $nr_2 = 0,8 \text{ mm}$   
 $nr_3 = 1,2 \text{ mm}$
  - Kedalaman potong: 1 mm (konstan)
4. Membuat tabel disain eksperimen dan mem-variasikan tiap tingkatan pada tiap faktor.
5. Melakukan proses pemesinan 54 kali

- Dilakukan proses pemesinan dari diameter awal 25,4 mm menjadi 24 mm sepanjang 55 mm dengan kecepatan potong 175 mm/mnt dan gerak pemakanan 0,2 mm/rev.
  - Dilakukan proses pemesinan sesuai dengan desain eksperimen yang diinginkan dengan kedalaman potong 1 mm
6. Mengukur kekasaran permukaan benda kerja dengan surface tester dan di data 8 kali pada tempat berbeda
  7. Mengolah data dengan Software Statgraph

### 5. Data Hasil Pengukuran

Data Pengukuran Kekasaran Permukaan

**Tabel 3. Data Kekasaran Permukaan Dengan Nose Radius 0,4 mm (mm)**

f1			f2			f3		
Vc1	Vc2	Vc3	Vc1	Vc2	Vc3	Vc1	Vc2	Vc3
1,27	0,99	1,96	1,37	1,10	0,89	1,96	1,71	1,65
1,19	0,95	0,98	1,39	1,13	0,92	1,95	1,69	1,58
1,17	0,94	0,97	1,42	1,10	0,90	2,06	1,73	1,67
1,14	0,92	0,95	1,37	1,08	0,90	1,99	1,69	1,63
1,17	0,92	1,15	1,35	1,08	0,88	2,05	1,78	1,66
1,14	0,94	0,90	1,33	1,07	0,86	1,95	1,69	1,66
1,12	0,88	0,95	1,36	1,13	0,87	2,02	1,68	1,71
1,14	0,92	0,94	1,54	1,07	0,89	1,80	1,72	1,83
1,10	1,38	0,72	1,31	1,07	1,22	2,25	2,19	1,60
1,40	1,35	0,73	1,36	1,23	1,15	2,18	2,32	1,60
1,17	1,29	0,68	1,38	1,55	1,16	2,23	2,17	1,71
0,88	1,22	0,72	1,38	1,37	1,17	2,16	2,23	1,63
1,25	1,44	0,68	1,41	1,29	1,12	2,21	2,19	1,60
0,91	1,33	0,75	1,45	1,35	1,20	2,16	2,17	1,72
1,44	1,27	0,74	1,44	1,15	1,11	2,32	2,19	1,61
1,09	1,52	0,73	0,40	0,78	1,19	2,21	2,15	1,66

**Tabel 4. Data Kekasaran Permukaan dengan Nose Radius 0,8 mm (mm)**

f1			f2			f3		
Vc1	Vc2	Vc3	Vc1	Vc2	Vc3	Vc1	Vc2	Vc3
0,77	0,68	0,61	0,80	0,91	0,69	1,55	1,43	1,23
0,70	0,71	0,55	0,89	0,92	0,68	1,58	1,37	1,28
0,72	0,79	0,55	0,84	0,88	0,61	1,43	1,41	1,25
0,75	0,71	0,45	0,90	0,88	0,65	1,40	1,35	1,28
0,75	0,69	0,59	0,87	0,82	0,72	1,46	1,25	1,18
1,30	0,66	0,51	0,85	0,87	0,76	1,47	1,31	1,31
0,70	0,64	0,55	0,98	0,85	0,66	1,45	1,48	1,29
0,72	0,67	0,54	0,92	0,86	0,62	1,40	1,46	1,27
0,95	0,68	0,51	0,82	0,89	0,66	1,52	1,46	1,43
0,67	0,61	0,55	0,85	0,80	0,68	1,53	1,47	1,50
1,01	0,60	0,55	0,80	0,79	0,72	1,48	1,50	1,47
0,71	0,62	0,53	0,83	0,79	0,68	1,58	1,37	1,50
1,18	0,57	0,61	0,92	0,85	0,76	1,50	1,66	1,49
0,94	0,57	0,53	0,86	0,80	0,74	1,48	1,57	1,62
0,50	0,63	0,55	0,81	0,76	0,73	1,45	1,61	1,43
0,99	0,56	0,54	0,80	0,72	0,72	1,60	1,49	1,40

**Tabel 5. Data Kekasaran Permukaan dengan Nose Radius 1,2 mm (mm)**

f1			f2			f3		
Vc1	Vc2	Vc3	Vc1	Vc2	Vc3	Vc1	Vc2	Vc3
0,60	0,59	0,62	0,80	0,83	0,65	1,20	1,22	1,08
0,56	0,67	0,63	0,75	0,74	0,64	1,19	1,04	1,11
0,42	0,61	0,62	0,67	0,78	0,66	1,18	1,24	1,08
0,45	0,68	0,61	0,73	0,82	0,61	1,17	1,10	1,06
0,41	0,56	0,54	0,63	0,73	0,63	1,11	1,10	1,06
1,69	0,57	0,56	0,69	0,74	0,64	1,12	1,14	1,06
0,44	0,55	0,54	0,65	0,69	0,67	1,16	1,04	1,00
0,43	0,62	0,62	0,67	0,68	0,63	1,17	1,13	1,04
0,77	0,59	0,49	0,79	0,72	0,70	1,10	1,11	0,86
0,74	0,56	0,44	0,82	0,69	0,72	1,08	1,09	0,92
0,70	0,62	0,50	0,80	0,66	0,69	1,92	1,02	0,95
0,71	0,58	0,49	0,78	0,69	0,70	1,15	0,91	1,12
0,67	0,59	0,46	0,80	0,74	0,72	1,07	0,96	1,06
0,71	0,47	0,43	0,81	0,76	0,63	1,28	0,95	0,94
0,71	0,68	0,45	0,76	0,70	0,75	1,54	0,91	0,89
0,69	0,73	0,44	0,74	0,71	0,70	1,28	0,99	1,01

### 6. Analisa Data

Dilakukan analisa regresi serta mencari model persamaan dengan tingkat signifikansi 5% ( $\alpha = 0,05$ ) dan dengan bantuan Software Statgraph.

#### 1. Analisa Regresi

Analisa regresi digunakan untuk menghitung koefisien regresi dari tiap variabel bebas. Proses perhitungan dengan Statgraph dan di dapat hasil sebagai berikut (lihat tabel 6)

Hasil analisa dapat ditulis :

$$h = 2,397536 - 0,503546 X_1 + 0,930102 X_2 - 0,758043 X_3$$

Bila persamaan di atas dikembalikan ke persamaan umum maka di dapat model regresi :

$$SR = 249,6640435 nr^{-0,503546} f_0,930102 Vc^{-0,758043}$$

#### 2. Pengujian Koefisien Regresi Secara Serentak

Pengujian Hipotesis untuk pengujian koefisien secara serentak adalah sebagai berikut :

$$- H_0 = \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_k = 0$$

$$. H_1 = \beta_j \neq 0, \text{ untuk paling sedikitnya satu } j.$$

Perhitungan dengan menggunakan Statgraph dan menghasilkan :

Analysis of Variance for the Full Regression					
Source	Sum of Squares	DF	Mean Square	F-Ratio	P-value
Model	1.32456	3	0.441522	102.387	.0000
Error	0.215614	50	0.00431229		
Total (Corr.)	1.54018	53			
R-squared = 0.860007			Std. Error of est. = 0.065668		
R-squared (Adj. For d.f.) = 0.851607			Durbin-Watson statistic = 1.13433		

**Tabel 6. Analisa Regresi**

Model fitting results for : REGRESI.rough2				
Independent variable	coefficient	Std. error	t-value	Sig. Level
CONSTANT	2.397536	0.396964	6.0397	0.0000
REGRESI.nose	-0.503546	0.045362	-11.1005	0.0000
REGRESI.feed	0.930102	0.072367	12.8525	0.0000
REGRESI.speed	-0.758043	0.175049	-4.3305	0.0001
R-SQ. (ADJ.) = 0.8516    SE = 0.065668    MAE = 0.052179    DurWat = 1.134				
Previously :	0.0000	0.000000	0.000000	0.000
54 observations fitted, forecast (s) computed for 0 missing val. Of dep. Var.				

Harga F-tabel yang diperoleh adalah  $F_{0,05}(3,23) = 3,03$ , karena F-ratio > F-tabel maka disimpulkan terdapat paling sedikitnya satu variabel bebas memberikan sumbangan nyata pada model tersebut.

**3. Koefisien Determinasi**

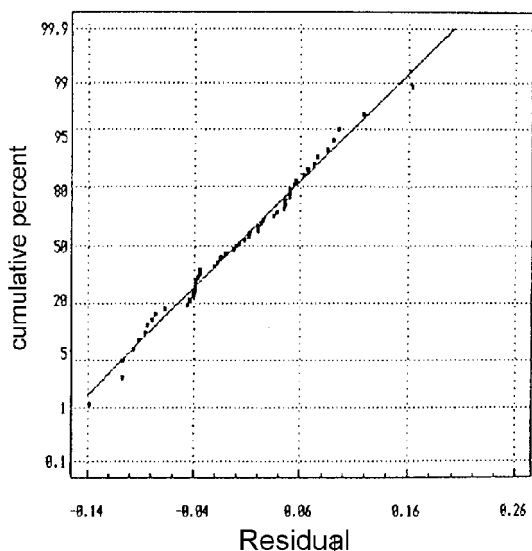
Dari hasil perhitungan nyata regresi dapat dihitung besar dari koefisien determinasi yaitu :  $R^2 = SS_R/SS_T = 1,32456/1,54018 = 0,86$

Hasil ini menunjukkan bahwa 86% variabilitas dalam data dapat dijelaskan oleh model tersebut.

**4. Uji residual**

Pengujian ini bertujuan membuktikan  $\delta_{l(ijk)} \approx IIDN(0, \delta^2)$ .

Normal Probability Plot

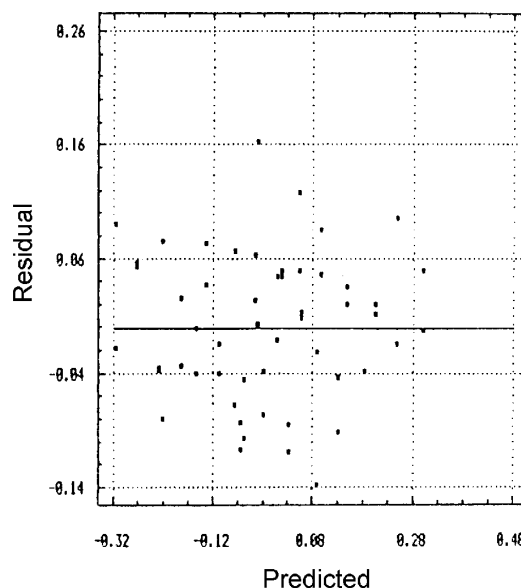


**Gambar 2. Grafik normal probability**

Dari gambar 2 terlihat residual terletak disekitar garis lurus, maka disimpulkan bahwa residual mempunyai distribusi normal.

Gambar 3 menunjukkan bahwa residual tidak memperlihatkan kecenderungan tertentu

sehingga disimpulkan residual-residual tersebut homogen.



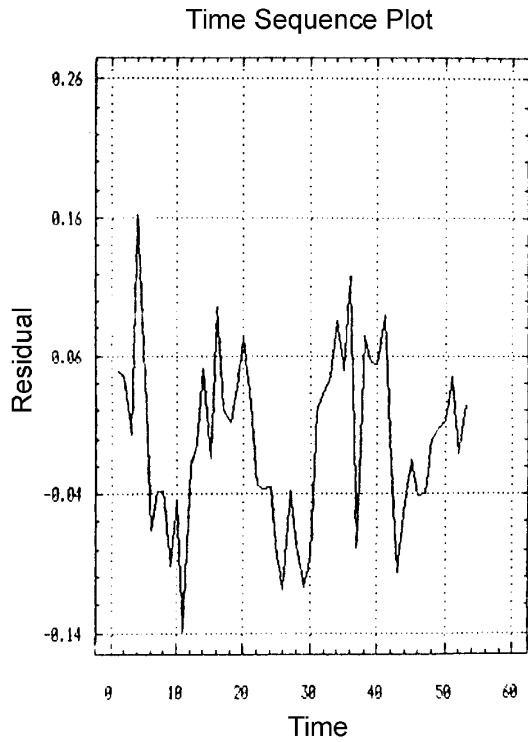
**Gambar 3. Grafik residual terhadap prediksi**

Grafik pada gambar 4 menunjukkan bahwa tidak terdapat suatu kecenderungan tertentu sehingga disimpulkan residual tersebut adalah independen.

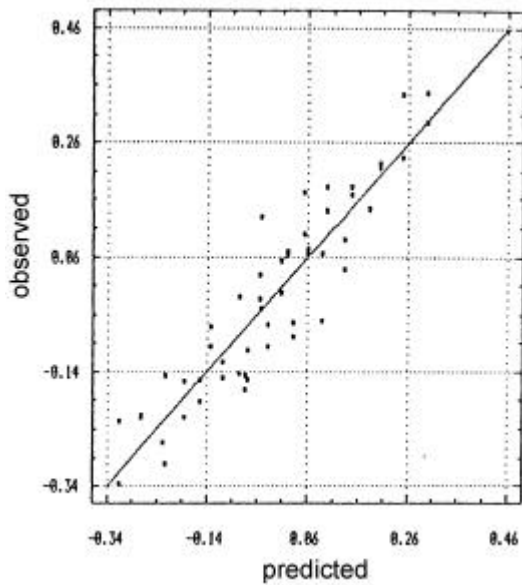
**5. Analisa Grafis**

Dari gambar 6 terlihat bahwa dengan memperbesar nilai gerak pemakanan akan memperbesar nilai  $R_a$  pada semua nose radius pada tiap kecepatan potong. Pada setiap nilai dari gerak pemakanan, dengan memperbesar nose radius akan menurunkan nilai  $R_a$ .

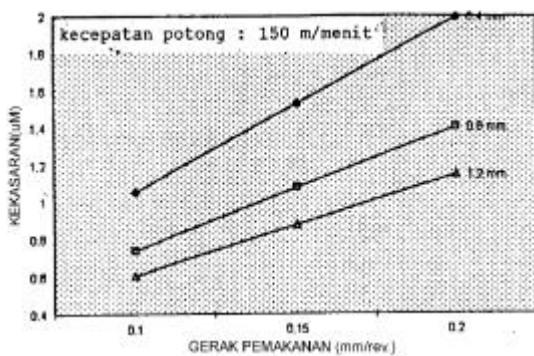
Dari gambar 7 terlihat dengan bertambahnya nilai dari gerak pemakanan akan memperbesar nilai  $R_a$  pada semua nilai kecepatan potong pada tiap radius. Pada nilai gerak pemakanan yang sama, memperbesar kecepatan potong akan menurunkan nilai  $R_a$ .



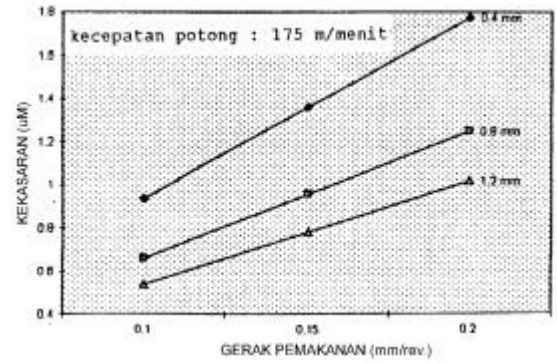
Gambar 4 Gambar residual terhadap waktu



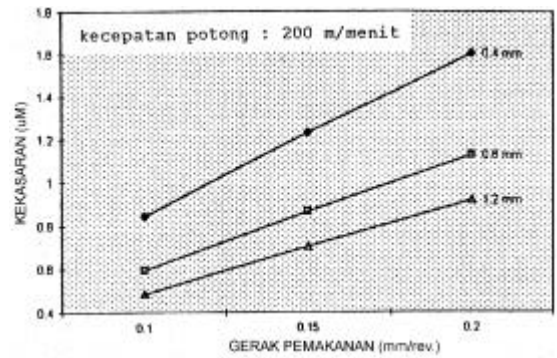
Gambar 5. Grafik prediksi terhadap observasi



(a)

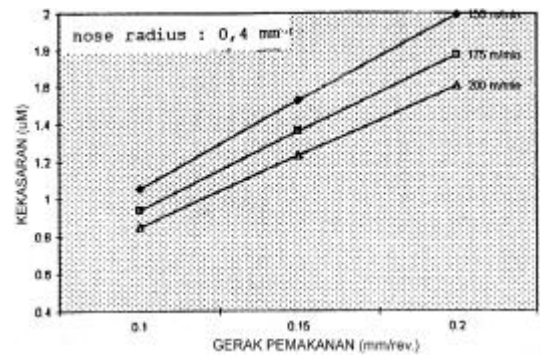


(b)

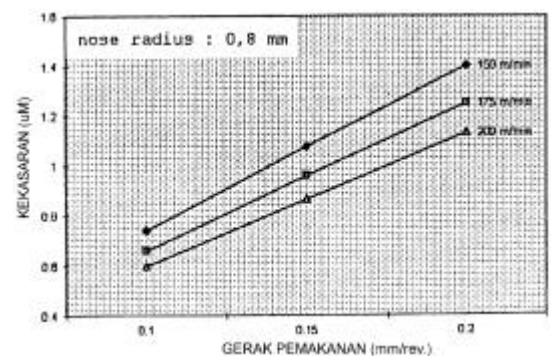


(c)

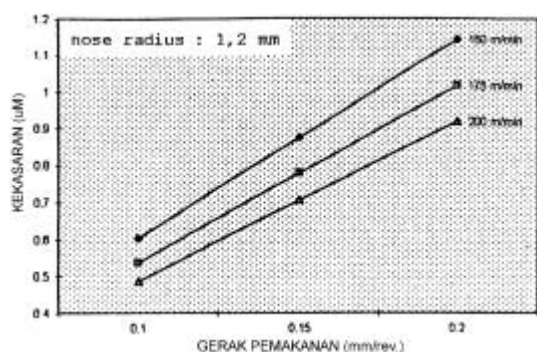
Gambar 6. Grafik prediksi kekasaran terhadap gerak pemakanan dengan nose radius bervariasi.



(a)

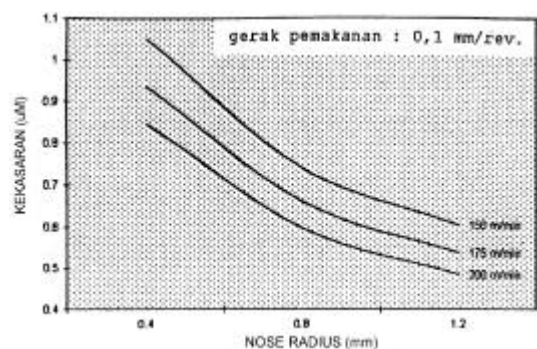


(b)

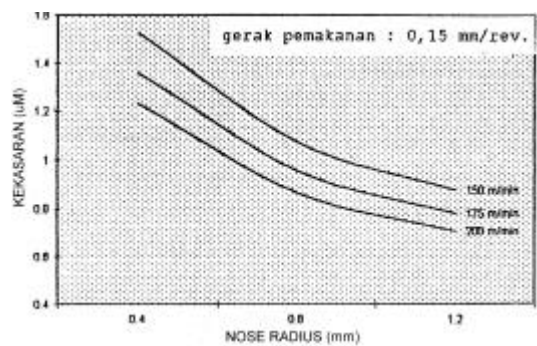


(c)

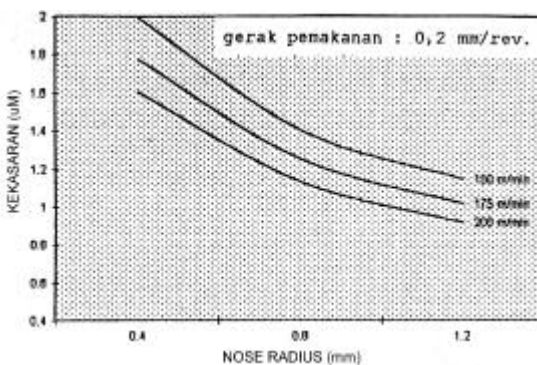
Gambar 7. Grafik prediksi kekasaran terhadap gerak pemakanan dengan kecepatan potong bervariasi.



(a)



(b)



(c)

Gambar 8. Grafik prediksi kekasaran terhadap nose radius dengan kecepatan potong bervariasi

Dari gambar 8 terlihat bahwa dengan memperbesar nose radius akan menurunkan nilai  $R_a$  pada semua kecepatan potong pada tiap gerak pemakanan. Pada nose radius yang sama dengan semakin bertambah besarnya kecepatan potong akan menurunkan nilai  $R_a$ .

### 7. Kesimpulan

Dari hasil analisis data kekasaran permukaan didapatkan model persamaan regresi sebagai berikut :

$$R_a = 249,6640435 nr^{-0,503546} f^{0,930102} V_C^{-0,758043}$$

Faktor yang paling besar pengaruhnya adalah gerak makan dan yang paling kecil pengaruhnya adalah kecepatan potong.

Gerak makan bertambah besar maka akan menaikkan nilai  $R_a$  sedangkan radius pahat (nose radius) dan kecepatan potong yang bertambah besar akan menurunkan nilai  $R_a$ .

### Daftar Pustaka

1. Boothroyd, G., *Fundamental of Metal machining and Machine Tool*, Hemisphere Publishing Co, 1975
2. Montgomery, D.C., and Peck, E.A., *Introduction to Linear Regression Analysis*, New York, 1982.
3. Rochim, T. *Teori dan Teknologi Proses Pemesinan*, Laboratorium Teknik Produksi dan Metrologi Industri, Jurusan Teknik Mesin, FTI, ITB, Bandung, 1993.
4. William, W.H., and Montgomery, D.C., *Probabilitas dan Statistik dalam Ilmu Rekayasa dan Manajemen*, edisi kedua.
5. Apora Indusma, *Katalog Tool*, Mitsubishi Carbide
6. Rochim, T., dan Wirjomartono, S.H., *Spesifikasi Geometris Metrologi Industri dan Kontrol Kualitas*, Laboratorium Teknik Industri dan Metrologi Industri, Jurusan Teknik Mesin, FTI, ITB, Bandung, 1985.