

Penentuan Persamaan Kualitas Permukaan Bendakerja Hasil Proses Perautan Dengan Mesin Bubut Cnc.

Wirawan*

*Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta, No.9, telp. 0341 404424-404425 No. Fax.0341 404420, wira_polmal@yahoo.com

Abstract

Determination of equation on surface quality of the workpiece which is produced by cutting process using cnc turning machine

*The problem is situated on the difficulties of predicting the surface roughness of the machined product using CNC turning machine, due to there is no mathematical model which expresses the surface formation on the cutting process. The objectives of this research is not only to observe the influence of cutting parameters to the surface rougness of the workpiece which is produced by machining process using CNC turning machine, but also to construct a mathematical model for predicting the surface roughness of the workpiece as a result of machining process with the cutting parameters involved. The research is carried out by: material selection of the test piece, test piece preparation, machining of the material test piece involving the predefined cutting data, and measuring oh the surface roughness of the work piece resulting from machining process. The result of this research is a surface roughness of the work piece which is machined using combination of cutting speed of 62.8; 141; 219 meter per menit, feedrate of 0.08; 0.34; 0.6 milimeter per rotation, and depth of cut of 0.08; 0.34; 0.6 milimeter. Finally, it is identified that the surface roughness of the work piece is significantly influenced by cutting parameters, and a mathematical model for predicting the surface roughness of the work piece can be constructed, as follow: $R_a = 0,0102185 V_c + 8,81060 F + 8,5401 a - 0,0296552 V_c * a - 2,67699$*

Keywords: turning machined, surface roughness, cutting speed, feedrate, and depfth of cut.

Abstrak

*Masalah terletak pada sulitnya memprediksi kekasaran permukaan hasil perautan menggunakan mesin bubut CNC, karena belum dimilikinya model matematik yang mengekspresikan pembentukan permukaan hasil proses perautan tersebut. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh parameter perautan terhadap kekasaran permukaan hasil perautan menggunakan mesin bubut CNC dan mendapatkan model matematik yang bisa digunakan untuk memprediksi kekasaran permukaan bendakerja hasil perautan dengan data parameter yang digunakan. Cara uji meliputi: pemilihan bahan material uji, persiapan material uji, perautan material uji dengan data perautan yang ditetapkan, dan pengukuran kekasaran permukaan bendakerja hasil perautan. Hasil pengujian berupa kekasaran permukaan bendakerja untuk kombinasi kecepatan potong 62,8; 141; 219 meter per menit, kecepatan pemakanan 0,08; 0,34; 0,6 milimeter per putaran dan ketebalan penyayatan 0,3; 1,0; 2,0 milimeter. Pada akhirnya didapatkan hasil parameter perautan tersebut memiliki pengaruh terhadap kekasaran permukaan bendakerja sangat signifikan, serta didapat sebuah model matematik untuk memprediksi kekasaran permukaan bendakerja sebagai berikut: $R_a = 0,0102185 V_c + 8,81060 F + 8,5401 a - 0,0296552 V_c * a - 2,67699$*

Kata kunci : mesin bubut, kekasaran permukaan, kecepatan potong, kecepatan pemakanan dan kedalaman penyayatan.

I. PENDAHULUAN

Latar Belakang

Perautan, biasanya disebut juga proses pemesian, adalah proses penghilangan atau pelepasan metal yang tidak dikehendaki dari sebuah bendakerja dalam bentuk geram dengan tujuan untuk mendapatkan produk jadi dengan ukuran, bentuk, dan kualitas permukaan yang diharapkan. Banyak industri mengeluarkan biaya besar untuk melakukan proses penghilangan atau pelepasan material logam ini, sebab sebagian besar dari produk hasil manufaktur memerlukan pemesinan pada beberapa tahapan didalam proses produksinya, mulai dari yang kasar atau pekerjaan tidak presisi, seperti pembersihan produk tuangan atau tempa hingga pekerjaan dengan kepresisian tinggi yang melibatkan toleransi dengan ukuran hingga mikron. Jadi perautan merupakan proses manufaktur dasar yang sangat penting.

Beberapa kondisi perautan, utamanya dalam proses perautan dengan tebal geram yang kecil, getaran tidak terjadi dan proses perautannya dapat dikatakan stabil. Pada kondisi perautan lainnya, getaran bisa terjadi dan seringkali semakin membesar getarannya, proses perautan semacam itu disebut sebagai perautan tidak stabil. Pada umumnya terdapat batas yang sangat jelas antara proses perautan stabil dan tidak stabil. Untuk mencapai kondisi tidak stabil bisa dilakukan dengan menambah atau menaikkan ketebalan geram. Getaran semacam ini termasuk dalam kelompok getaran tereksitasi sendiri (self-excited vibration) dan sumber energi dari getaran jenis ini berada dalam proses perautan. Didalam teknologi perautan, getaran semacam ini disebut sebagai "chatter".

Getaran pada mesin perkakas meningkatnya undulasi (undulation) atau bentuk gelombang pada permukaan hasil pemesinan dan variasi gaya potong

yang berlebihan sebagai akibat adanya undulasi tersebut bisa membahayakan terhadap masa layanan pahat dan mesin. Agar tidak didapatkan efek getaran tersebut di atas, maka dalam melakukan proses perautan harus dipilih kondisi perautan (cutting condition) yang sesuai sehingga chatter bisa dihindari.

Untuk mengetahui tapak getar pada proses perautan, umumnya dilakukan dengan metoda eksperimen yang menggunakan peralatan pengukur getaran pada mesin perkakas sehingga profil tapak getar dari hasil perautan dapat diketahui. Bila nilai-nilai parameternya diubah maka profil tapak getar juga akan berubah. Jadi untuk mengetahui pengaruh perubahan parameter perautan terhadap profil tapak getar, maka akan diperlukan proses perautan sebanyak perubahan parameter yang dikehendaki dan konsekuensinya membutuhkan waktu, tenaga dan biaya yang cukup besar.

Berdasarkan permasalahan di atas, maka diperlukan suatu metoda untuk memprediksi suatu profil tapak getar akibat proses perautan pada mesin bubut dengan menggunakan metoda simulasi. Nantinya hanya dengan memasukkan data-data parameter perautan pada simulasi, dengan bantuan perangkat lunak (software) akan dihasilkan profil tapak getar dari proses perautan yang dilakukan secara virtual dalam waktu yang sangat singkat. Sehingga kualitas permukaan bisa diprediksi sebelum dilakukan proses perautan yang sesungguhnya.

Rumusan Masalah

Agar kegiatan dan pembahasan penelitian ini bisa diarahkan dengan baik, maka perlu disusun sebuah rumusan permasalahan sebagai berikut:

- Data atau parameter apa saja yang diperlukan untuk melakukan penyetelan (setting) mesin bubut agar siap melakukan proses.

- Bagaimana menyusun persamaan-persamaan respon getaran dari sistem getaran yang bekerja pada alat potong mesin bubut.
- Bagaimana menggambarkan lintasan potong dari ujung pahat pada mesin bubut dengan kombinasi-kombinasi parameter perautan yang sesuai sebagai alat simulasi untuk memprediksi profil permukaan bendakerja hasil perautan.
- Bagaimana melakukan proses perautan yang sesungguhnya di mesin bubut dengan data-data perautan yang sesuai sebagaimana yang pernah digunakan dalam metoda simulasi, dengan tujuan validasi persamaan respon getar yang telah dibuat dan disimulasikan.

Tujuan Penelitian

Dalam melakukan penelitian ini ada beberapa tujuan yang dapat dirumuskan dan yang ingin dicapai, yaitu:

- Dapat membuat model matematik dari lintasan potong teoritis dari pahat bubut, sehingga secara langsung lintasan tersebut dianggap sebagai kualitas permukaan bendakerja hasil perautan.
- Memperoleh suatu metoda alternatif selain metoda eksperimen untuk mengetahui lintasan potong pada proses pembubutan, sehingga bisa digunakan untuk memprediksi kekasaran permukaan bendakerja hasil perautan pada mesin bubut.
- Memperoleh suatu solusi dari sebuah bagian permasalahan yang harus diselesaikan untuk mewujudkan sebuah mesin perkakas yang pintar (*smart machine tool*).
- Mengetahui pengaruh parameter proses perautan terhadap kekasaran permukaan bendakerja hasil perautan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Penelitian Terdahulu

Thomas L. Logo [9] menyatakan bahwa didalam proses pembubutan, chatter atau getaran adalah permasalahan yang sering mempengaruhi hasil dari proses pemesinan dan khususnya permukaan hasil pemesinan. Umur pahat juga dipengaruhi oleh getaran. Kebisingan akustik yang parah di lingkungan kerja sering terjadi sebagai akibat dari gerak dinamik antara pahat dan bendakerja.

Didalam semua operasi perautan seperti bubut, boring, dan frais, getaran dihasilkan akibat deformasi dari bendakerja. Hal ini berimplikasi pada beberapa kerugian baik secara ekonomi maupun lingkungan. Banyak solusi yang berbeda, tetapi pada dasarnya pasif, yaitu untuk meminimalkan masalah yang telah terjadi, namun masalah dasarnya masih tetap ada. Pada akhirnya diusulkan suatu metoda baru dalam mengendalikan getaran dalam arah pemotongan menggunakan sensor dan aktuator yang tertanam didalam pemegang pahat sisip. Metoda ini bisa memperbaiki kekasaran permukaan dengan faktor antara 5 hingga 10.

Robert G. Landers [5] didalam penelitiannya menyatakan bahwa regenerative chatter merupakan batasan utama terhadap produktivitas dan kualitas dari proses pemesinan yang mana akan menghasilkan permukaan hasil pemesinan yang jelek, keausan pahat yang berlebihan, dan mengurangi akurasi dimensi bendakerja. Hampir semua teknik analisis chatter membuat asumsi bahwa gaya perautan bersifat linier walaupun sebenarnya gaya-gaya perautan mengandung sifat-sifat bukan linier yang berhubungan dengan parameter perautan seperti kecepatan pemakanan, kedalaman pemakanan, dan kecepatan potong. Analisis pendekatan chatter saat ini memperkenalkan analisis stabilitas sistim pemesinan yang melibatkan gaya-gaya pemesinan yang

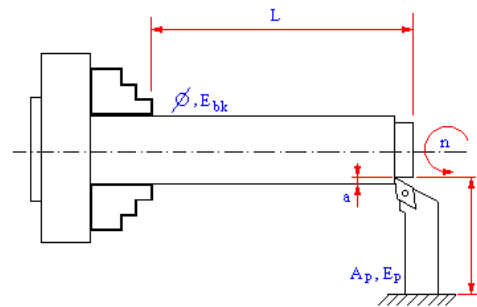
tidak linier. Keakuratan dari metodologi ini divalidasi melalui perbandingan antara simulasi “time domain” dengan eksperimen. Pada akhirnya dicapai suatu kesimpulan bahwa dengan melibatkan perhitungan gaya-gaya pemesinan yang tidak linier menghasilkan dampak yang signifikan terhadap diagram stabilitas yang dihasilkan.

Jerzy Warminshi [3] dalam penelitiannya berhasil membangun sebuah model getaran getaran non-linier pada proses bubut sekunder. Gaya potong diekspresikan sebagai fungsi dari kedalaman pemotongan dalam arah sumbu-Y. Dengan menggunakan sebuah model satu derajat kebebasan yang disederhanakan memungkinkan untuk dapat mengamati munculnya getaran setelah pemotongan pertama. Penulis tersebut menyelidiki pengaruh dari profil bendakerja yang dihasilkan oleh proses pemotongan primer terhadap dinamika dari proses pemotongan sekunder. Analisis menunjukkan bahwa profil bendakerja tersebut dapat menyebabkan fluktuasi yang signifikan dari gaya potong pada proses pembubutan. Pengendalian getaran dimungkinkan dengan merubah rasio atau perbandingan antara dua proses perautan yang berurutan (primer dan sekunder).

Proses Pemesinan pada Mesin Bubut

Mesin bubut adalah sarana yang digunakan untuk proses pemesinan bentuk silinder luar dan dalam serta bentuk-bentuk konus. Benda kerja dipegang oleh pencekam yang dipasang di ujung poros utama (spindle) dalam keadaan berputar dan sebuah pahat bermata potong tunggal digerakkan secara longitudinal, maka proses perautan terjadi pada benda kerja. Apabila pahat dimakan dengan

membentuk sudut terhadap sumbu putaran, maka akan terjadi permukaan konus luar. Gambar 1 menunjukkan salah satu cara pemasangan benda kerja yang akan diraut. Ada beberapa parameter yang harus diatur agar proses perautan bisa menghasilkan benda kerja dengan spesifikasi yang diharapkan.



Gambar 1 Proses Bubut dan parameter yang terlibat.

Adapun parameter tersebut adalah:

- Panjang pemasangan pemegang pahat pada tempat pahat atau *tool post* (l)
- Penampang pemegang pahat (A_p)
- Material pemegang pahat (E_p)
- Kedalaman pemakanan atau *depth of cut* (a)
- Kecepatan pemakanan atau *Feedrate* (F)
- Panjang bendakerja (L)
- Diameter bendakerja (Ø)
- Properti material bendakerja (E_{bk})
- Kecepatan putar bendakerja (S)

Steve F Krar dan Albert F Check [6] dalam bukunya “*Technology of Machine Tools*” menyatakan bahwa pengepakan benda kerja dilakukan tanpa tailstock jika L < 3 x D.

Kecepatan Putar Benda Kerja (S)

Kecepatan putar bendakerja pada mesin bubut biasa disebut sebagai putaran spindle, yang mana sebenarnya merupakan variabel yang diturunkan dari variabel kecepatan potong (V_c) dan diameter bendakerja (D). Adapun kecepatan potong dipengaruhi oleh material bendakerja yang dipotong, dan material alat potong. Persamaan yang menyatakan hubungan tersebut adalah:

$$V_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad \text{atau} \quad n = \frac{1000 \cdot V_c}{\pi \cdot D} \quad [persamaan \cdot 1]$$

dimana:

V_c = Kecepatan potong [m/menit]

D = Diameter bendakerja [mm]

n = Kecepatan spindle [put/menit] atau rpm

Berdasarkan katalog dari pembuat alat potong dapat ditetapkan kecepatan yang dipakai didalam membubut seperti terdapat pada "Tabel. 1".

Kecepatan putar bendakerja (S) = kecepatan putar spindle (n).

Tabel. 1 Data Cutting technology untuk unalloyed steel up to 0.2 % C

Insert CNMG 120404-TF		
	Medium	Fine
Cutting speed V_c (m/min)	230	350
Depth of cut a_p (mm)	2 - 6	0.3 - 2
Feedrate f (mm/rev)	0.2 - 0.6	0.08 - 0.25

Kedalaman Pemakanan (a_p)

Ada dua parameter yang menentukan nilai kedalaman pemakanan, yaitu:

Kemampuan mesin untuk membuang material (material removal rate) m^3 /menit.

Kemampuan pemakanan dari alat potong, diadopsi dari katalog alat potong mm/put.

Berdasarkan katalog dari pembuat alat potong dapat ditetapkan kedalaman pemakanan (a_p) yang dipakai didalam membubut terdapat pada "Tabel. 1".

Kecepatan Pemakanan (F)

Dalam pembubutan khususnya bubut CNC memiliki dua satuan penyetelan kecepatan pemakan (*feedrate*), yaitu: Kecepatan pemakanan dalam mm/put dengan simbol (f) dan Kecepatan pemakanan dalam mm/menit dengan simbol (F).

Adapun hubungan antara dua macam penyetelan tersebut ditunjukkan oleh persamaan sebagai berikut:

$$F = f \times n$$

$$= \frac{mm}{put} \cdot \frac{put}{menit} \quad [persamaan \cdot 2]$$

$$= \frac{mm}{menit}$$

Berdasarkan katalog dari pembuat alat potong dapat ditetapkan kecepatan pemakanan (f) yang dipakai didalam membubut terdapat pada "Tabel. 1".

Disain Eksperimen Faktorial 3^k [7]

Eksperimen faktorial 3^k berarti terdapat k jumlah faktor dan 3 buah taraf untuk masing-masing faktor tersebut, misalnya eksperimen faktorial 3^3 akan melibatkan 3 kator A, B, C yang masing-masing bertaraf 3.

Untuk lebih jelasnya diterapkan langsung pada permasalahan eksperimen di bidang perautan logam menggunakan mesin bubut, faktor-faktor yang dicurigai terlibat dalam proses perautan untuk menghasilkan benda kerja yang baik adalah:

Cutting Speed (V_c) → disimbolkan sebagai faktor A

Feedrate (F) → disimbolkan sebagai faktor B

Depth of cut (a_p) → disimbolkan sebagai faktor C

Level yang dipertimbangkan adalah:

Level rendah → disimbolkan sebagai level 0

Level sedang → disimbolkan sebagai level 1

Level tinggi → disimbolkan sebagai level 2

Jadi didalam penelitian ini terdapat 3 faktor (A, B, C) dan masing-masing faktor memiliki 3 level (0, 1, 2), sehingga digunakan penelitian jenis fraksional faktorial 3^k atau 3^3 yang mana memerlukan 27 unit eksperimen.

Apabila hanya bisa disediakan 9 unit penelitian karena alasan tertentu, maka di dalam kasus ini dihadapkan dengan disain berdasarkan sepertiga replikasi.

Untuk mendapatkan sebuah blok yang akan diambil untuk eksperimen, dipilih kontras penentu $I=ABC^2$ yang akan memberikan persamaan linier sebagai berikut:

$$L = X_1 + X_2 + 2X_3 \quad [\text{persamaan} \cdot 3]$$

Jika $X_i = 0, 1, 2$ ($i=1, 2, 3$) dimasukkan kedalam L dan harga-harga L (modulo 3 dari harga-harga tersebut) yang sama dikumpulkan maka diperoleh blok-blok sebagai berikut:

Tabel 2 Rancangan penelitian fraksional faktorial 3^3

BLOK I L=0	BLOK II L=1	BLOK III L=2
000	100	200
011	111	211
022	122	222
101	201	001
112	212	012
120	220	020
210	010	110
221	021	121
202	002	102

III.METODOLOGI PENELITIAN

Penentuan Parameter Penelitian

Dalam penelitian ini diambil sebuah subyek proses pembubutan bendakerja yang dicekam pada salah satu ujung dan ujung lainnya dibiarkan bebas. Namun terlalu sulit melibatkan semua parameter didalam penelitian untuk mengetahui getaran dalam perautan, sehingga hanya beberapa parameter utama saja yang diyakini memiliki peranan besar pendukung timbulnya getaran, sedangkan yang lain dijaga konstan. Parameter utama yang dimaksud adalah:

- Kecepatan putar bendakerja (S) atau Kecepatan potong (V_c)
- Kedalaman pemakanan atau *depth of cut* (a)
- Kecepatan pemakanan atau *Feedrate* (F)

Penetapan Variabel Bebas

Hasil penyederhanaan parameter yang terlibat dalam proses terjadinya getaran bisa ditetapkan sebagai variabel-variabel bebas. Variabel bebas adalah variabel-variabel yang besaran dan/atau arahnya bisa ditentukan berdasarkan pertimbangan-pertimbangan tertentu serta tujuan dari penelitian tersebut. Didalam penelitian ini yang dinyatakan sebagai variabel bebas adalah:

Kecepatan putar Bendakerja (S)

Didalam penelitian ini diambil nilai level kecepatan potong sebagai berikut:

Tabel 3. Level Kecepatan Potong

kecepatan potong [m/menit]		
Level Rendah	Level Sedang	Level Tinggi
62.8	141	219

Kecepatan potong tersebut juga bisa diekspresikan dalam bentuk kecepatan putar spindle dengan menentukan diameter bendakerja setelah diraut sebesar 20 mm, sehingga kecepatan putar yang dipakai adalah sebagai berikut:

Tabel 4. Level Kecepatan Putar Spindel Mesin Bubut

Kecepatan putar [rpm]		
Level Rendah	Level Sedang	Level Tinggi
1000	2250	3500

Kedalaman Pemakanan (a_p)

Ada dua parameter yang menentukan nilai kedalaman pemakanan, yaitu:

- Kemampuan mesin untuk membuang material (material removal rate) m^3 /menit.

- Kemampuan pemakanan dari alat potong, diadopsi dari katalog alat potong mm/put.

Didalam penelitian ini data kedalaman pemakanan (a_p) yang dipakai adalah sebagai berikut:

Tabel. 5 Level Kedalaman Pemakanan

KEDALAMAN PEMAKANAN [mm]		
Level Rendah	Level Sedang	Level Tinggi
0.3	1.15	2.0

Kecepatan Pemakanan (F)

Didalam penelitian ini data kecepatan pemakanan (f) yang dipakai adalah sebagai berikut:

Tabel. 7 Level Kecepatan Pemakanan

KECEPATAN PEMAKANAN [mm/putaran]		
Level Rendah	Level Sedang	Level Tinggi
0.08	0.165	0.25

Variabel Respon

Variabel respon juga biasa disebut sebagai *dependent variable* yaitu variabel yang nilainya tergantung pada nilai-nilai dari variabel bebas atau *independent variable(s)*. Dengan kata lain, nilai respon sangat tergantung pada perlakuan yang diberikan pada obyek penelitian dan hasilnya baru bisa diketahui setelah penelitian tersebut dilaksanakan.

Pada penelitian ini yang menjadi variabel respon adalah kualitas permukaan hasil perautan yang diwakili oleh nilai kekasaran permukaan (R_a) bendakerja dalam μm .

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian

Penelitian ini sebagian besar dilaksanakan di Laboratorium Teknologi CNC dan Laboratorium Pengujian Logam Politeknik Negeri Malang dengan fasilitas sebagai berikut:

Mesin Bubut CNC

Penelitian tentang perautan ini menggunakan mesin perkakas bubut CNC sebagaimana terlihat pada “Gambar. 2”, dengan spesifikasi sebagai berikut:

Jenis : Mesin Bubut CNC 2 sumbu

Merk : EMCO ET242

Negara pembuat : Austria

Range putaran spindle : 0 – 3500 rpm

Daya motor : 8.3 – 10 – 10 – 3.6 kW



Gambar. 2 Mesin Bubut CNC 2 sumbu EMCO ET242

Pahat sisip dan Pemegang Pahat

Untuk meraut bendakerja atau benda uji digunakan pahat sisip (insert) dan pemegang pahat (tool holder) terlihat pada “Gambar. 3”, dengan spesifikasi sebagai berikut :

Pahat sisip (insert) :

Jenis : Indexable insert

Type : CNMG 120404-TF

Merk : TIZIT

Pemegang pahat (tool holder):

Jenis : Maxilock N

Type : PCLNL 2020 K12-T

Merk : TIZIT



Gambar. 3 Pahat sisip dan pemegang pahat

Alat ukur Kekasaran

Untuk mengetahui kualitas permukaan hasil perautan dengan kondisi perautan tertentu digunakan alat pengukur kekasaran “Gambar 4”, dengan spesifikasi sebagai berikut :

- Jenis : Stylus Surface Tester
- Type : SURFTTEST III
- Merk : MITUTOYO



Gambar. 4 Alat ukur kekasaran

Alat uji Material Bendakerja

Untuk mengetahui sifat mekanik (σ_{uts}) dari bendakerja yang diraut, perlu dilakukan uji tarik terhadap bendakerja yang diraut menggunakan mesin tarik (“Gambar. 5”) dengan spesifikasi sebagai berikut:

- Jenis : Universal Testing
- Merk : TARNO GROCKI



Gambar. 5 Mesin uji tarik

Material Penelitian

Untuk mengetahui spesifikasi material yang digunakan dalam penelitian, maka dilakukan pengujian terhadap material. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian tarik. Bentuk spesimen uji tarik terlihat seperti pada “Gambar. 6”



Gambar. 6 Spesimen uji tarik

Dari hasil uji tarik dapat disimpulkan spesifikasi material sebagai berikut:

- Material : st37 DIN EN 10 025
- Tegangan ultimate (σ_{uts}) : 380 N/mm²
- Konstata Elastisitas (E) : 230 x 10⁹ N/mm²

Bentuk Bendakerja Hasil perautan dengan Mesin Bubut

Bendakerja dibentuk menggunakan mesin bubut CNC yang mengikuti gambar kerja seperti terlihat pada “Gambar. 7” dan foto gambar kerja hasil perautan terlihat pada “Gambar. 8”.

Data Hasil Pengukuran Kekasaran Permukaan

Setelah semua bendakerja selesai diraut dengan kombinasi data kondisi perautan sesuai dengan disain eksperimen, maka variabel respon yang berupa kekasaran permukaan bendakerja diukur menggunakan alat ukur kekasaran. Hasil pengukuran dapat dilihat pada “Tabel. 8”.

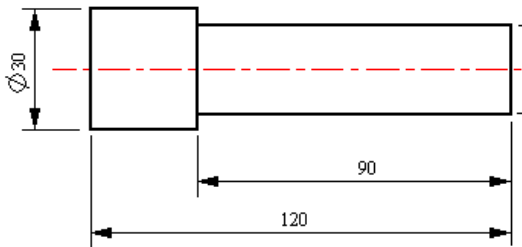
Tabel. 8 Hasil Pengukuran Kekasaran Permukaan Bendakerja

No	LEVEL FAKTOR A B C	NILAI KEKASARAN (μm)
1	0 0 0	2,5
2	0 1 1	1,5
3	0 2 2	8,5
4	1 0 1	3
5	1 1 2	5,5
6	1 2 0	3,5
7	2 1 0	1,5
8	2 2 1	1,5
9	2 0 2	2

Pembahasan

Analisis Statistik Data Perautan

Untuk melihat pengaruh masing-masing faktor (kecepatan potong, Gerak makan, dan Kedalaman pemakanan) terhadap respon (kekasaran) digunakan „*Analysis of Variants (ANOVA)*“. Dengan bantuan perangkat lunak MINITAB, didapat hasil perhitungan ANOVA sebagai berikut:



Gambar. 7 Gambar kerja Benda uji

Untuk melakukan proses perautan dengan mesin bubut CNC diperlukan sebuah program CNC sebagai berikut:

```
N0000 G54
N0010 G92 X0 Z120.
N0020 G59
N0030 T0101
N0040 G95 F340 G65 S2250 M08
N0050 M04
N0060 G00 X30. Z2.
N0070 G84 X... z-90. P0=0 P2=0 D2=0
D3=500
N0080 T0202
N0090 G95 F---- G65 S---- M08
N0100 M04
N0110 G00 X25. Z2.
N0120 G01 Z-90.
N0130 X32.
N0140 G00 Z2.
N0150 T0100
N0160 G53 G56
N0170 M30
```



Gambar. 8 Hasil proses perautan
Analysis of Variance for Roughness

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	3	168.323	173.399	57.800	11.70	0.019
2-Way Interactions	1	9.142	9.142	9.142	1.85	0.245
Residual Error	4	19.757	19.757	4.939		
Total	8	197.222				

Dari hasil di atas terlihat bahwa untuk pengaruh dari faktor utama, nilai $F_{hitung} = 11,70$ dan jika dilihat harga F pada tabel distribusi F (LAMPIRAN L2) dengan dk $v_1=3$, $v_2=4$ dan $\alpha=0,05$ didapat $F_{tabel} = 6,59$. Jadi $F_{hitung} < F_{tabel}$, hal ini menunjukkan bahwa pengaruh faktor utama perautan sangat signifikan. Dengan kata lain bahwa pemilihan nilai-nilai dari kecepatan potong, kecepatan pemakanan, dan kedalaman pemakanan sangat mempengaruhi nilai kekasaran permukaan benda kerja hasil pemesinan.

Pengaruh interaksi dari parameter pemesinan, nilai $F_{hitung} = 1,85$ dan jika dilihat harga F pada tabel distribusi F dengan dk $v_1=1$, $v_2=4$ dan $\alpha=0,05$ didapat $F_{tabel} = 7,71$. Jadi $F_{hitung} < F_{tabel}$, hal ini menunjukkan bahwa interaksi antar parameter pemesinan berpengaruh sangat signifikan terhadap nilai kekasaran permukaan benda kerja hasil pemesinan.

Penyusunan model untuk memprediksi Kekasaran

Dari hasil analisis data percobaan didapat perkiraan koefisien-koefisien untuk persamaan kekasaran permukaan, sebagai berikut:

Term	Coef
Constant	-2.67699
Speed (Vc)	0.0102185
Feed (F)	8.81060
Depth (a)	8.54013
Speed*Depth	-0.0296552

V. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari analisa data hasil yang didapat dari percobaan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- Berdasar regresi yang dilakukan pada data hasil percobaan didapat sebuah model untuk memprediksi kekasaran permukaan bendakerja hasil perautan sebagai berikut:

$$Ra = 0,0102185 V_c + 8,81060 F + 8,54013 a - 0,0296552 V_c * a - 2,67699$$

- Didapat kecerdasan tambahan yang bisa diberikan pada pengendali mesin bubut CNC, yang berupa tambahan sub-program yang dibuat berdasarkan persamaan yang didapat untuk mengetahui atau memprediksi kualitas permukaan yang akan disayat, sehingga mempercepat proses realisasi terciptanya mesin perkakas yang pintar (*smart machine tool*).

Saran

Sebagai kelanjutan dari perancangan dan penelitian ini masih ada topik yang perlu dikembangkan diantaranya: Perlu dilakukan penelitian lanjutan yang melibatkan kondisi kontur (kekasaran) bendakerja sebelum proses perautan, karena dicurigai kondisi kontur (kekasaran) permukaan bendakerja mempengaruhi fungsi pembebanan (*forcing function*) dari sistem perautan yang dipengaruhi oleh *chatter*.

VI. DAFTAR PUSTAKA

F. Konigsberger D.Sc., Dr. –Ing. E.h. & J. Tlustý Dr.Sc. (1970), “Machine Tool Structures”, Volume 1, Pergamon Press, Oxford.
 Fryderyk E. Gorczyca, P.E., C.Mfg.E (1987), “Application of Metal Cutting Theory”, Industrial Press Inc., New York.

Jerzy Warminski, Jerzy Lipski, Kazimierz Zaleski, “Modelling of Nonlinear Vibrations in Secondary Turning Process”, Technical University of Lublin, Poland.

M. Geradin / D. Rixen (1996), “Mechanical Vibration”, 2nd Edition, John Wiley & Sons, New York.

Robert G. Landers, A. Galip Ulsoy (1996), “Chatter Analysis of Machining Systems with Nonlinear Force Processes, Vol. 58, pp. 183-190, ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition, Atlanta, Georgia.

Steve F. Krar & Albert F. Check (1988), “Technology of Machine Tools, 5th Edition, McGraw-Hill, New York.

Sudjana, M.A., MSc, DR (1985), “Disain dan Analisis Eksperimen”, Tarsito, Bandung.

T.Y. Yang (1986), “Finite Element Structural Analysis”, Prentice Hall, New Jersey.

Taufiq Rochim (1993), “Teori & Teknologi Proses Pemesinan”, Higher Education Development Support Project.

Thomas L. Lago, Sven Olsson, Lars Hakansson and Ingvar Claesson (2002), “Performance of a chatter Control System for Turning and Boring Application”, 4th GRACM Congress on Computational Mechanics.

Zaweri, M.Phil. (1984), “Modal Analysis of Large Structures – Multiple Exciter Systems, Bruel & Kjaer,