

PENGARUH PARAMETER PEMESINAN TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN BENDA KERJA PADA MESIN CNC TYPE EDU VR1-MILL

Dicky Seprianto

Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Sriwijaya
Jl. Srijaya Negara Bukit Besar Palembang 30139 Telp: 0711-353414 Fax: 0711-453211
E-mail: dickyseprianto@gmail.com

Abstrak

Pada saat ini mesin CNC hampir dapat digunakan disegala bidang. Dari bidang pendidikan dan riset dihasilkan berbagai produk hasil penelitian yang bermanfaat dan banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari masyarakat. Sedangkan dibidang industri dan manufaktur pemanfaatan mesin CNC memungkinkan produksi dalam jumlah massal dengan waktu relatif singkat sehingga biaya produksi menjadi lebih murah. Kekasaran permukaan merupakan salah satu tolak ukur kualitas suatu produk (benda kerja), sehingga perlu diketahui pengaruh parameter pemesinan untuk mendapatkan nilai kekasaran permukaan yang baik. Pada penelitian ini akan digunakan mesin CNC type EDU VR1-MILL, dimana parameter yang akan digunakan adalah media pendingin, spindle speed dan feedrate sedangkan depth of cut dianggap konstan yaitu 0,5 mm (untuk proses surface finishing) dengan menggunakan material aluminium paduan sebagai benda kerja. Metode eksperimen yang digunakan adalah desain faktorial dengan 2 level dan 3 faktor, Untuk pengolahan data hasil eksperimen menggunakan analysis of variance (ANOVA) dengan bantuan perangkat lunak design-expert® versi 8.1. Dari hasil analisa data pengujian menggunakan ANOVA dengan bantuan perangkat lunak Design Expert® versi 8.0.1, diketahui bahwa spindle speed, feedrate dan interaksi keduanya terbukti dengan tingkat keyakinan 95% ($\alpha=5\%$), berpengaruh terhadap nilai kekasaran, dengan persentase kontribusi sebesar, 37%, 32%, 28%.

Kata kunci : CNC, Metode Eksperimen, Surface Roughness

1. PENDAHULUAN

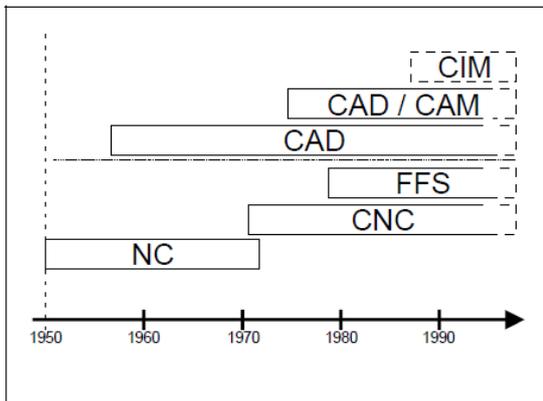
Mesin CNC (*Computer Numerically Controlled*) pertama kali dikembangkan pada tahun 1952 oleh John Pearson dari Institut Teknologi Massachusetts, atas nama Angkatan Udara Amerika Serikat. Proyek tersebut digunakan untuk membuat benda kerja khusus yang rumit. Semula perangkat mesin CNC memerlukan biaya yang tinggi dan volume unit pengendali yang besar. Pada tahun 1973, mesin CNC masih sangat mahal sehingga masih sedikit perusahaan yang mempunyai keberanian dalam mempelopori investasi dalam teknologi ini. Dari tahun 1975, produksi mesin CNC mulai berkembang pesat. Perkembangan ini dipacu oleh perkembangan mikroprosesor, sehingga volume unit pengendali dapat lebih ringkas⁽¹⁾. Perkembangan CNC ditunjukkan pada gambar 1. EDU VR1-MILL merupakan salah satu mesin milling CNC 3 axis yang baru dimiliki oleh Jurusan Teknik Mesin

Politeknik Sriwijaya dan digunakan untuk pendidikan akan tetapi dapat pula digunakan sebagai unit produksi. Dimana mesin ini dapat membuat komponen dari bentuk sederhana sampai dengan kompleks. Mesin CNC ini dilengkapi dengan sistem pemrograman Siemens 802C, *servo motor* dan Mitsubishi *spindel inverter*. Mesin EDU VR1-MILL ditunjukkan pada gambar 2.

Penelitian yang akan dilakukan tentang pengaruh parameter pemesinan terhadap kekasaran permukaan benda kerja pada mesin CNC ada relevansinya dengan hasil penelitian dari penelitian-penelitian sebelumnya. Metode Taguchi digunakan untuk merancang prosedur sistematis agar diperoleh parameter yang menghasilkan performa pemesinan optimal serta proses kendali mutu operasi mesin milling. Mesin yang digunakan adalah Fadal VMC-40 *vertical milling* dengan pahat HSS empat *flute* dan bahan aluminium 6061. Parameter optimum

yang dihasilkan berupa *depth of cut* = 0,2 inch (0,5 mm), *spindle speed* = 5000 rpm, *feedrate* = 10 inch/menit (254 mm/menit) dan *tool diameter* = 0,75 inch (19 mm) dengan interval keyakinan sebesar 95 % serta rata-rata kekasaran permukaan = 23 μ inch⁽¹¹⁾.

Lebih spesifik pada topik operasi *surface finish*, dibuat prediksi atas kekasaran permukaan aluminium 6061 Mesin yang digunakan *Fadal CNC End Milling*. Hasil prediksinya berada pada akurasi 90,29 % untuk training data dan 90,03 % untuk testing data. Ditinjau dari parameter pemesinan, diketahui lewat uji statistik bahwa *feedrate* memegang peranan kunci dalam menghasilkan *surface roughness* pada operasi *end milling* yang diteliti⁽⁴⁾.



- NC : Numerical Control
 CNC : Numerical Control With Integrated Computer
 FFS : Flexible Manufacturing System
 CAD : Computer Aided Design
 CAM : Computer Aided Manufacturing
 CIM : Computer Integrated Manufacturing With Planing, Design And Manufacturing

Gambar 1 : Perkembangan Mesin CNC⁽⁶⁾



Gambar 2 : Mesin CNC EDU VR1-MILL

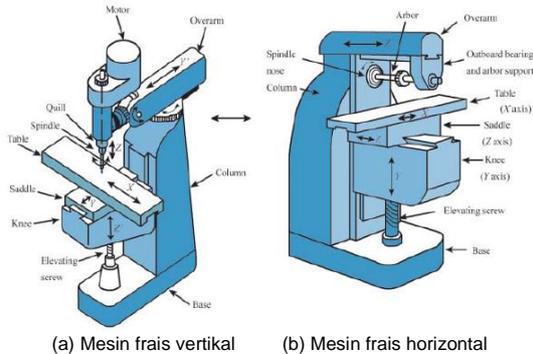
Pada pemantauan saat proses pemesinan menggunakan mesin bubut CNC sedang berlangsung. Selain parameter pemesinan ditambahkan informasi getaran mesin yang diperoleh dari *accelerator* (PCB356B08 Piezotronics). Mesin bubut yang digunakan adalah *Enterprise 1500* buatan Mysore Kirlsokar (India) pada bahan 6061 T2. dihasilkan bahwa tanpa data vibrasi mesin, akurasi prediksi dengan multiple regression berkurang sekitar 1,5%⁽²⁾⁽¹¹⁾.

Pada tekstur permukaan benda kerja dihasilkan untuk operasi flat end milling. Alas dari pahat flat end mill memiliki end cutting edge angle yang menentukan pola tekstur permukaan selain parameter pemesinan. Diperoleh hasil bahwa *feedrate* merupakan parameter pemesinan yang penting dan lebih detail ditunjukkan bahwa operasi end milling pada *feedrate* rendah dan pemotongan tebal masih lebih baik dalam menghasilkan tekstur permukaan daripada operasi yang menggunakan *feedrate* tinggi tetapi lewat pemotongan tipis⁽⁸⁾.

Proses pemesinan frais (milling) adalah proses penyayat benda kerja menggunakan alat potong dengan mata potong jamak yang berputar. Proses penyayat dengan gigi potong yang banyak yang mengitari pisau ini bisa menghasilkan proses pemesinan lebih cepat. Permukaan yang disayat bisa berbentuk datar, menyudut, atau melengkung. Permukaan benda kerja bisa juga berbentuk kombinasi dari beberapa bentuk. Mesin yang digunakan untuk memegang benda kerja, memutar pisau, dan penyayatannya disebut mesin frais (*milling machine*). Adapun ilustrasi dari mesin milling dengan bagian-bagian utamanya seperti ditunjukkan pada gambar 3.

Milling merupakan proses pemotongan benda kerja menggunakan alat potong yang berputar. Alat potong berbentuk roda gigi yang diputar oleh mesin. Gerakan pemotongan disebabkan oleh rotasi dari alat potong pada benda kerja sehingga dihasilkan bentuk sesuai rancangan. Benda kerja digeser sementara alat potong berputar dan tetap ditempat atau bisa juga alat potong bergeser sambil berputar dengan benda kerja yang diam. Berdasarkan hasil dari beberapa penelitian nilai kekasaran sangat dipengaruhi oleh media pendingin, putaran mesin, *cutting speed*, *feedrate* dan *depth of cut*⁽⁹⁾. Mesin frais ada yang dikendalikan secara mekanis (konvensional/manual) dan ada yang

dengan bantuan CNC. Mesin konvensional manual posisi spindalnya ada dua macam yaitu horizontal dan vertikal. Mesin frais dengan kendali CNC hampir semuanya adalah mesin frais vertikal.



(a) Mesin frais vertikal (b) Mesin frais horizontal
Gambar 3 : Skematik Dan Komponen-Komponen Dari Mesin Milling

2. BAHAN DAN METODA

Pengertian metode penelitian secara umum adalah membahas bagaimana secara berurut suatu eksperimen dilakukan, yaitu dengan alat apa dan prosedur bagaimana suatu penelitian dilakukan. Ada dua aspek ekeperimen, yaitu desain eksperimen dan analisa statistik data. Desain eksperimen adalah proses perancangan eksperimen untuk mengumpulkan data yang tepat sehingga dapat dianalisa dengan menggunakan metode statistik dan mendapatkan kesimpulan yang bersifat objektif dan valid⁽³⁾.

2.1 Desain Eksperimen

Tahap awal penelitian ini dimulai dengan studi literatur tentang proses pemesinan milling CNC dilanjutkan dengan perencanaan eksperimen. Metode eksperimen yang digunakan adalah desain faktorial dengan 2 level dan 3 faktor, sehingga jumlah variasi percobaan adalah $2^3 = 8$ order percobaan. Proses pemotongan dikelompokan menjadi 2 bagian yaitu pemotongan menggunakan media pendingin angin dan dromus (1:20).

Total jumlah pengujian sebanyak 24 kali, yang terdiri dari 2 variasi kecepatan potong dan kecepatan pemakanan dengan menggunakan media pendingin yang berbeda. Masing-masing kombinasi parameter pengujian dilakukan replikasi sebanyak 3 kali. Data yang dihasilkan selanjutnya dianalisa untuk menentukan pengaruh parameter pengujian terhadap nilai kekasaran permukaan benda kerja.

Pengolahan data hasil eksperimen menggunakan *analysis of variance* (ANOVA)

dengan bantuan perangkat lunak *design-expert*[®] versi 8.1 untuk mendapatkan tingkatan signifikansi pengaruh dari faktor-faktor percobaan terhadap kekasaran permukaan, kemudian dianalisa untuk mendapatkan keterkaitannya. Dari hasil analisa tersebut akan didapatkan kesimpulan dan rekomendasi parameter untuk menghasilkan kekasaran permukaan yang paling halus pada proses pemesinan milling CNC. Untuk mempermudah maka parameter uji dan matrik pengambilan data dibuat dalam bentuk tabel, seperti ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1. Parameter pengujian

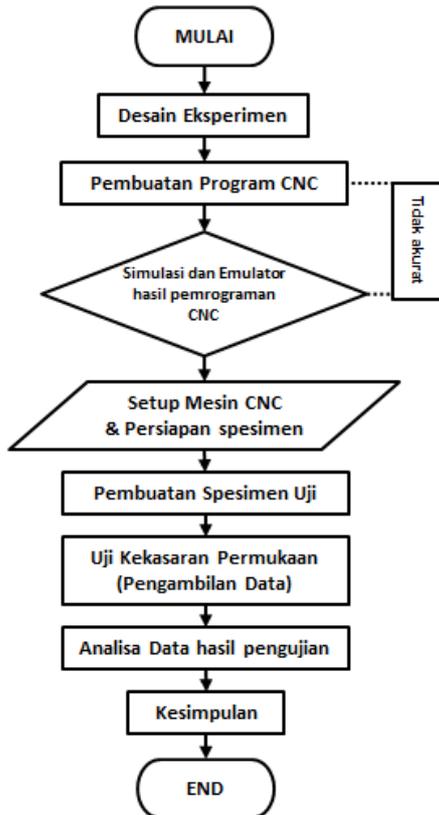
Name	Units	Type	Low	High
Feedrate	mm/min	Factor	50	150
Spindle Speed	rpm	Factor	750	1700
Media Pendingin		Factor	Angin	Dromus
kekasaran	µmm	Response		

2.2 Prosedur Pengujian

Eksperimen dilakukan dengan menggunakan MTS *Milling Machine* type EDU VR1-MILL di laboratorium CNC Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Sriwijaya. Pemotongan dilakukan dengan menggunakan alat potong *solid carbide (cutter end mill)* dengan diameter 10 mm yang memiliki 2 sisi potong. Material yang digunakan dalam eksperimen ini adalah aluminium paduan. Kedalaman pemakanan (*deep of cut*) dibuat konstan 0.5 mm (*finishing*), sedangkan kecepatan pemakanan (*feedrate*) dibuat bervariasi dengan nilai minimal 50 mm/min dan maksimal 150 mm/min, untuk putaran mesin (*spindle speed*) ditentukan nilai minimal 750 rpm dan maksimal 1700 rpm. Parameter lain yang divariasikan yaitu media pendingin angin dengan dromus (1:20). Adapun diagram alir dari penelitian ini ditunjukkan pada gambar 4.

Pengujian dilakukan dengan memotong permukaan datar balok paduan aluminium pada variabel pemesinan yang telah ditentukan. Kemudian setiap spesimen yang telah dikerjakan diukur kekasaran permukaannya menggunakan *Qualitest TR 200 roughness surface tester*. Tahap awal dilakukan dengan mempersiapkan spesimen uji yaitu aluminium dengan dimensi 50x50x50 mm dengan bantuan alat potong *band saw machine*. Spesimen uji dibersihkan menggunakan kikir untuk membuang sudut-sudut tajam yang terbentuk akibat pemotongan. Langkah

selanjutnya adalah membuat program milling CNC untuk menciptakan bentuk yang sama pada setiap spesimen uji. Program yang dihasilkan terlebih dahulu disimulasikan untuk memperkecil faktor kesalahan pada saat proses pemesinan.



Gambar 4 : Diagram Alir Penelitian

Setelah *setup* mesin sesuai dengan parameter yang diinginkan selesai dilakukan dan media pendingin terpasang, maka spesimen uji diletakkan pada ragum yang terletak didalam mesin CNC. Proses pembuatan spesimen uji dimulai dengan memvariasikan parameter kecepatan pemakanan (*feedrate*) dan kecepatan potong (*cutting speed*) serta kedalaman pemakanan (*depth of cut*) sebesar 0.5 mm, selanjutnya spesimen yang telah selesai dibuat langsung diukur tingkat kekasarannya untuk menghindari oksidasi yang terjadi pada spesimen uji.

2.3 Peralatan Dan Bahan

Peralatan dan bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah :

1. MTS *Milling Machine* CNC type EDU VR1.

2. Alat potong dengan material *solid carbide* (*cutter end mill*) dengan diameter 10 mm dan jumlah 2 sisi potong.
3. *Band saw machine* merk *Knuth type KSW 280B*
4. Mitutoyo mikrometer
5. *Qualitest TR 200 roughness surface tester*
6. *Tesa Rugo Test Roughness Comparison Specimens*
7. Kompresor
8. Kikir

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini yaitu :

1. Aluminium paduan, berbentuk balok dengan dimensi 50 x 50 x 50 mm.
2. Pendingin angin dan dromus.

2.4 Proses Pemesinan CNC

Sebelum proses pemesinan dilaksanakan terlebih dahulu dibuat program CNC. Program pemesinan CNC yang digunakan pada penelitian ini merupakan hasil simulasi aplikasi manufaktur dari *Mathematisch Technische Software* (MTS TOPCAM) versi 7.4, Jerman. Dimana luaran yang dihasilkan berupa G-code atau NC-code. Adapun aplikasi simulasi bertujuan untuk menghindari kemungkinan kesalahan pada saat proses pemesinan CNC dilaksanakan.

Dikarenakan mesin CNC yang digunakan berasal dari satu pabrikan dengan perangkat lunak yang digunakan, maka G-Code yang dihasilkan dapat langsung ditransfer menggunakan kabel data RS232 ke mesin CNC (*compatible*). Perangkat lunak dan *setup* mesin CNC yang digunakan ditunjukkan pada gambar 4.2 dan 5, sedangkan program CNC yang dihasilkan ditunjukkan pada gambar 6.

Pada penelitian ini mesin CNC yang digunakan adalah Mesin CNC milling merk MTS type EDU VR1 dengan menggunakan kontrol Siemens 802C dengan maksimum *spindle speed* 2000 rpm.

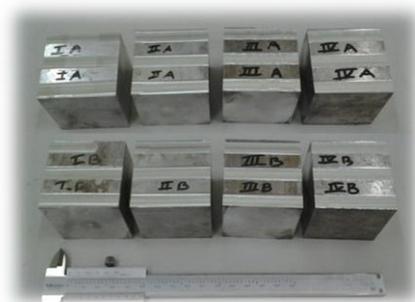
Setelah program CNC yang dilengkapi dengan G-Code didapat dan *setup* mesin CNC disesuaikan dengan parameter uji yang telah ditentukan, langkah selanjutnya adalah proses penyayatan spesimen uji berbentuk balok yang terbuat dari aluminium paduan. Spesimen uji setelah dilakukan proses pemesinan/penyayatan ditunjukkan pada gambar 7.



Gambar 5 : Tampilan Perangkat Lunak MTS® TOPCAM



Gambar 6: Setup MTS Milling Machine CNC type EDU VR1



Gambar 7 : Spesimen Uji Setelah Proses Pemesinan CNC



Gambar 8 : Pengujian Kekasaran Permukaan Dengan Alat Qualitest TR 200 dan Rugo Test

2.5 Pengujian Kekasaran Permukaan

Setelah proses pemesinan selesai dilanjutkan dengan pengujian kekasaran

permukaan di Laboratorium Mekanik Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Sriwijaya. Alat ukur yang digunakan adalah

Qualitest TR 200 roughness surface tester, selain itu dilakukan pula pengukuran kekasaran permukaan dengan metode *nail test* menggunakan alat ukur *Rugo Test* merk TESA sebagai pembanding. Pengukuran dilakukan pada arah pemakanan *cutter* dengan tiga kali replikasi. Hasil pengukuran selanjutnya dianalisa untuk mendapatkan kesimpulan. Proses pengujian kekasaran dan alat ukur yang digunakan ditunjukkan pada gambar 8.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah dilakukan proses pemesinan CNC *milling* dan dilakukan pengujian kekasaran permukaan terhadap spesimen paduan aluminium didapat data-data hasil pengujian yang selanjutnya akan dianalisa, sehingga dapat diketahui pengaruh *spindle speed*, *feedrate* dan media pendingin serta rekomendasi faktor (parameter) untuk mendapatkan nilai kekasaran yang paling baik (halus).

3.1 Hasil Pengujian Kekasaran Permukaan

Untuk mengetahui nilai kekasaran dari spesimen maka dilakukan pengujian kekasaran permukaan dengan menggunakan alat *Qualitest TR 200*, agar data yang diperoleh *valid*. Dilakukan juga pengukuran menggunakan metode *nail test*

dengan *Rugo Test Roughness Comparison Specimens* dengan standar ISO. Hasil pengujian kekasaran terhadap spesimen uji yang dilakukan sebanyak 3 kali replikasi ditunjukkan pada tabel 2.

3.2 Analisa Data Hasil Pengujian Kekerasan

Data hasil pengujian serta kombinasi faktor dan level yang ditunjukkan pada tabel 5.1 selanjutnya akan dianalisa menggunakan metode *full factorial* dan ANOVA untuk mengetahui pengaruh dari faktor terhadap nilai kekerasan spesimen uji. Untuk mempercepat proses analisa dan perhitungan statistik hasil pengujian, pada penelitian ini digunakan alat bantu perangkat lunak *Design Expert®* version 8.0.1. Dari 24 kali observasi yang dilakukan maka didapat nilai minimum, maksimum, rata-rata, standar deviasi dan rasio dari masing-masing respon dan faktor pada pengujian kekasaran permukaan spesimen uji, kemudian dibuat dalam bentuk tabel 3.

Dengan melakukan model analisis varians (ANOVA) dua arah yang terdiri dari perhitungan jumlah kuadrat, derajat kebebasan, rata-rata jumlah kuadrat dan F_{Hitung} (F_o), maka dapat diperoleh data statistik ANOVA rata-rata kekasaran spesimen uji seperti ditunjukkan pada gambar 9.

Tabel 2. Data hasil pengujian kekasaran permukaan

Std	Run	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Response	Kelas Kekasaran Permukaan (ISO)
		A:Feedrate (mm/min)	B:Spindle Speed (rpm)	C:Media Pendingin	Kekasaran (Ra) (μmm)	
1	9	50	750	Angin	0,952	N7
2	23	50	750	Angin	1,396	
3	11	50	750	Angin	1,141	
4	8	150	750	Angin	4,074	N8
5	13	150	750	Angin	3,391	
6	10	150	750	Angin	4,458	
7	3	50	1700	Angin	0,648	N6
8	6	50	1700	Angin	0,686	
9	12	50	1700	Angin	0,801	
10	19	150	1700	Angin	0,785	N6
11	20	150	1700	Angin	0,528	
12	16	150	1700	Angin	0,77	
13	17	50	750	Dromus	0,767	N6
14	2	50	750	Dromus	0,766	
15	7	50	750	Dromus	0,758	
16	21	150	750	Dromus	4,503	N8
17	14	150	750	Dromus	4,651	
18	24	150	750	Dromus	4,587	
19	4	50	1700	Dromus	0,664	N6
20	22	50	1700	Dromus	0,76	
21	18	50	1700	Dromus	0,682	
22	5	150	1700	Dromus	0,908	N6
23	1	150	1700	Dromus	0,954	
24	15	150	1700	Dromus	1,012	

Tabel 3. Rata-rata, standar deviasi, dan rasio dari hasil pengujian kekasaran

Runs : 24 Design Model : 3FI Design Type : 2 Level Factorial					
Name	Factor			Name	Response
	A	B	C		Y ₁
	Feedrate	Spindle Speed	Media Pendingin		Kekasaran Permukaan
Units	mm/min	rpm		Units	µmm
Minimum	50	750	Angin	Observasi	24
Maximum	150	1700	Dromus	Analysis	factorial
Mean	100	1225	-	Minimum	0.528
-1 (code)	50	750	--	Maximum	4.651
+1 (code)	150	1700	-	Mean	1.69342
Std. Dev	50	475	-	Std. Dev	1.5501
Type	Numeric	Numeric	Categoric	Ratio	8.80871

Analysis of variance table [Partial sum of squares - Type III]						
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value Prob > F	
Model	54.51	7	7.79	164.04	< 0.0001	significant
A-Feedrate	17.68	1	17.68	372.51	< 0.0001	
B-Spindle Sp	20.62	1	20.62	434.42	< 0.0001	
C-Media Pen	0.080	1	0.080	1.68	0.2138	
AB	15.31	1	15.31	322.52	< 0.0001	
AC	0.61	1	0.61	12.92	0.0024	
BC	8.402E-004	1	8.402E-004	0.018	0.8958	
ABC	0.20	1	0.20	4.23	0.0563	
Pure Error	0.76	16	0.047			
Cor Total	55.26	23				

The Model F-value of 164.04 implies the model is significant. There is only a 0.01% chance that a "Model F-Value" this large could occur due to noise. Values of "Prob > F" less than 0.0500 indicate model terms are significant. In this case A, B, AB, AC are significant model terms. Values greater than 0.1000 indicate the model terms are not significant. If there are many insignificant model terms (not counting those required to support hierarchy), model reduction may improve your model.

Std. Dev.	0.22	R-Squared	0.9863
Mean	1.69	Adj R-Squared	0.9802
C.V. %	12.87	Pred R-Squared	0.9691
PRESS	1.71	Adeq Precision	30.894

Gambar 9 : Print screen ANOVA dari perangkat lunak Design Expert®

Setelah *mean square* (MS) serta F_{VALUE} (F_0) didapat, maka dengan tingkat keyakinan ($\alpha=0.05$) dan derajat kebebasan yang diketahui dapat ditentukan F_{Tabel} untuk masing-masing faktor dan interaksi dengan melihat tabel distribusi F :

Faktor (A) : $F_{TABEL} = F_{(1-0.05)(1,16)} = 4.49$

Faktor (B) : $F_{TABEL} = F_{(1-0.05)(1,16)} = 4.49$
 Faktor (C) : $F_{TABEL} = F_{(1-0.05)(1,16)} = 4.49$
 Faktor (AB) : $F_{TABEL} = F_{(1-0.05)(1,16)} = 4.49$
 Faktor (AC) : $F_{TABEL} = F_{(1-0.05)(1,16)} = 4.49$
 Faktor (BC) : $F_{TABEL} = F_{(1-0.05)(1,16)} = 4.49$
 Faktor (ABC) : $F_{TABEL} = F_{(1-0.05)(1,16)} = 4.49$

Berdasarkan hasil perhitungan statistik dengan bantuan perangkat lunak *Design Expert®*, dapat diketahui bahwa faktor *spindle speed*, *feedrate*, interaksi keduanya, interaksi antara *spindle speed* dan media pendingin dengan nilai $F_{\text{VALUE}} > F_{\text{TABEL}}$, sehingga dapat diambil kesimpulan bahwa faktor-faktor serta interaksi tersebut diatas dengan tingkat keyakinan 95% ($\alpha=0.05$) memiliki pengaruh signifikan terhadap kekasaran permukaan benda kerja.

Sedangkan faktor media pendingin, interaksi antara *spindle speed* dan media pendingin serta interaksi dari ketiga faktor tidak menunjukkan pengaruh yang signifikan terhadap nilai kekasaran permukaan benda kerja. Selanjutnya dapat ditentukan persen kontribusi dari masing-masing faktor yang berpengaruh terhadap nilai kekasaran permukaan spesimen uji, seperti ditunjukkan pada tabel 4.

Tabel 4. Persentase kontribusi dari faktor dan interaksi terhadap nilai kekasaran spesimen

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	Contribution (%)
A-Feedrate	17,6817	1	17,6817	32
B-Spindle Speed	20,6202	1	20,6202	37
C-Media Pendingin	0,0796	1		
AB	15,3088	1	15,3088	28
AC	0,6131	1	0,6131	
BC	0,0008	1		
ABC	0,2009	1		
Pure Error	0,7595	16		
Cor Total	55,2646	23		

Setelah dilakukan komputasi statistik untuk seluruh data diperoleh hasil olah data *multiple regression* berupa model matematik yang diharapkan dapat memprediksi kekasaran permukaan, yang ditunjukkan pada persamaan 1 dalam bentuk *coded factors* dan persamaan 2 serta 3 dalam bentuk aktual.

$$\text{Kekasaran (Ra)} = 1.69 + (0.86*A) - (0.93*B) + (0.058*C) - (0.80*A*B) + (0.16*A*C) + (5.917 * 10^{-3} * B*C) - (0.092*A*B*C) \quad (1)$$

- Media pendingin angin :

$$\text{Kekasaran (Ra)} = -1.00293 + (0.050445*feedrate) + (1.01368*10^{-3}*Spindle speed) - (2.97754*10^{-5}* feedrate* Spindle speed) \quad (2)$$

- Media pendingin dromus :

$$\text{Kekasaran (Ra)} = -2.50151 + (0.066277*feedrate) + (1.80912*10^{-3}*Spindle speed) - (3.74807*10^{-5}* feedrate* Spindle speed) \quad (3)$$

Dari model persamaan tersebut dapat digunakan untuk memprediksi nilai kekasaran permukaan yang ditunjukkan pada gambar 10. selain itu dapat dibuat grafik *3D surface* antara yang menjelaskan hubungan antara faktor-faktor yang diteliti dengan nilai kekasaran permukaan seperti ditunjukkan pada gambar 11. Dari gambar 9 diketahui bahwa $R^2=0.9863$, data tersebut mengindikasikan bahwa koefisien korelasi antara variabel Ra dengan prediksi yang berdasarkan model regresi cukup tinggi. Model yang dihasilkan sudah sesuai dengan sebaran data mencapai 98.63%, hal ini dapat dilihat pada gambar 10, dimana

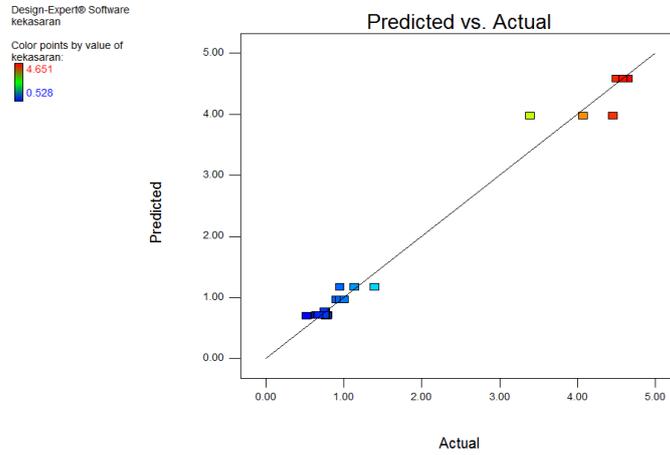
sebaran data mayoritas mendekati garis linear.

Dari hasil percobaan aktual yang telah dilakukan, didapatkan nilai kekasaran yang diperoleh dari hasil pengujian pada spesimen uji, ditunjukkan pada gambar 12, yaitu :

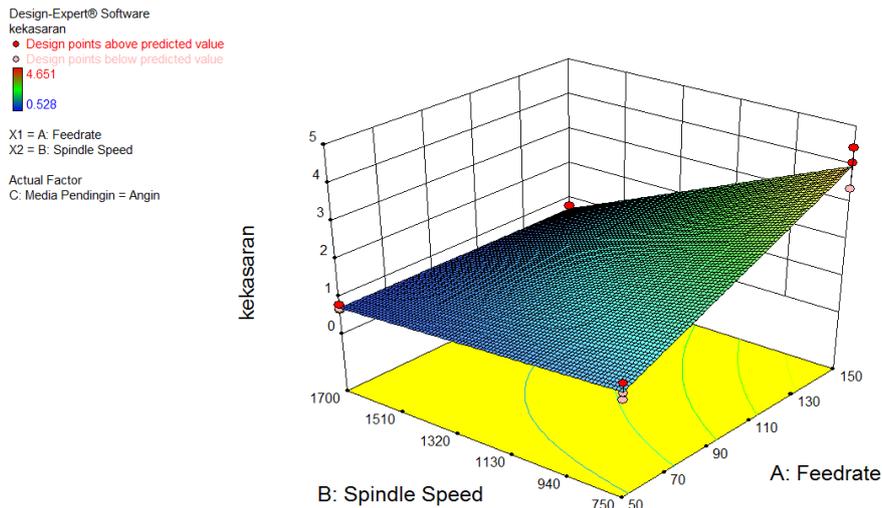
- Nilai rerata kekasaran (Ra) yang paling baik (halus) diperoleh pada kombinasi faktor *feedrate*=150 mm/min, *spindle speed*=1700 rpm dengan media pendingin angin sebesar 0.694 μm .
- Dari grafik pada gambar 12 dan 13 dapat dilihat bahwa nilai kekasaran spesimen uji menurun seiring dengan meningkatnya *spindle speed*, hal ini

sesuai dengan hasil ANOVA yang menyatakan bahwa *spindle speed* merupakan faktor yang berpengaruh

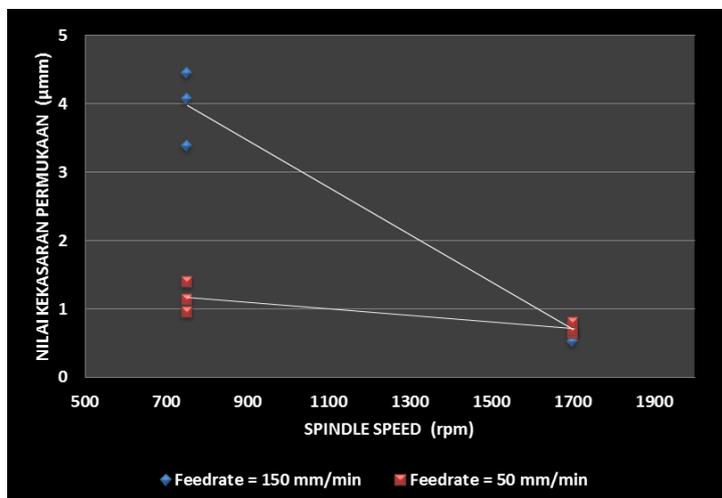
paling signifikan dengan persen kontribusi sebesar 37%.



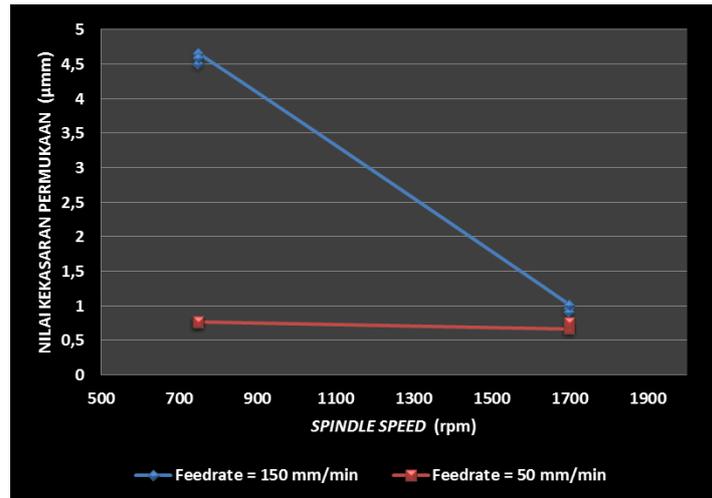
Gambar 10 : Perbandingan Antara Data Pengujian Kekasaran Dengan Prediksi Model Regresi



Gambar 11 : 3D surface hubungan antara faktor-faktor yang diteliti dengan nilai kekasaran



Gambar 12 : Pengaruh *feedrate* dan *spindle speed* terhadap kekasaran permukaan dengan media pendingin angin



Gambar 13 : Pengaruh *feedrate* dan *spindle speed* terhadap kekasaran permukaan dengan media pendingin dromus

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dan pengujian kekasaran permukaan terhadap benda kerja yang dilakukan proses pemesinan menggunakan mesin CNC merk MTS Type EDU VR1-MILL, dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Nilai rerata kekasaran (Ra) yang paling baik (halus) diperoleh pada kombinasi faktor *feedrate*=150 mm/min, *spindle speed*=1700 rpm dengan media pendingin angin sebesar 0.694 µmm.
2. Dari hasil analisa data pengujian menggunakan ANOVA dengan bantuan perangkat lunak *Design Expert®* versi 8.1, diketahui bahwa *spindle speed*, *feedrate* dan interaksi keduanya terbukti dengan tingkat keyakinan 95% ($\alpha=5\%$), berpengaruh terhadap nilai kekasaran, dengan persentase kontribusi sebesar, 37%, 32%, 28%
3. Persamaan regresi linier :

$$\text{Kekasaran (Ra)} = 1.69 + (0.86 \cdot A) - (0.93 \cdot B) + (0.058 \cdot C) - (0.80 \cdot A \cdot B) + (0.16 \cdot A \cdot C) + (5.917 \cdot 10^{-3} \cdot B \cdot C) - (0.092 \cdot A \cdot B \cdot C)$$
 dapat dijadikan acuan dalam menentukan parameter untuk nilai kekasaran yang diinginkan berdasarkan parameter pengujian yang telah ditentukan.

DAFTAR PUSTAKA

1. Dicky.S dan Syamsul.R, 2009, "Analisa Pengaruh Perubahan Ketebalan Pemakanan, Kecepatan Putar Pada Mesin, Kecepatan Pemakanan (*Feeding*) Frais Horisontal Terhadap Kekasaran Permukaan Logam", Austenit. Volume I No. 1 hal 33-38, ISSN : 2085-1286, Politeknik Negeri Sriwijaya, Palembang.
2. Huang, L., Chen, J.C., 2001, "A Multiple Regression Model to Predict In-process Surface Roughness in Turning Operation Via Accelerometer", *Journal of Industrial technology*, Vol. 17, No. 2, February to April 2001, www.nait.org.
3. Johan Trygg, Svante Wold, 2002, "Introduction To Statistical Experiment Design", University Of Queensland, Australia.
4. Lou, Mike S., et al., 1998, "Surface Roughness Prediction Technique For CNC End Milling", *Journal of Industrial Technology* Vol. 15, No. 1.
5. Makmur dan Taufikurrahman, 2006, "Pengaruh Variasi Putaran, Kecepatan Putar Benda serta Kecepatan Meja terhadap Nilai Kekasaran Benda Kerja pada Proses Penggerindaan Silinder", *Teknika*, Volume XVI No. 1 hal 5- 10, ISSN. 0854-3143, Palembang, Politeknik Negeri Sriwijaya.
6. MTS, 2011, "CNC-Basic", BK & BM, Kaiserin-Augusta-Allee, Berlin.
7. PN. Rao, 2000, "Manufacturing Technology Metal Cutting And Machine Tool". *International Edition*, Singapore, Mac Graw-Hill.
8. Ryu, S.H., et al., 2006, "Roughness and Texture Generation on End Milled Surfaces", *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 46 (2006), pp. 404–412, Elsevier Ltd.
9. Taufiq Rochim, 2007, "Klasifikasi Proses, Gaya dan Daya Pemesinan",

- Buku 1, ISBN. 979-979-1344-050, Penerbit ITB, Bandung.
10. Taufiq Rochim, 2004, *Spesifikasi, Metrologi dan Kontrol Kualitas Geometrik 1*, ISBN. 979-9299-41-1, Penerbit ITB, Bandung.
 11. Yang, J.L., Chen, J.C., 2001, "A Systematic Approach for Identifying Optimum Surface Roughness Performance in End Milling Operations", *Journal of Industrial technology*, Vol. 17, No. 2, February to April 2001, <http://www.nait.org>.

RIWAYAT PENULIS

Dicky Seprianto, lahir di Palembang tanggal 16 September 1977. Menamatkan Pendidikan D3 di Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Universitas Sriwijaya pada tahun 1998. Menyelesaikan pendidikan S1 di Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya tahun 2000 dan S2 di Program Magister Teknik Mesin, Universitas Pancasila pada tahun 2010. Bekerja sejak tahun 2001 sampai sekarang sebagai Staf Pengajar Mata Kuliah Program Komputer, Bengkel Mekanik dan Laboratorium CNC Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Sriwijaya, serta tahun 2009 sampai sekarang sebagai Tim Perencanaan Politeknik Negeri Sriwijaya dan Pengurus Jurnal Austenit Jurusan Teknik Mesin Polsri

