PENGARUH *CUTTING SPEED* DAN *DEPTH OF CUT* KONDISI *CHATTER* TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN BENDA KERJA PROSES BUBUT

SKRIPSI
KONSENTRASI PRODUKSI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh:

WAHYU BUDIARTO
NIM. 105060209111001-62

KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG

2013

LEMBAR PERSETUJUAN

PENGARUH *CUTTING SPEED* DAN *DEPTH OF CUT* KONDISI *CHATTER* TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN BENDA KERJA PROSES BUBUT

SKRIPSI

KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun Oleh :

WAHYU BUDIARTO
NIM. 105060209111001-62

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I	Dosen Pembimbing II
Ir. Endi Sutikno, MT.	**Ir. Erwin Sulistyo, MT.**
NIP. 19590411 198710 1 001	**NIP. 19661213 199802 1 001**

Pengaruh *Cutting Speed* dan *Depth of Cut* Kondisi *Chatter* Terhadap Kekasaran Permukaan Benda Kerja Proses Bubut

Wahyu Budiarto, Endi Sutikno, Erwin Sulistyo
Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
Jl. MT. Haryono 167, Malang 65145, Indonesia
E-mail: el_wahyudha@yahoo.co.id

Abstrak

Proses pembubutan merupakan salah satu proses machining untuk pembentukan komponen yang berbentuk silindris sehingga diperoleh kualitas permukaan yanglebih baik. Proses ini banyak diaplikasikan pada poros, pen, upper center plate, camshaft, crank shaft dan masih banyak lagi komponen yang memanfaatkan proses pembubutan. Kualitas kekasaran permukaan sangat dipertimbangkan untuk meminimalkan gesekan yang terjadi pada komponen. Hal ini tergantung dari variabel proses pembubutan, dimana cutting speed dan depth of cut merupakan parameter yang mempengaruhi kualitas permukaan akhir benda kerja. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh cutting speed dan depth of cut kondisi chatter terhadap kekasaran permukaan benda kerja hasil proses pembubutan. Penelitian ini menggunakan metode eksperimental, variabel bebas yang digunakan yaitu utting speed dan depth of cut, dengan variasi cutting speed 8.635, 12.168, 14.915, 20.410 dan 25,120 m/menit sedangkan depth of cut dengan variasi 0.6, 0.9 dan 1.2 mm. Variabel terikat pada penelitian ini adalah amplitudo getaran dan kekasaran permukaan hasil proses bubut. Pengukuran kekasaran permukaan dengan menggunakan surface roughness SJ 301 dengan mengambil nilai kekasaran permukaan rata-rata aritmatis (Ra). Nilai kekasaran permukaan terendah pada proses pembubutan sebesar 4.216 µm dengan amplitudo getaran sebesar 18.232 m/s^2 dimana hasil ini didapatkan dari kombinasi variabel cutting speed 8.635 m/min dan depth of cut 0.6 mm. Nilai Kekasaran permukaan tertinggi sebesar 7.630 µm dengan amplitudo getaran sebesar 377.881 m/s^2 dimana hasil ini didapatkan pada variasi cutting speed 25.120 m/min dengan depth of cut 1.2 mm.

Keyword**:** *Cutting Speed, Depth of Cut, Amplitudo of vibration, Surface Roughness*

PENDAHULUAN

Pemotongan logam adalah sebuah cara untuk membuat satu atau beberapa produk dalam berbagai bentuk dari bahan yang tersedia Doyle *et al*. (1961). Alat pemotongan logam yang banyak digunakan salah satunya adalah mesin bubut dengan proses *turning*. Proses *turning* digunakan untuk pembubutan komponen mesin yang berbentuk silidris Sugondo *et al*. (2008). Proses pemesinan pada mesin bubut adalah terjadinya gerak relatif antara pahat dan benda kerja akan menghasilkan variasi *chip* yang berakibat pada perubahan gaya, sehingga amplitudo getaran terus membesar dengan cepat. Selain itu bertambahnya amplitudo yang terjadi juga disebabkan oleh energi yang dipakai pada proses pemotongan. Energi yang mengeksitasi getaran berasal dari proses pemotongan itu sendiri dan disebut getaran eksitasi diri atau lebih dikenal dengan *chatter* Nur (2011). *Chatter* merupakan hal yang harus dihindari pada proses pemesinan.

Pemotongan logam pada mesin bubut, gaya yang terjadi adalah gaya potong tangensial, yang secara umum dipengaruhi oleh tiga variabel utama selama terjadi *chatter*, *depth of cut*, *rake angle* pahat potong, dan *cutting speed* Chen (1972). Dalam hal ini, *cutting speed* dan *depth of cut* adalah parameter signifikan yang

mempengaruhi kekasaran permukaan Thien Nga Ting (2009). Sehingga kenaikan *cutting speed* akan secara signifikan menyebabkan terjadinya kenaikan *depth of cut* sampai mencapai batas kestabilan Nur (2011). Dalam hal ini, apabila *depth of cut* ditambah maka amplitudo pada spektrum juga bertambah dan apabila kedalaman potong ditambah maka akan terjadi pertambahan amplitudo sampai kedalaman maksimal Nur (2011). *Chatter* yang terjadi pada pemotongan logam memiliki pengaruh buruk pada *surface finish* dan keakurasian dimensi benda kerja, umur pahat dan bahkan umur mesin Kovačić (1998). *Chatter* yang terjadi menimbulkan permukaan yang bergelombang, yang menyebabkan proses pemotongan berikutnya mengalami pembebanan yang bervarisi. Dan ketika hal itu terjadi, variasi pembebanan tadi memperburuk getaran yang yang sudah ada Suhariyono (2008).

Hukum newton kedua untuk gerak diterapkan pada masa *m* untuk getaran bebas tanpa redaman adalah:

$$m\ddot{x} = \Sigma F = w - k(\Delta + x) \quad (1)$$

dan karena $k\Delta=w$, diperoleh,

$$m\ddot{x} = -kx \quad (2)$$

Dengan *k* adalah konstanta pegas, *x* sebagai perpindahan dan $\ddot{x}$ adalah percepatan maka jelaslah bahwa pemilihan posisi kesetimbangan statik sebagai sebagai acuan untuk *x* mengeliminasi *w*, yaitu gaya yang disebabkan gravitasi, dan gaya pegas statik $k\Delta$ dari persamaan gerak, hingga gaya resultante pada *m* adalah gaya pegas karena simpangan *x* saja.

Dengan mendefinisakan frekuensi *natural* ω_n lewat persamaan,

$$\omega_n^2 = \frac{k}{m} \quad (3)$$

Perioda *natural* osilasi dibentuk dari $\omega_n\tau = 2\pi$, atau

$$\tau = 2\pi\sqrt{\frac{k}{m}} \quad (4)$$

dan frekuensi natural adalah

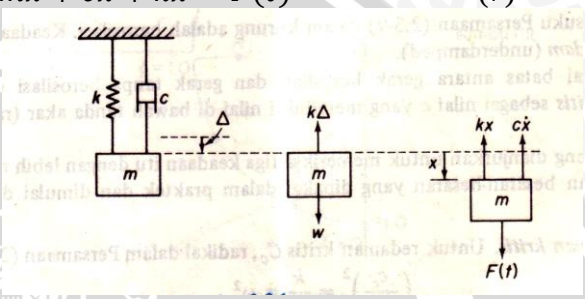
$$f_n = \frac{1}{\tau} = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k}{m}}\ ; (\text{Hz}) \quad (5)$$

Gaya redaman karena kekentalan dinyatakan oleh persamaan,

$$F_d = c\dot{x} \quad (6)$$

Dengan *c* adalah konstanta peredaman. Secara simbolik gaya ini dinyatakan oleh peredam seperti terlihat pada gambar 1. Dari diagram benda bebas persamaan gerak dapat ditulis sebagai berikut:

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = F(t) \quad (7)$$



Gambar 1 Sistem getaran bebas dengan redaman dan diagram benda bebas.
Sumber : William T. Thomson (1995: 27).

Solusi persamaan diatas jika *F(t)* = 0, merupakan solusi getaran teredam bebas, persamaannya adalah:

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = 0 \quad (8)$$

Nilai koefisien redaman kritis pada model massa-pegas-peredam adalah:

$$C_c = 2\sqrt{km} \quad (9)$$

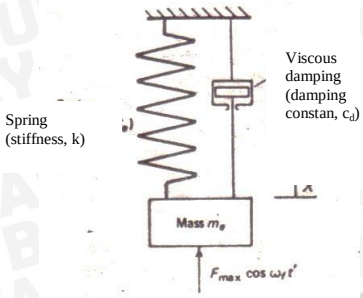
Rasio redaman (ζ) untuk getaran bebas teredam adalah:

$$\zeta = \frac{c}{2\sqrt{km}} \quad (10)$$

Hubungan Frekuensi natural teredam (ω_d) dengan frekuensi natural tak teredam adalah,

$$\omega_d = \omega_n\sqrt{1-\zeta^2} \quad (11)$$

Getaran yang terjadi pada proses pemesinan adalah getaran paksa, yaitu getaran yang disebabkan oleh eksitasi getaran dari luar. Untuk sistem dengan satu derajat kebebasan gambar 2, persamaan getaran paksa yang terjadi adalah sebagai berikut Boothroyd *et al*. (1981),



Gambar 2 Pemodelan sistem pegas massa satu derajat kebebasan dengan peredam cairan.

Sumber : Boothroyd (1981: 198).

$$m\frac{d^2x}{dt^2} + c_d\frac{dx}{dt} + kx = F_{max}cos\omega t \quad (12)$$

dengan:

x = Perpindahan (mm).

t = Waktu (s).

m = Massa ekivalen (kg).

c_d = Konstanta peredam cairan (Ns/m).

k = Kekakuan pegas (N/m).

F_{max} = Nilai puncak dari gaya harmoni eksternal (N).

ω = Frekuensi eksitasi (rad/s).

Boothroy *et al*. (1981) getaran *steady state* dari sistem ini adalah:

$$X = \frac{F_o \cos(\omega t - \emptyset)}{\sqrt{4\zeta^2\omega^2 + (\omega_n^2 - \omega^2)^2}} \quad (13)$$

dengan:

F_o = $\frac{F_{max}}{m}$ (N/kg) = Nilai puncak dari gaya harmoni eksternal dibagi massa ekivalen.

ω_n = $\sqrt{\frac{k}{m}}$ (s^{-1}) = Frekuensi *natural*.

ζ = $\frac{c_d}{2\omega_n m}$ = Rasio redaman.

Ø = $tan^{-1}\left(\frac{2\zeta\omega\omega_n}{\omega_n^2 - \omega^2}\right)$ = Sudut fase antara respon dan eksitasi.

Persamaan 14, menunjukkan gerakan frekuensi eksitasi anguler (ω) dengan amplitudonya sebagai berikut Boothroyd *et al*. (1981):

$$X = \frac{F_o}{\sqrt{4\zeta^2(\omega^2 + (\omega_n^2 - (\omega^2)^2}} \quad (14)$$

dimana:

X = Amplitudo getaran (m)

F_o = Nilai puncak gaya pengganggu dibagi massa (N/kg).

ω = Frekuensi eksitasi (rad/s)

ω_n = Frekuensi *natural* dari sistem (rad/s)

ζ = Koefisien redaman kritis

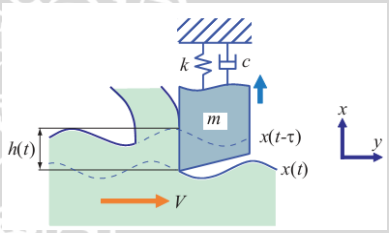
Skematis model pemotongan orthogonal sederhana ditunjukkan pada gambar 3. Gaya pemotongan dibangkitkan pada waktu *t* yang dinyatakan sebagai:

$$F_x(t) = K_f b[f - x(t) + x(t - t')]$$
$$= m\ddot{x}(t) + c\dot{x}(t) + kx(t) \quad (15)$$

dimana x(t) dan x(t-τ) adalah getaran dalam dan getaran luar.

Untuk mempermudah penyelesaian gaya pemotongan diatas maka dilakukan pendekatan dengan sistem peredam eksitasi harmonik, sehingga didapat persamaan sebagai berikut:

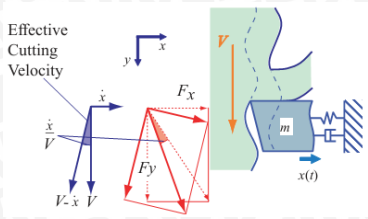
$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = cX\omega cos\omega t + kXsin\omega t \quad (16)$$



Gambar 3 *Chatter* yang timbul pada pemotongan ortogonal.

Sumber : Mahdi Eynian *et al*. (2007: 1).

K_f adalah koefisien gaya potong statis untuk *feed* dan arah *cutting speed*. *b* adalah lebar pemotongan, *f* adalah *feed* per putaran, dan *t'* adalah waktu tunda antara gelombang getaran bagian dalam dan luar. Persamaan 15 digunakan untuk kecepatan yang cukup tinggi dimana pengaruh kontak pahat dengan permukaan akhir diabaikan. Eynian *et al*. (2007) memasukan perubahan arah gaya potong yang disebabkan oleh kecepatan getaran seperti yang ditunjukkan pada gambar 4 berikut:



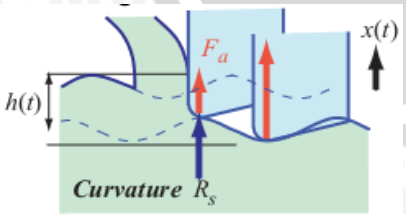
Gambar 4 Pengaruh kecepatan getaran terhadap dinamika gaya pemotongan.
Sumber : Mahdi Eynian *et al*. (2007: 1).

Ini mengarah pada:

$$F_x(t) = K_f b[f - x(t) + x(t-\tau)] - K_t bf\frac{\dot{x}}{V} \quad (17)$$

Bandingkan persamaan 15 dan 17, hubungan waktu (-ẋ/V) meningkatkan peredaman pada sistem ($c + \frac{K_t bf}{V}$ sebagai pengganti c) pada kecepatan potong rendah. Ketika Tobias memodifikasi model proses pemotongan dinamik menyebabkan peningkatan stabilitas pada kecepatan rendah, hal ini memerlukan perbaikan lebih lanjut untuk memprediksi stabilitas *chatter* pada kecepatan rendah. Pendapat dalam literatur menyatakan bahwa gaya potong dinamik bergantung pada osilasi sudut geser yang disebabkan oleh getaran dan kecepatan potong. Selanjutnya Eynian *et al*. (2007) membuktikan bahwa sisi bergelombang pada bidang kontak permukaan akhir berkontribusi pada gaya potong dinamis, dan meningkatkan daya redam dengan baik.

Selain pengaruh kecepatan yang disarankan, waktu akselerasi juga dipertimbangkan untuk memperhitungkan pengaruh kelengkungan gelombang pada kontak sisi dan radius tepi pahat, lihat gambar 5.



Gambar 5 Pengaruh lengkungan gelombang pada gaya kontak sisi.
Sumber : Mahdi Eynian *et al*. (2007: 2).

Secara keseluruhan model proses pemotongan dinamik berikut digunakan untuk melihat kontribusi waktu regeneratif, kecepatan, modulasi bagian dalam dan luar dan pengaruh percepatan:

$$F_x(t) = b\left\{K_f[f - x(t) + x(t-t')] - \frac{C_i\dot{x}(t)}{V} - \frac{b_i\ddot{x}(t)}{V^2}\right\} \quad (19)$$

Sedangkan koefisien gaya potong statik K_f dapat dengan mudah diidentifikasi dari getaran bebas pengujian pemotongan *orthogonal*, kecepatan dan percepatan bergantung pada koefisien gaya potong (C_i dan b_i) yang hanya bisa diidentifikasi dari serangkaian pengujian pemotongan dinamik.

Pada saat gerak harmonik ($x(t) = Xe^{j\omega t}$) di aplikasikan pada pahat potong dengan frekuensi eksitasi ω dan amplitudo X, persamaan gaya pemotongan dinamik menjadi:

$$F_x(t) = K_f bf + bXe^{j\omega t}\left\{-K_f\left[1 - e^{-j\omega t}\right] - \frac{C_i j\omega}{V} + \frac{b_i\omega^2}{V^2}\right\} \quad (20)$$

Panjang gelombang getaran yang dicantumkan pada permukaan adalah $\lambda = V\frac{2\pi}{\omega}$, yang mengarah ke $\frac{\omega}{V} = \frac{2\pi}{\lambda}$. Modifikasi gaya pemotongan dinamik ditunjukkan sebagai berikut:

$$F_x(t) = K_f bf + bXe^{j\omega t}\left\{-K_f\left[1 - e^{-j\omega t}\right] - j\frac{2\pi}{\lambda}C_i + \frac{4\pi^2}{\lambda^2}b_i\right\} \quad (21)$$

Pada kondisi *steady state* dengan pendekatan sistem redaman tereksitasi harmonik, solusi untuk F(*x*) adalah:

$$F_x(t) = F_T\cos(\omega t - \phi_1 - \phi_2) \quad (22)$$

Korelasi gaya redam terhadap panjang gelombang getaran atau rasio frekuensi getaran atas kecepatan potong. Pengaruh kecepatan potong bisa dianalisa dari persamaan gaya pemotongan dinamik. Pertimbangan bahwa frekuensi eksitasi getaran kritis ω tetap dekat dengan frekuensi *natural* dari struktur, seperti meningkatnya kecepatan potong, panjang gelombang dari getaran menjadi lebih besar dan mengurangi kontak sisi. Dengan kata lain, pengaruh dari

hubungan kecepatan dan akselerasi dalam model gaya potong dinamik menurunkan kecepatan potong tinggi. Namun, karena penurunan kecepatan potong, hubungan ($2\pi/\lambda$) meningkat dan stabilitas proses sangat dipengaruhi.

Dua kriteria kekasaran permukaan adalah R_z dan R_a, nilai penyimpangan mikro R_z, yang didefinisikan sebagai rata-rata ketinggian (jarak puncak ke lembah) dari lima penyimpangan utama (gambar 6a) yang diukur sepanjang garis dasar.

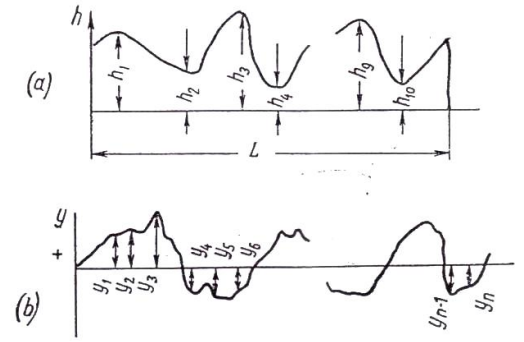
$$R_z = \frac{(h_1+h_3+h_5+h_7+h_9)-(h_2+h_4+h_6+h_8+h_{10})}{5} \quad (23)$$

Sedangkan penyimpangan nilai rata-rata R_a sesuai rumus berikut:

$$R_a = \frac{1}{n}(y_1 + y_2 + y_3 + \cdots + y_n) = \frac{\sum_{i=1}^{n} y_1}{n} \quad (24)$$

yang mana: y_1, y_2, y_3, dll adalah jarak dari titik permukaan profil dari garis tengah (gambar 6b); n adalah jumlah titik penyimpangan dari profil mikro yang diukur.

Garis tengan membagi profil permukaan sehingga penjumlahannya: $y_1^2 + y_2^2 + y_3^2 + \cdots + y_n^2 = 0$



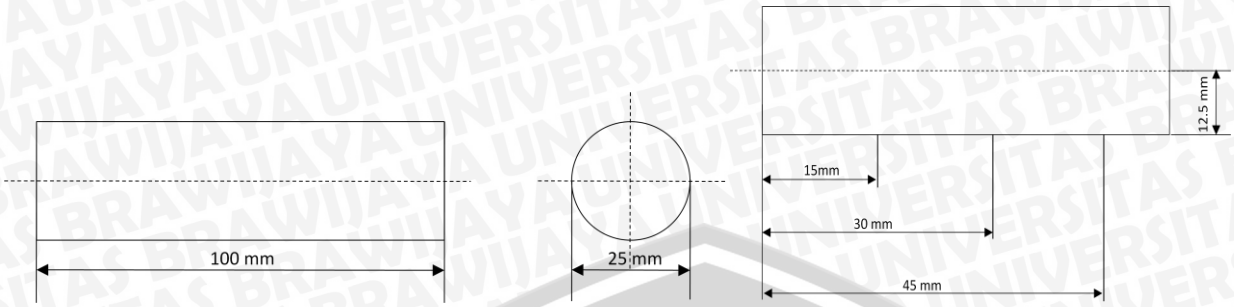
Gambar 6 Menentukan R_z dan R_a dari penyimpangan permukaan
Sumber: D. Maslov *et al*. (1967: 221).

Pada penelitian ini akan ditelaah sejauh mana *cutting speed* dan *depth of cut* kondisi *chatter* berpengaruh terhadap kekasaran permukaan proses bubut.

METODE PENELITIAN

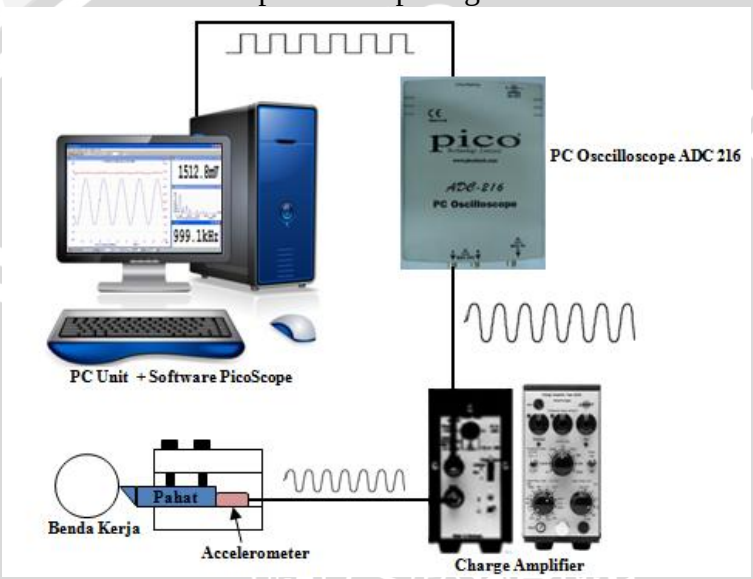
Penelitian ini menggunakan material *Carbon steel* S45C berbentuk poros berdiameter 25 mm dengan kandungan karbon 45%. Spesimen berukuran panjang 100 mm dengan 50 mm untuk panjang pembubutan dan 40 mm untuk pencekaman sisanya untuk celah kebebasan pahat dan *spindle*, gambar 7 menunjukkan dimensi dari benda kerja. Penelitian ini menggunakan *cutting speed* 8.635, 12.168, 14.915, 20.410 dan 25,120 (m/menit) dan *depth of cut* 0.6, 0.9, dan 1.2 mm dengan *feeding konstan* 0.07 (mm/*rev*).

Instalasi penelitian dapat dilihat pada gambar 8, Pada penelitian ini digunakan komputer sebagai alat bantu visualisasi dari getaran (*chatter*) yang terjadi pada saat proses pembubutan. Cara kerja dari instalasi uji *chatter* ini adalah meneruskan sinyal getaran dari pahat kemudian diterima oleh sensor (*accelerometer*) berupa sinyal analog dan dikuatkan oleh *charge amplifier*, sinyal analog yang telah dikuatkan oleh *charge amplifier* dirubah menjadi sinyal digital oleh ADC dan diteruskan ke *computer*, dengan bantuan *software* sinyal digital yang diterima *computer* ditampilkan berupa getaran dalam fungsi tegangan terhadap waktu. Kemudian data ini diolah menjadi data getaran dengan menggunakan *software Mathcad*, sehingga *out put*-nya berupa domain waktu (domain frekuensi) terhadap percepatan. Pengukuran kekasaran permukaan dengan menggunakan s*urface roughness* SJ 301. Pengambilan data getaran (*chatter)* dan kekasaran permukaan dilakukan pada bagian ujung tengah dan pangkal dari spesimen.



Gambar 7 Dimensi dan Posisi Pengujian Spesimen.

Instalasi alat uji *chatter hard chrome* dapat dilihat pada gambar 3 berikut:



Gambar 8 Instalasi Pengujian Getaran pada Proses Pembubutan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data hasil pengujian amplitudo getaran dan kekasaran permukaan proses bubut dengan variasi *cutting speed* dan *depth of cut*, *feeding* 0.07 mm/*rev*, panjang pembubutan 50 mm, penguatan sinyal getaran 3.16 mV/*unit out* ditunjukkan pada tabel 1. Dari tabel 1 maka didapatkan grafik hubungan antara *cutting speed* dan *depth of cut* terhadap amplitudo getaran dan kekasaran permukaan pada hasil proses pembubutan. Dengan pendekatan transformasi *fourier* akan didapat *response* yang berupa perpindahan, kecepatan dan percepatan. Berikut adalah koefisien-koefisien dalam transformasi *fourier*:

$$a_0 = \frac{1}{T}\int_0^T \frac{F_0}{T}\, t\, dt = \frac{F_0}{2} \quad (25)$$

$$\alpha_n = \frac{2}{T}\int_0^T \frac{F_0}{T}\, t.\cos n.\omega.t.dt = 0 \quad (26)$$

$$b_n = \frac{2}{T}\int_0^T \frac{F_0}{T}\, t.\sin n.\omega.t.dt = -\frac{F_0}{n.\pi} \quad (27)$$

Sehingga akan didapat *response* sebagai berikut:

$$X(t) = \frac{F_0}{2k} - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{F_0 \sin n.\omega.t}{n.\pi.k(1-r_n^2)} \quad (28)$$

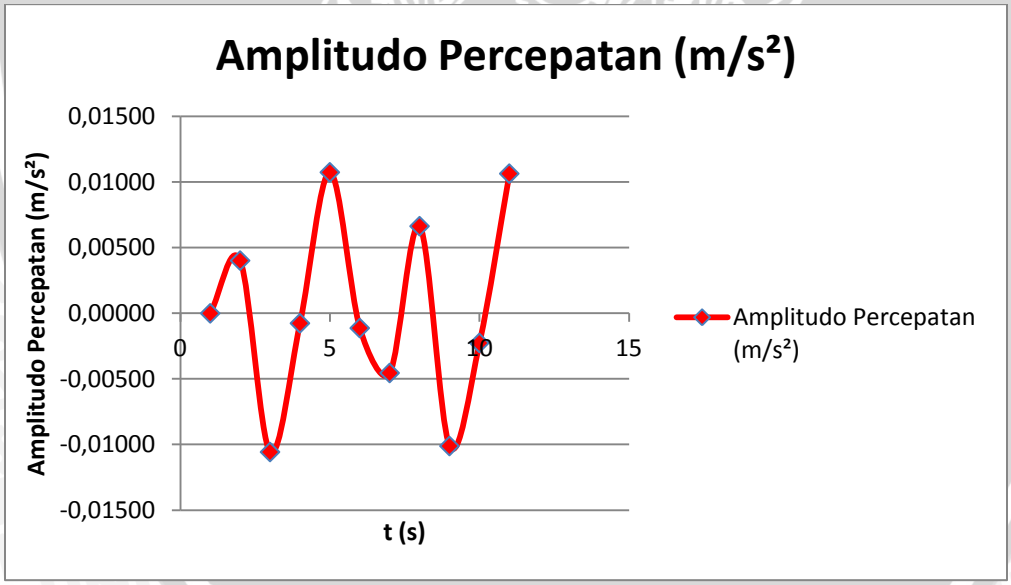
$$X'(t) = -\sum_{n=1}^{\infty} \frac{F_0\, \mathrm{n}.\omega \cos(n.\omega.t)}{n.\pi.k(1-r_n^2)} \quad (29)$$

$$X''(t) = +\sum_{n=1}^{\infty} \frac{(F_0.n.\omega^2)\sin(n.\omega.t)}{\pi.k(1-r_n^2)} \quad (30)$$

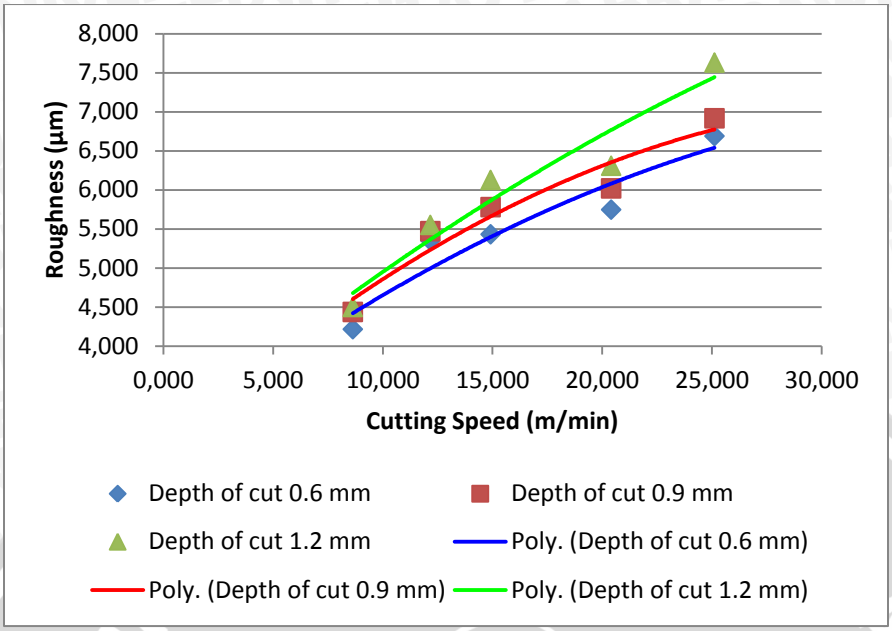
Dari persamaan 30 akan didapat *response* getaran sebagai berikut:

Tabel 4.1 Amplitudo percepatan dari getaran

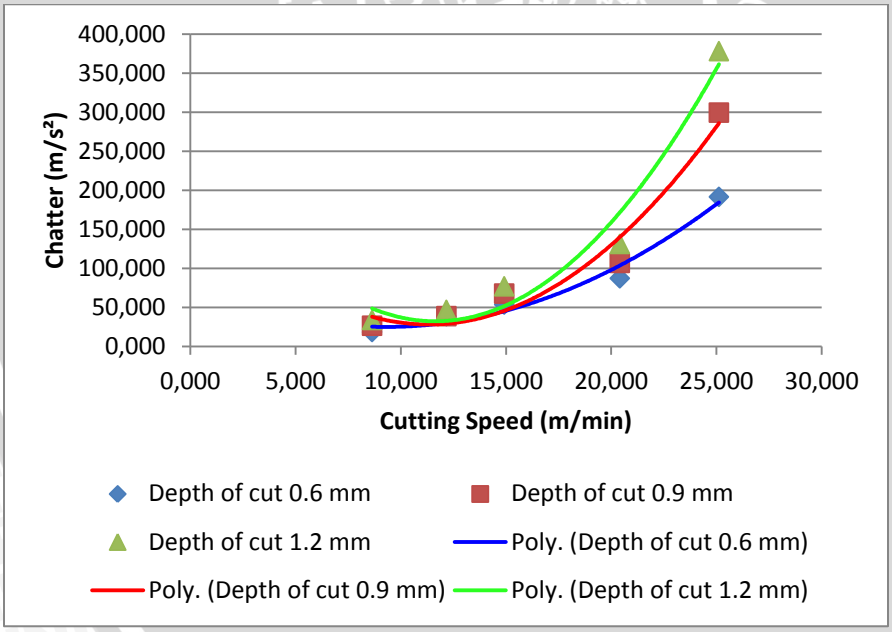
Waktu (s)	AMPLITUDO (m/s²)				
	X_1	X_2	X_3	X_4	ΣX
0	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
1	-0,00356	-0,00705	0,00023	0,01440	0,00402
2	-0,00352	0,00720	-0,00046	-0,01378	-0,01056
3	0,00008	-0,00030	0,00068	-0,00121	-0,00076
4	0,00360	-0,00689	-0,00091	0,01494	0,01074
5	0,00348	0,00734	0,00114	-0,01308	-0,00112
6	-0,00015	-0,00061	-0,00136	-0,00242	-0,00454
7	-0,00363	-0,00672	0,00159	0,01540	0,00664
8	-0,00344	0,00747	-0,00182	-0,01232	-0,01011
9	0,00023	-0,00091	0,00204	-0,00361	-0,00226
10	0,00367	-0,00654	-0,00226	0,01577	0,01064
11	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
Dst					



Gambar 9 Amplitudo percepatan dari perhitungan transformasi *fourier*



Gambar 4.4 Grafik pengaruh *cutting speed* dan *depth of cut* kondisi *chatter* terhadap amplitudo getaran hasil proses pembubutan.



Gambar 4.5 Grafik pengaruh *cutting speed* dan *depth of cut* kondisi *chatter* terhadap kekasaran permukaan hasil proses pembubutan.

Grafik hubungan *cuttting speed* dan *depth of cut* kondisi *chatter* terhadap amplitudo dapat dilihat pada grafik 4.4, sedangkan hubungan *cuttting speed* dan *depth of cut* kondisi *chatter* terhadap kekasaran permukaan dapat dilihat pada gambar 4.5. Dari kedua grafik menunjukkan bahwa kenaikan *cutting speed* dan *depth of cut* kondisi *chatter* akan menghasilkan amplitudo getaran yang semakin tinggi

sehingga mengakibatkan permukaan benda kerja akan semakin kasar. Kenaikan *cutting speed* dengan *depth of cut* yang konstan juga akan mengakibatkan naiknya amplitudo getaran sehingga permukaan benda kerja juga akan semakin kasar. Selain itu semakin besar *depth of cut* dengan *cutting speed* yang konstan juga berpengaruh terhadap amplitudo getaran yang terjadi selama proses pembubutan, dimana semakin besar *depth of cut* amplitudo getaran yang terjadi semakin tinggi sehingga permukaan benda kerja semakin kasar. Hal ini menunjukkan bahwa *cutting speed* dan *depth of cut* berpengaruh secara signifikan terhadap amplitudo getaran yang terjadi pada proses pembubutan, dan akan berdampak pada kualitas hasil akhir dari permukaan benda kerja.

Depth of cut berpengaruh secara signifikan terhadap kekasaran permukaan hasil proses pembubutan. Hal ini dikarenakan lebar *chip* dipengaruhi oleh ketebalan *chip* sehingga semakin lebar *chip* yang dihasilkan pada saat proses pembubutan maka akan menghasilkan *chip* yang semakin tebal. Lebar *chip* pada proses bubut tergantung pada pada parameter *depth of cut*, yang mana parameter ini telah ditentukan sebelum proses pembubutan dilakukan. Hubungan antara *depth of cut* dan lebar *chip* dapat dilihat pada persamaan berikut Rochim (1993):

$$b = \frac{\mathrm{a}}{\sin Kr}$$

dengan:

b = lebar *chip* (m)
a = *depth of cut* (m)
Kr = Sudut potong utama (°)

Pada formasi pembentukkan *chip*, ketebalan *chip* sebelum dan sesudah terdeformasi digunakan untuk menentukkan besarnya gaya geser yang terjadi pada saat proses pembubutan dengan menggunakan metode *merchant's cyrcle*. Hal ini sesuai dengan persamaan Amstead *et al* (1987):

$$r = \frac{\mathrm{a_0}}{\mathrm{a_c}} = \frac{sin\ \theta}{\cos(\theta - \alpha)}$$

Persaman diatas menunjukkan bahwa semakin besar tebal *chip* (a_o) akan diikuti oleh kenaikan tebal *chip* setelah terdeformasi (a_c) sehingga sudut geser yang terbentuk juga akan semakin besar dan semakin besar sudut geser (Θ) maka gaya geser yang terjadi pada saat proses pembubutan juga akan semakin besar.

Pada proses pembubutan, gerak relatif pahat terhadap benda kerja akan mengakibatkan perubahan tebal geram yang berakibat pada terjadinya perubahan gaya potong Koenigsberger & Tlusty 1970). Sehingga dapat disimpulkan bahwa variasi gaya potong (*Fc'*) terjadi karena pengaruh perubahan luas penampang *chip* dan arah dari variasi gaya potong (*Fc'*) sama dengan arah gaya pemotongan (*Fc*) yang stabil. Menurut F. Koenigsberger & J. Tlusty gaya potong yang terjadi akibat variasi luas penampang *chip* dirumuskan sebagai berikut,

$$Fc' = C\mathrm{a}_o f^{0.75} = C_1 b \mathrm{a}_o^{0.75}$$

dengan:

Fc' = variasi gaya pemotongan (N)
C, C_1 = Konstanta
f = *feeding* (m/*rev*)
b = lebar *chip* (m)
a_o = tebal *chip* (m)

Perubahan gaya potong akibat perubahan tebal *chip* akan menyebabkan variasi pada amplitudo getaran yang terjadi pada proses pemotongan dan amplitudo inilah yang mempengaruhi kekasaran permukaan dari benda kerja.

Persamaan Koenigsberger & Tlusty (1970) dibawah ini menunjukkan pengaruh *cutting speed* terhadap pergeseran sudut fasa,

$$\psi = \frac{2\pi\omega l}{V_c}$$

dengan:

ψ = Pergeseran sudut fasa (m)
ω = frekuensi eksitasi (rad/s)
l = panjang lingkar benda kerja (m)
Vc = *Cutting speed* (m/min)

Cutting speed berpengaruh terhadap pergeseran sudut fasa (ψ) dimana semakin tinggi *cutting speed* akan meghasilkan pergeseran sudut fasa yang kecil karena sudut fasa berbanding terbalik dengan *cutting speed*. Jika pergeseran sudut fasa yang terjadi kecil maka jarak antara sudut fasa satu ($\emptyset_1$) dengan sudut fasa dua ($\emptyset_2$) akan semakin dekat sehingga besarnya sudut fasa yang terbentuk akan mempunyai perbedaan yang kecil dan sebaliknya jika jarak yang terbentuk antara sudut fasa satu dengan sudut fasa dua besar maka besar sudut fasa akan mempunyai selisih yang besar. Hal ini akan mempengaruhi gaya potong yang terjadi pada pahat.

Selain itu gaya yang terjadi pada saat proses pembubutan juga dipengaruhi oleh *cutting speed* (*Vc*). *Cutting speed* ditentukan oleh putaran *spindle* dari mesin bubut, yang mana putaran *spindle* adalah frekuensi eksitasi (ω) dari sistem pemotongan tesebut. Persamaan 22 menunjukkan pengaruh frekuensi eksitasi dan sudut fasa terhadap gaya potong yang terjadipada pahat:

$$F_x(t) = F_T \cos(\omega t - \phi_1 - \phi_2)$$

Semakin tinggi putaran *spindle* maka *cutting speed*-nya akan semakin besar sehingga gaya yang bekerja juga akan semakin besar karena frekuensi eksitasi dari sistem berbanding lurus dengan gaya potong yang bekerja pada saat proses pembubutan, dan semakin besar sudut fasa juga akan meningkatkan gaya potong yang terjadi pada pahat karena sudut fasa berbanding lurus dengan gaya potong yang terjadi pada pahat. Selain itu besar gaya yang bekerja pada saat pemotongan berlangsung juga dipengaruhi oleh frekuensi natural (ω_n) dan rasio redaman dari pahat, yang mana frekuensi natural dan rasio redaman dipengaruhi oleh kekakuan (*k*) dan massa pahat (*m*) yang digunakan.

Gaya yang bekerja pada saat proses pembubutan akibat pengaruh *depth of cut* dan *cutting speed* digunakan untuk menentukan amplitudo getaran yang terjadi pada saat proses pemotongan dengan menggunakan persamaan 14:

$$X = \frac{F_o}{\sqrt{4\zeta^2\omega^2 + (\omega_n^2 - \omega^2)^2}}$$

Dari persamaan diatas dapat dilihat bahwa semakin besar gaya yang bekerja pada saat proses pembubutan maka amplitudo getaran yang dihasilkan akan semakin tinggi. Amplitudo getaran yang semakin tinggi akan mempengaruhi permukaan akhir dari benda kerja karena pada permukaan benda kerja akan muncul *waviness* (gelombang-gelombang) dan *micro roughness* yang akan menaikkan nilai kekasaran permukaan dari benda kerja tersebut Koenigsberger & Tlusty (1970).

Data getaran yang didapat dari penelitian adalah getaran acak dengan satu derajat kebebasan yang mana getaran ini tidak bisa didekati dengan fungsi harmonik sehingga penyelesaiannya menggunakan analisa periodik. Pada getaran acak lebar gelombang satu dengan yang lain tidak sama, begitu juga amplitudo getaran yang terjadi juga mempunyai nilai yang berbeda-beda tetapi dalam periode yang konstan, akibat yang terjadi karena getaran acak ini adalah tebal *chip* yang berbeda-beda sehingga memungkinkan semakin besarnya *waviness*, dan *micro roughness* yang terjadi dan juga akan memunculkan *error of form* yang berakibat pada kekasaran permukaan dari benda kerja akan semakin tinggi.

Adanya pengaruh yang nyata antara *cutting speed* dan *depth of cut* terhadap getaran yang terjadi selama proses pembubutan yang berakibat pada kekasaran permukaan benda kerja dimana nilai kekasaran permukaan terendah pada proses pembubutan sebesar 4.216 µm dengan amplitudo getaranya sebesar 18.232 m/s^2 dimana hasil ini didapatkan dari kombinasi variabel *cutting speed* 8.635 m/min dan *depth of cut* 0.6 mm. Nilai Kekasaran permukaan tertinggi sebesar 7.630 µm dengan amplitudo getaranya sebesar 377.881 m/s^2 dimana hasil ini didapatkan pada

variasi *cutting speed* 25.120 m/min dengan *depth of cut* 1.2 mm. Hasil ini menunjukkan bahwa semakin tinggi *cutting speed* dengan *depth of cut* yang semakin besar akan didapat amplitudo getaran yang semakin tinggi sehingga akan menghasilkan permukaan benda kerja yang semakin kasar. Pada penelitian ini produk hasil pembubutan mempunyai kekasaran permukaan yang satara dengan N8 dan N9.

KESIMPULAN

Cutting speed dan *depth of cut* berpengaruh terhadap amplitudo getaran yang terjadi pada proses pembubutan, sehingga mempengaruhi kekasaran permukaan hasil pembubutan yang menggunakan spesimen uji *carbon steel* S45C. Nilai kekasaran permukaan terendah pada proses pembubutan sebesar 4.216 μm dengan amplitudo getaranya sebesar 18.232 m/s^2 dimana hasil ini didapatkan dari kombinasi variabel *cutting speed* 8.635 m/min dan *depth of cut* 0.6 mm. Nilai Kekasaran permukaan tertinggi sebesar 7.630 μm dengan amplitudo getaranya sebesar 377.881 m/s^2 dimana hasil ini didapatkan pada variasi *cutting speed* 25.120 m/min dengan *depth of cut* 1.2 mm.

DAFTAR PUSTAKA

Boothroyd, Geoffrey. 1981. *Fundamentals of Metal Machining and Machine Tools*. Washington D.C: Scripta Book Company.

Chen, Mung. 1972. *Self-induced Chatter Vibration of Lathe Machine*. Tesis tidak dipublikasikan. Vancouver: University of British Columbia.

E, Lawrence., Doyle Morris, Joe L., Leach, James L. & Schrader, George F. 1961. *Manufacturing Process and Materials for Engineers*. New Jersey: Prentice-Hall, Inc.

Eynian, Mahdi., Onozuka, Hideaki & Altintas, Yusuf. 2007. *Chatter in Turning With Process Damping*.

http://www.aspe.net/publications/Annual_2007/POSTERS/5PROCESS/2MACHN/2267.PDF. (diakses 5 Agustus 2012).

Inman, Daniel J. 1996. *Engineering Vibration*. Toronto: Prentice-Hall, Inc.

Ivana Kovačić. 1998. *The Chatter Vibration in Metal Cutting Theoretical Approach*. *The Scientific Journal*. Volume 1. No. 5: 581.

Kelly, S. Graham. 1993. *Fundamentals of Mechanical Vibration*. Singapore: McGraw-Hill Book Co.

Koenigsberger, F. & Tlusty, J. 1970. *Machine Tool Structures, Volume 1*. Hungaria: Pergamon Press.

Luzadder, Warren J. 1995. *Menggambar Teknik*. Terjemahan Hendarsin H. Jakarta: Erlangga.

Maslov, D., Danilevsky, V. & Sasov, V. 1967. *Engineering Manufacturing Processes in Machine and Assembly Shops*. Terjemahan Nicholas Weinstein. Moscow: Mir Publishers.

Nur, Ichlas. 2011. Pengaruh Kecepatan Potong Terhadap Getaran Mesin Perkakas. *Jurnal Poli Rekayasa*. Volume 6, No. 2: 112-118.

Sugondo, Amelia., Siahaan, Ian H., & Kristanto, Bobby. 2008. Studi Pengaruh Kedalaman Pemakanan Terhadap Getaran Dengan Menggunakan Mesin Bubut Chien Yeh CY 800 Gf. Makalah dalam Seminar Nasional-VII. Kampus

ITENAS. Bandung, 28-29 Oktober 2008.

Suhariyono, Edi. 2008. Pengaruh Panjang Pahat (Tool Overhang) dan Gerak Pemakanan Terhadap Kekerasan Permukaan Benda Kerja Pada Proses Pembubutan. *Jurnal Al 'Ulum*. Vol 37 No. 3: 18.

Thien Nga Ting, Sheila. 2009. *Effect of Cutting Speed and Depth of Cut on Surface Roughness of Mild Steel in Turning Operation.* http://umpir.ump.edu.my/822/1/Thien%2C_Shiela_Nga_Ting.pdf. (diakses 07 Agustus 2012).

Thomson, William T. 1995. *Teori Getaran Dengan Penerapan*. Terjemahan Lea Prasetio. Jakarta: Airlangga.