

MODEL MATEMATIK UNTUK MEMPREDIKSI KEKASARAN PERMUKAAN HASIL PROSES CNC BUBUT TANPA PENDINGINAN

Herman Saputro

Abstract

Turning is one of the machining operations that widely used in variety of manufacturing industries. The quality of surface plays very important role in the performance of turning that significantly improves fatigue strength, and corrosion resistance. It is also affects functional attributes of parts such as light reflection, coating and heat treatment. This research aim to develop a mathematical model to predict surface roughness based on machining parameter selected (spindle speed, feed, and depth of cut) with cutting condition dry. The experiment was tested by using Trun Master TMC 320 Sinumerik 802 S machining center. After 27 specimens were cut for experimental purposes, they were measured off-line with a surface roughness tester to obtain the roughness average value. The surface roughness (R_a) could be predicted effectively by applying spindle speed (n), feed rate (V_f) and depth of cut (a) in the multiple regression model as: $Y = -0.1228 - 0.0001 n + 20.940 V_f + 0.7444 a$. The average percentage deviation of the testing set was 6.429 % for training data set This showed that the statistical model could predict the surface roughness with about 93.571 % accuracy of the testing data set

Keywords: CNC Turning, Surface Roughness, Multiple Linier Regression

PENDAHULUAN

Mesin CNC bubut biasa disebut juga mesin *CNC Lathe* atau *CNC turning* termasuk mesin perkakas yang sering dipakai pada proses permesinan. Mesin CNC banyak sekali dipakai di industri-industri manufaktur diantaranya industri otomotif dan industri kedirgantaraan. Mesin CNC digunakan untuk membuat komponen – komponen otomotif, poros, cetakan blok mesin, cetakan ruang bakar, dan pekerjaan permesinan yang sifatnya meratakan permukaan, membuat lubang, ulir dan tap ulir.

Produk hasil permesinan mesin CNC bubut dikatakan berkualitas jika memenuhi persyaratan: 1) ukuran produk tepat atau presisi sesuai dengan permintaan gambar kerja dan 2) tingkat kekasaran yang sesuai dengan permintaan gambar kerja.

Kualitas dari kekasaran permukaan sangat berpengaruh terhadap performan dari komponen atau produk yang dihasilkan dari proses permesinan, diantaranya: umur lelah, pemantulan cahaya, pengecatan, pelapisan dan perlakuan panas [2]. Sehingga kekasaran permukaan menjadi tuntutan yang harus dipenuhi oleh benda hasil permesinan.

Tingkat kekasaran permukaan hasil proses CNC bubut dapat dipengaruhi oleh dua variabel yaitu: 1) Variabel yang masuk dalam program seperti: kecepatan pemakanan (f),

*) Dosen S-1 Prodi. Pend. Teknik Mesin, Jurusan Pendidikan Teknik dan Kejuruan, FKIP, UNS

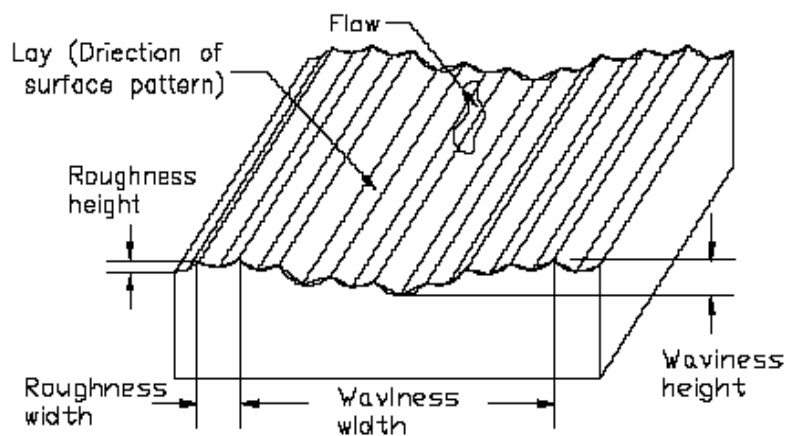
kecepatan spindle (n) dan kedalaman pemakanan (a), dan 2) Variabel yang tidak masuk dalam program seperti: geometri pahat, jumlah mata sayat pahat, material pahat dan material benda kerja.

Untuk variabel diluar program dapat diatasi dengan pemilihan pahat dan parameter permesinan lain yang sesuai dengan karakteristik bahan benda kerja, tetapi untuk variabel yang masuk dalam program (*Cutting Parameter*) belum ada pedoman yang dapat dipakai sebagai acuan untuk mendapatkan tingkat kekasaran tertentu, khususnya untuk mesin *CNC Turn Master TMC 320* dengan control *Siemens 802S* yang banyak dimiliki oleh bengkel-bengkel permesinan, SMK, BLKI dan perguruan tinggi.

Dari uraian diatas maka diperlukan penelitian yang dapat menghasilkan suatu model matematik yang mampu memprediksi tingkat kekasaran permukaan benda hasil proses CNC bubut, sehingga mempermudah *programmer* dan operator mesin CNC bubut dalam menentukan parameter-parameter yang diperlukan untuk memproduksi benda kerja yang sesuai dengan spesifikasi yang diminta gambar kerja dan juga untuk mempermudah dalam perencanaan biaya produksi dengan mesin CNC bubut.

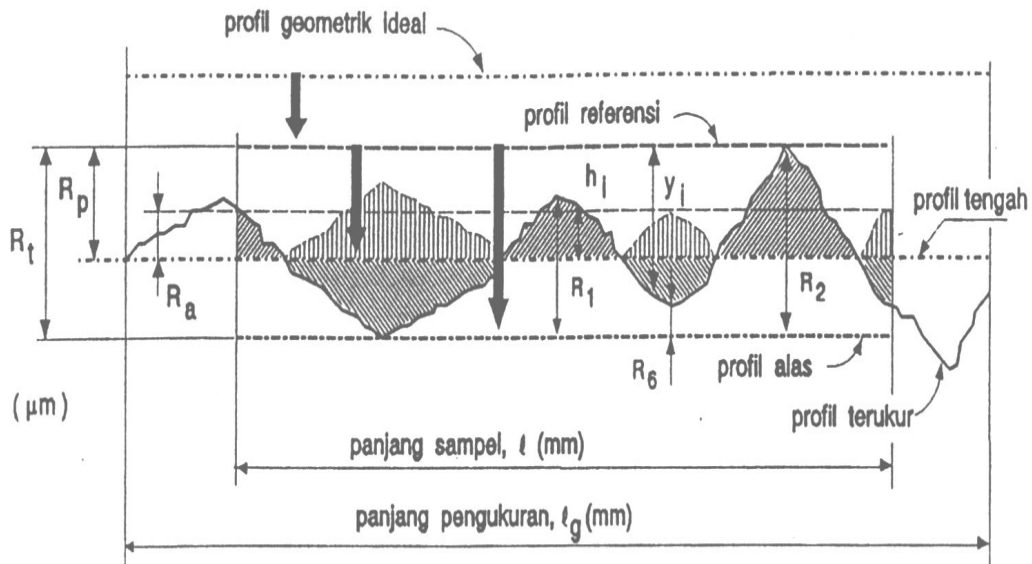
LANDASAN TEORI

Menurut Vorburger, T.V. dan J. Raja, kekasaran terdiri dari ketidakraturan dari tekstur permukaan, yang pada umumnya mencakup ketidakraturan yang diakibatkan oleh perlakuan selama proses produksi. Contoh bentuk tektur permukaan benda kerja dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Tekstur permukaan benda kerja

Menurut Taufiq Rochim [4], kekasaran akhir permukaan benda bisa ditetapkan dari banyak parameter. Parameter yang biasa dipakai dalam proses produksi untuk mengukur kekasaran permukaan adalah kekasaran rata-rata (R_a). Parameter ini adalah juga dikenal sebagai perhitungan nilai kekasaran AA (*arithmetic average*) atau CLA (*center line average*). R_a bersifat universal dan merupakan parameter internasional kekasaran yang paling sering digunakan.



Gambar 2. Tekstur permukaan benda kerja

Berdasarkan profil-profil yang diterangkan diatas, dapat didefinisikan beberapa parameter permukaan, yaitu

- (1) Kekasaran total (*peak to valley height / total height*), R_t (μm) adalah jarak antara profil referensi dengan profil alas.
- (2) Kekasaran perataan (*depth of surface smoothness / peak to mean line*), R_p (μm) adalah jarak rata-rata antara profil referensi dengan profil terukur.
- (3) Kekasaran rata-rata aritmetik (*mean roughness index / center line average, CLA*), R_a (μm) adalah harga rata-rata aritmetik bagi harga absolutnya jarak antara profil terukur dengan profil tengah.

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |h_1| dx \quad (1)$$

- (4) Kekasaran rata-rata kuadrat (*root mean square height*), R_q (μm) adalah akar bagi jarak kuadrat rata-rata antara profil terukur dengan profil tengah.

$$Rq = \sqrt{\frac{1}{L} \int_0^L h_i^2 dx} \quad (2)$$

- (5) Kekasaran total rata-rata, R_z (μm), merupakan jarak rata-rata profil alas ke profil terukur pada lima puncak tertinggi dikurangi jarak rata-rata profil alas ke profil terukur pada lima lembah terendah.

$$R_z = \sum \frac{[R1 + R2 + \dots + R5 - R6 \dots - R10]}{5} \quad (3)$$

Sedangkan angka kekasaran permukaan *roughness number* dan *panjang standard sample* diklasifikasikan menjadi 12 angka kelas Tabel 1.

Tabel 1 : Angka kekasaran menurut ISO atau DIN 4763: 1981

Harga kekasaran, Ra (μm)	Angka kelas kekasaran	Panjang sampel (mm)
50	N12	8
25	N11	
12,5	N10	2,5
6,3	N9	
3,2	N8	0,8
1,6	N7	
0,8	N6	
0,4	N5	
0,2	N4	0,25
0,1	N3	
0,005	N2	
0,025	N1	0,08

Penelitian-penelitian sebelumnya telah banyak membahas tentang parameter dan hubungan parameter terkait proses bubut dan prediksi kekasarannya. Sebuah persamaan yang sangat populer dalam memprediksi kekasaran permukaan diperkenalkan oleh Grover [6] dan Boothroyd [5]:

$$R_i = \frac{f^2}{32r} \quad (4)$$

Dimana:

R_i : kekasaran rata-rata (in atau mm)

f : *Feed* (in/rev atau mm/rev)

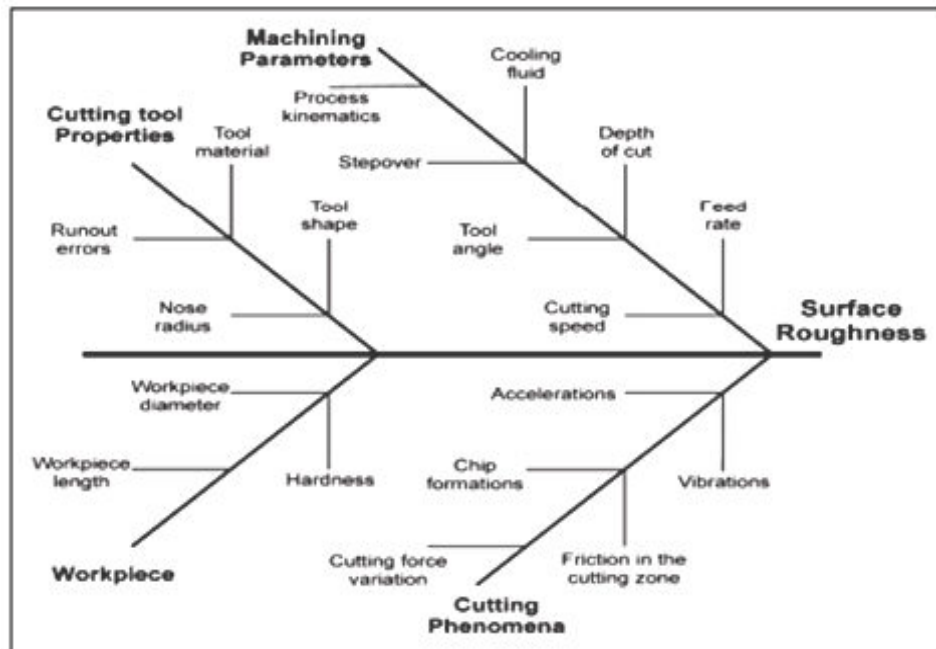
r : Radius pahat (in atau mm)

Model persamaan *surface roughness* (4) mengambil asumsi bahwa *nose radius* pahat besar dan *feed* rendah. Sedangkan untuk *nose radius* yang kecil dan *feed* yang besar dapat menggunakan model persamaan *surface roughness* (5) yang diperkenalkan oleh Boothroyd dan Knight.

$$R_i = \frac{f}{4(\cot \alpha + \cot \beta)} \quad (5)$$

Dimana : α dan β adalah *major* dan *Cutting edge angle*.

Feng, C-X., Wang, J., and Wang, J-S. mencoba melakukan studi untuk membandingkan antara persamaan 4 dengan persamaan 5 pada proses bubut. Hasil dari studi yang mereka lakukan menyatakan bahwa persamaan 4 lebih akurat dibandingkan dengan persamaan 5.



Gambar 3. Diagram *Fishbone* factor-faktor yang berpengaruh terhadap kekasaran permukaan

Kedua persamaan di atas mendasarkan prediksi kekasaran hanya pada dua variable yaitu *feed* dan *nose radius* padahal dari diagram Isikawa (*fishbone diagram*) terdapat

beberapa faktor yang dapat mempengaruhi kekasaran permukaan hasil proses permesinan. Oleh karena itu hingga saat ini studi tentang kekasaran permukaan masih banyak dilakukan.

METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini menggunakan material baja ST 40 dengan nilai kekerasan 55,7 HRA. Sedangkan peralatan dan perlengkapan pengujian yang digunakan seperti yang terlihat pada Tabel 2 berikut ini:

Tabel 2 Perlengkapan pengujian

ALAT	TIPE/MEREK
Pahat	TAEGUTEC TNMG 160404 FG CT 3000
Mesin bubut CNC	<i>CNC LATHE TRUN MASTER TMC 320S</i>
Alat Uji Kekasaran	<i>Mitutoyo Surfetest SJ-201P Roughness Tester</i>

Penelitian ini terdiri dari 3 faktor dan tiap-tiap faktor mempunyai level sebanyak 3 level, gambaran jelasnya bisa dilihat pada table 3.

Tabel 3 Faktor dan level penelitian

NO.	FAKTOR	LEVEL 1	LEVEL 2	LEVEL 3
1	Kecepatan pemotongan (m/menit)	53,4 m/menit	145,2 m/menit	232,4 m/menit
	Kecepatan spindel (Rpm)	(460 Rpm)	(1250 Rpm)	(2000 Rpm)
2	Kecepatan pemotongan (mm/rev)	0.07 mm/rev	0.11 mm/rev	0.2 mm/rev
3	Kedalaman pemotongan (mm)	0,25 mm	0,5 mm	1. mm
4	Kondisi pemotongan	Kering		

HASIL DAN PEMBAHASAN

Persamaan garis regresi merupakan inti dari penelitian ini, yang kemudian akan digunakan sebagai model matematik yang dapat digunakan untuk memprediksi kekasaran permukaan yang dihasilkan oleh variasi *rpm*, *feed rate* dan *depth* pada permesinan CNC *Bubut* tanpa pendingin. Berdasarkan *output* SPSS persamaan garis regresi ganda dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$Y = -0.1228 - 0.0001 n + 20.940 Vf + 0.7444 a$$

Dimana

Y = kekasaran permukaan (μm)

n = kecepatan spindel (rpm)

Vf= kecepatan pemakanan (mm/rev)

a = Kedalaman pemotongan (mm)

Tabel 4 Hasil Penelitian Nilai Kekasaran Permukaan Pada
Permesinan CNC Bubut Tanpa Pendingin (Kering)

Experiment	Cutting Speed (Rpm)	Feed rate (mm/rev)	Depth of cut (mm)	Cutting Condition	Rata-Rata
1	460	0.07	0.25	Dry	1.43
2	460	0.07	0.5	Dry	1.83
3	460	0.07	1	Dry	2.05
4	460	0.11	0.25	Dry	2.38
5	460	0.11	0.5	Dry	2.52
6	460	0.11	1	Dry	3.20
7	460	0.2	0.25	Dry	4.25
8	460	0.2	0.5	Dry	4.68
9	460	0.2	1	Dry	4.80
10	1250	0.07	0.25	Dry	1.30
11	1250	0.07	0.5	Dry	1.51
12	1250	0.07	1	Dry	1.92
13	1250	0.11	0.25	Dry	1.85
14	1250	0.11	0.5	Dry	2.24
15	1250	0.11	1	Dry	2.17
16	1250	0.2	0.25	Dry	3.84
17	1250	0.2	0.5	Dry	4.36
18	1250	0.2	1	Dry	4.54
19	2000	0.07	0.25	Dry	1.50
20	2000	0.07	0.5	Dry	1.70
21	2000	0.07	1	Dry	2.12
22	2000	0.11	0.25	Dry	2.30
23	2000	0.11	0.5	Dry	2.42

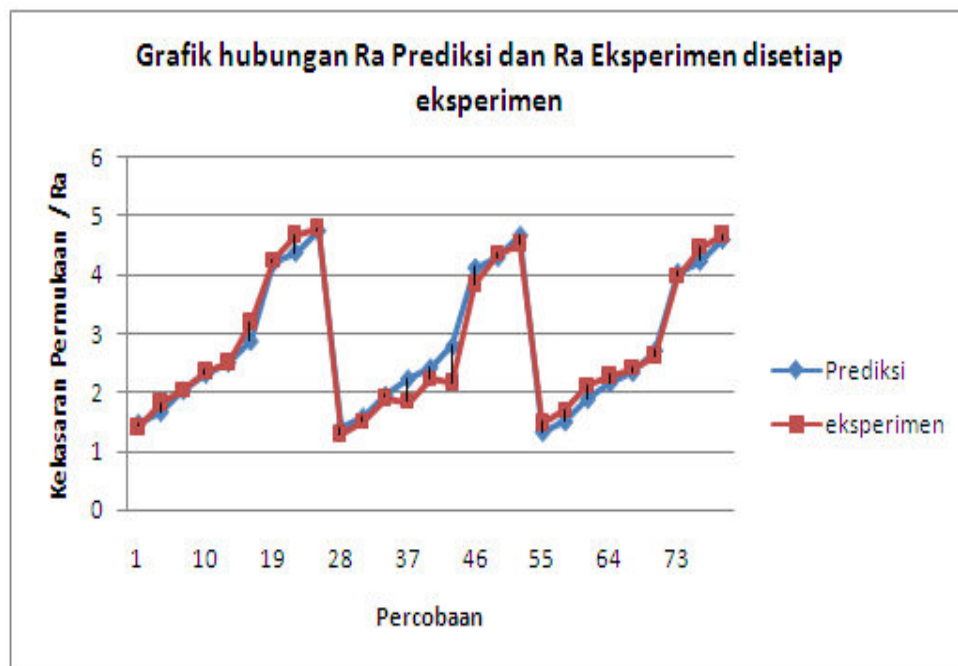
24	2000	0.11	1	Dry	2.63
25	2000	0.2	0.25	Dry	3.98
26	2000	0.2	0.5	Dry	4.47
27	2000	0.2	1	Dry	4.67

Persamaan garis regresi tersebut selanjutnya divalidasi dengan hasil eksperimen untuk mengetahui berapa rata-rata persentase deviasi yang terjadi.

Tabel 5. Hasil validasi antara harga kekasaran permukaan hasil eksperimen dengan hasil prediksi berdasar persamaan garis regresi pada pemesian CNC bubut tanpa pendingin.

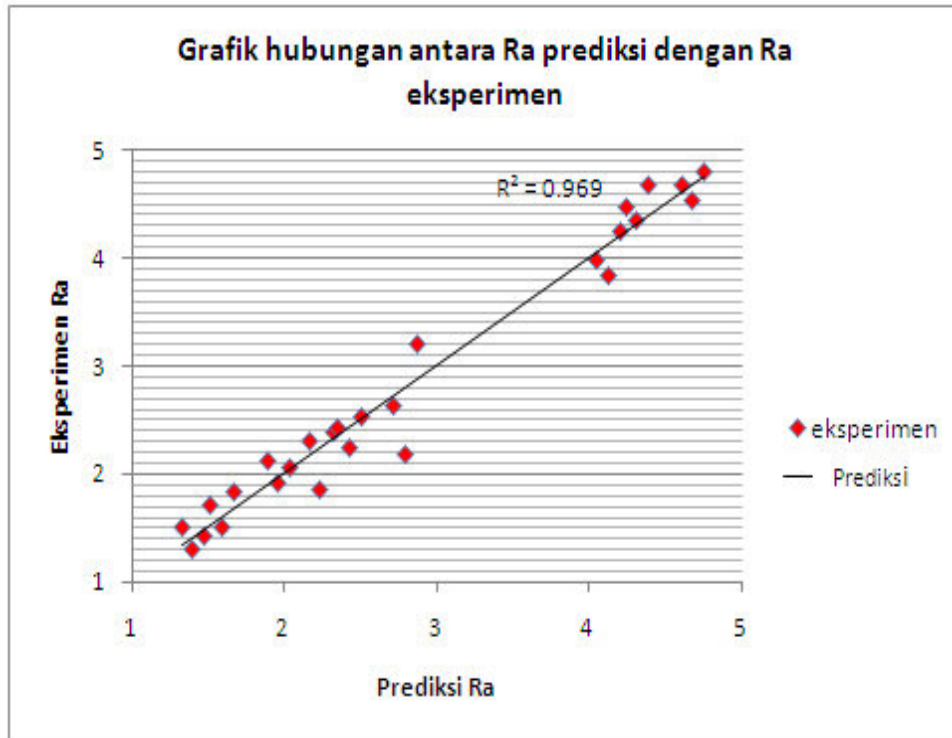
Eksperi Men	Cutting Speed (Rpm)	Feed rate (mm/rev)	Depth of Cut (mm)	Y = - 0.12278 - 0.0001n + 20.9403Vf + 0.7444a				Prediksi	Eksperimen	Rata-rata Presentase Deviasi (%)
				-0.12278	-0.0001(n)	20.9403(Vf)	0.7444(a)			
1	460	0.07	0.25	-0.12278	-0.0464	1.4658	0.1861	1.48	1.43	3.691
4	460	0.07	0.5	-0.12278	-0.0464	1.4658	0.3722	1.67	1.83	8.804
7	460	0.07	1	-0.12278	-0.0464	1.4658	0.7444	2.04	2.05	0.433
10	460	0.11	0.25	-0.12278	-0.0464	2.3034	0.1861	2.32	2.38	2.505
13	460	0.11	0.5	-0.12278	-0.0464	2.3034	0.3722	2.51	2.52	0.536
16	460	0.11	1	-0.12278	-0.0464	2.3034	0.7444	2.88	3.20	10.040
19	460	0.2	0.25	-0.12278	-0.0464	4.1881	0.1861	4.21	4.25	1.058
22	460	0.2	0.5	-0.12278	-0.0464	4.1881	0.3722	4.39	4.68	6.172
25	460	0.2	1	-0.12278	-0.0464	4.1881	0.7444	4.76	4.80	0.764
28	1250	0.07	0.25	-0.12278	-0.1260	1.4658	0.1861	1.40	1.30	7.935
31	1250	0.07	0.5	-0.12278	-0.1260	1.4658	0.3722	1.59	1.51	5.249
34	1250	0.07	1	-0.12278	-0.1260	1.4658	0.7444	1.96	1.92	2.161
37	1250	0.11	0.25	-0.12278	-0.1260	2.3034	0.1861	2.24	1.85	21.122
40	1250	0.11	0.5	-0.12278	-0.1260	2.3034	0.3722	2.43	2.24	8.343
43	1250	0.11	1	-0.12278	-0.1260	2.3034	0.7444	2.80	2.17	28.991
46	1250	0.2	0.25	-0.12278	-0.1260	4.1881	0.1861	4.13	3.84	7.432
49	1250	0.2	0.5	-0.12278	-0.1260	4.1881	0.3722	4.31	4.36	1.112
52	1250	0.2	1	-0.12278	-0.1260	4.1881	0.7444	4.68	4.54	3.166
55	2000	0.07	0.25	-0.12278	-0.2016	1.4658	0.1861	1.33	1.50	11.496
58	2000	0.07	0.5	-0.12278	-0.2016	1.4658	0.3722	1.51	1.70	10.961
61	2000	0.07	1	-0.12278	-0.2016	1.4658	0.7444	1.89	2.12	11.043
64	2000	0.11	0.25	-0.12278	-0.2016	2.3034	0.1861	2.17	2.30	5.862
67	2000	0.11	0.5	-0.12278	-0.2016	2.3034	0.3722	2.35	2.42	2.840
70	2000	0.11	1	-0.12278	-0.2016	2.3034	0.7444	2.72	2.63	3.555
73	2000	0.2	0.25	-0.12278	-0.2016	4.1881	0.1861	4.05	3.98	1.753
76	2000	0.2	0.5	-0.12278	-0.2016	4.1881	0.3722	4.24	4.47	5.237
79	2000	0.2	1	-0.12278	-0.2016	4.1881	0.7444	4.61	4.67	1.325
Rata-rata Presentase Deviasi (%)										6.429

Dari tabel 5 dapat digambarkan grafik hubungan antara kekasaran permukaan (Ra) prediksi dengan kekasaran permukaan (Ra) eksperimen permesinan CNC bubut tanpa pendingin (gambar 4 dan 5)



Gambar 4 Grafik hubungan Ra prediksi dan Ra eksperimen disetiap percobaan pada permesinan CNC bubut dengan kondisi pemotongan kering

Pada tabel 4 nilai kekasaran permukaan terkecil pada permesinan bubut tanpa pendingin adalah 1.30 μm terjadi pada parameter pemotongan: kecepatan spindel = 1250 rpm, Kecepatan pemakanan = 0.07 mm/rev dan kedalaman pemotongan = 0.25 mm. Kekasaran terbesar pada permesinan CNC bubut tanpa pendingin adalah 4.67 μm terjadi pada parameter pemotongan: kecepatan spindel = 2000 rpm, kecepatan pemakanan = 0.20 mm/rev dan kedalaman pemotongan = 1 mm



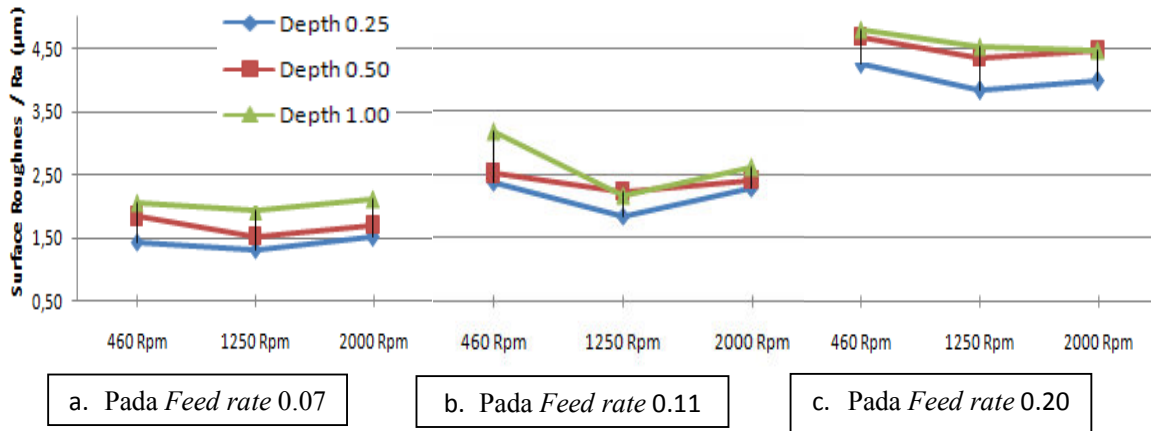
Gambar 5. Grafik hubungan antara Ra prediksi dengan Ra eksperimen pada permesinan CNC bubut dengan kondisi pemotongan kering

Dari hasil analisis regresi ganda dihasilkan persamaan garis regresi yang merupakan inti dari penelitian ini, yang kemudian akan digunakan sebagai model matematik untuk memprediksi kekasaran permukaan yang dihasilkan oleh variasi kecepatan spindle, kecepatan pemakanan dan kedalaman pemotongan pada permesinan CNC bubut tanpa pendingin. Persamaan garis regresi yang sekaligus model matematik yang digunakan untuk memprediksi kekasaran permukaan adalah $Y = -0.1228 - 0.0001 n + 20.940 Vf + 0.7444 a$.

Hasil validitasi model persamaan matematik yang dihasilkan dari analisis regresi ganda dengan hasil eksperimen diperoleh rata-rata persentase deviasi sebesar 6.429%. Rata-rata persentase deviasi sebesar 6.429 % tersebut masih bisa diterima, karena dari beberapa penelitian sejenis yang pernah dilakukan bahwa angka rata-rata persentase deviasi sebesar 9.71 % (S. Lou, Mike., et al. 1998) dan 26 % (Antonio C. Caputo dan Pacifico M. Pelagagge: 2008) masih dapat diterima

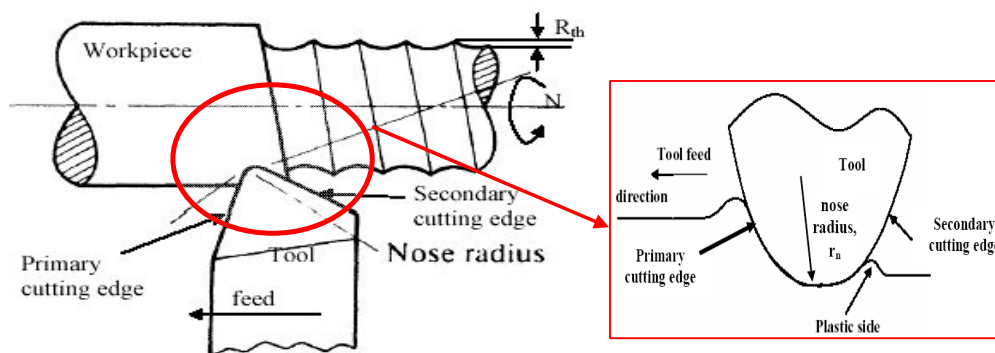
Dari persamaan tersebut dapat diketahui bahwa kecepatan pemakanan mempunyai angka koefisien yang lebih besar yaitu 20.940, kemudian disusul kedalaman pemotongan = 0.7444 dan kecepatan spindle = - 0.0001. Kesimpulan yang bisa diambil adalah bahwa kecepatan pemakanan mempunyai pengaruh terbesar terhadap kekasaran permukaan dibandingkan dengan variabel independent lain seperti kecepatan spindle dan kedalaman

pemotongan. Hal ini juga dibuktikan dengan grafik hubungan antara kecepatan spindle, kecepatan pemakanan dan kedalaman pemotongan terhadap kekasaran permukaan hasil proses permesinan CNC *Bubut* tanpa pendingin gambar 6.



Gambar 6. Hubungan antara kecepatan spindle, kecepatan pemakanan dan kedalaman pemotongan terhadap kekasaran permukaan pada kondisi pemotongan kering

Pada gambar 6 dapat dijelaskan bahwa seiring dengan bertambahnya kecepatan pemakanan, kekasaran permukaan hasil proses permesinan CNC *Bubut* semakin kasar. Hal ini dikarenakan kecepatan pemakanan dan kekasaran permukaan keduanya merupakan parameter yang mempunyai hubungan linier, artinya semakin tinggi kecepatan pemakanan maka, kekasaran benda kerja yang dihasilkan cenderung akan semakin kasar. Hubungan kedua parameter tersebut dapat diilustrasikan seperti gambar 7



Gambar 7. Schematics of Bubut operation showing primary and secondary cutting edges.

Pada gambar 6 dapat dijelaskan juga bahwa semakin dalam kedalaman pemotongan maka kekasaran cenderung akan semakin kasar. Hal ini dikarenakan pada permesinan bubut dengan kedalaman pemotongan yang besar akan menyebabkan gaya pemotongan cenderung

meningkat sehingga menghasilkan vibrasi (*chatter*) yang pada akhirnya dapat memperburuk kualitas permukaan.

Selain kecepatan pemakanan dan kedalaman pemotongan pada gambar 6 juga memperlihatkan bahwa variasi kecepatan spindel mempunyai pengaruh yang kecil terhadap kekasaran permukaan. Pada kecepatan spindel 460 rpm (rendah) grafik nilai kekasaran cenderung tinggi kemudian turun pada kecepatan spindel 1250 rpm dan naik kembali pada kecepatan spindel 2000 rpm. Hal ini disebabkan pada kecepatan spindel tinggi atau kecepatan potong tinggi, akan meningkatkan laju kenaikan temperatur pemotongan sehingga menyebabkan pelunakan pada pahat dan benda kerja yang pada akhirnya akan memperburuk kualitas hasil pemotongan. Diduga juga mengapa pada kecepatan spindel tinggi cenderung menghasilkan permukaan yang lebih kasar karena timbulnya *chatter*. Hal ini disebabkan oleh kekakuan *tool holder* sebagai pemegang pahat yang kurang baik untuk menahan beban dan gaya yang terjadi pada saat proses pemotongan pada kecepatan spindel tinggi, sehingga menimbulkan *chatter* yang lebih besar dibandingkan saat proses pemotongan pada rpm rendah.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Persamaan garis regresi yang sekaligus model matematik yang digunakan untuk memprediksi kekasaran permukaan adalah : $Y = -0.1228 - 0.0001 n + 20.940 Vf + 0.7444 a$
2. Kekasaran permukaan terkecil pada permesinan bubut tanpa pendingin adalah 1.30 μm terjadi pada parameter pemotongan: kecepatan spindel = 1250 rpm, Kecepatan pemakanan = 0.07 mm/rev dan kedalaman pemotongan = 0.25 mm. Kekasaran terbesar pada permesinan CNC bubut tanpa pendingin adalah 4.67 μm terjadi pada parameter pemotongan: kecepatan spindel = 2000 rpm, kecepatan pemakanan = 0.20 mm/rev dan kedalaman pemotongan = 1 mm.

Saran

1. Penelitian tentang proses pemesinan, merupakan topik yang sangat luas, sehingga masih banyak diperlukan penelitian-penelitian lanjutan untuk mendalami parameter-parameter permesinan yang lain.

2. Pada penelitian ini hanya terbatas 3 level disetiap faktor, sehingga hasil pemodelan matematik yang didapatkan memiliki keterbatasan hanya cocok untuk mesin, material, pahat serta level-level yang ada pada penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- S. Lou, Mike., et al. 1998. *Surface Roughness for CNC End – Bubut; Journal of Tecnology*. Kaohsiung Taiwan: Cheng Shiu College of Tecnology
- Vorburger ,T.V. dan J. Raja., 1990. *Surface Finish Methodoly Tutorial*. U.S. Department of Commerce National Institite of Standards on Thenology: Gaithersburg, MD 20899
- Rochim, Taufiq. 2001. *Spesifikasi, Metrologi, dan Kontrol Kualitas Geometrik*. Institut Teknologi Bandung.
- Boothroyd, G. and Knight, W. A. 1989. *Fundamentals of Machining and Machine Tool*. Marcel Dekker, New York.
- Groover, M. P. 1996. *Fundamentals of Modern Manufacturing*. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ (now published by John Wiley & Sons, New York)
- ASME. 1995. *Surface Texture (Surface Roughness, Waviness, and Lay): An American Standard, ASME B46.1-1995 (Revision of ANSI/ASME B46.1-1985)*. ASME, New York.
- Feng, C-X., Wang, J., and Wang, J-S. 2001. An optimization model for concurrent selection of tolerances and suppliers. *Computers and Industrial Engineering*, 40, 15-33.
- Benardos, P.G., dan G-C. Vosniakos. 2003. *Predicting Surface Roughness In Machining: A Review*, *International Journal Of Machine Tools And Manufacture* 43. 833-844.
- O.B. Abouelatta, dan J. Madl. 2001, *Surface Roughness Prediction Based On Cutting Parameters And Tool Vibration*, *Journal of Material Processing Technology*, 118 (2001) 266-277
- Ozel, Tugrul, Yigit Karpaz, 2005. *Prediction of surface roughness and tool wear in finish dry hard turning using back propagation neural networks, department of industrial and systema engineering*, New Jersey, USA.
- Tasdemir, Sakir dan Suleyman Neseli. 2008. *Prediction Of Surface Roughness Using Artificial Neural Network In Lathe*, *International Conference On Computer System An Thecnology – CompSys Tech 2008*.
- Cheng – Xue. 2001. *An Eksperimen Study Of The Impact Of Turning Parameter On Surface Roughness*, paper No. 2036, *Proceedings of the 2001 Industrial Engineering Research Conference*.

- Huang, Luke dan Joseph C. Chen. 2001. *A Multiple Regression Model to Predict In process Surface Roughness In Turning Operation Via Accelerometer*, Journal of Industrial Technology, Vol.17, No. 2.
- Rachim, Taufiq.1982. *Teori dan Teknologi Proses Permesinan*. Institut Teknologi Bandung.
- Taegutec (2008). Taegu Turn Insert Master. Korea
- M. Mehrban, et al.. 2008. Modelling of Tool Life in Turning Process Using Experimental Method. International Journal of material forming. Springer Paris.
- Eugen Axinte (2007) *About The Surface Roughness on Microturning of Titanium Alloys*. Buletinul Institutului Politehnic Din Iași Publicat De Universitatea Tehnică “Gh. Asachi”, Iași. Diakses melalui: <http://eprints.ictp.it/427/> pada tanggal 10 Desember 2009
- Antonio C. Caputo dan Pacifico M. Pelagagge (2008). *Parametric And Neural Methods for Cost Estimation of Process Vessels*. International Journal. Production Economics 112 hlm 934–954.