

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Penelitian Sebelumnya

Suhariyono (2008) dari penelitiannya tentang pengaruh panjang pahat (*Tool Overhang*) dan gerakan pemakanan terhadap kekasaran permukaan benda kerja pada proses pembubutan mendapatkan kesimpulan bahwa *tool overhang* berpengaruh terhadap kekasaran permukaan benda kerja hasil proses pembubutan dalam berbagai variasi gerak makan (*feeding*). Semakin panjang *tool overhang* dan semakin besar gerak makan akan menghasilkan kekasaran permukaan yang semakin besar.

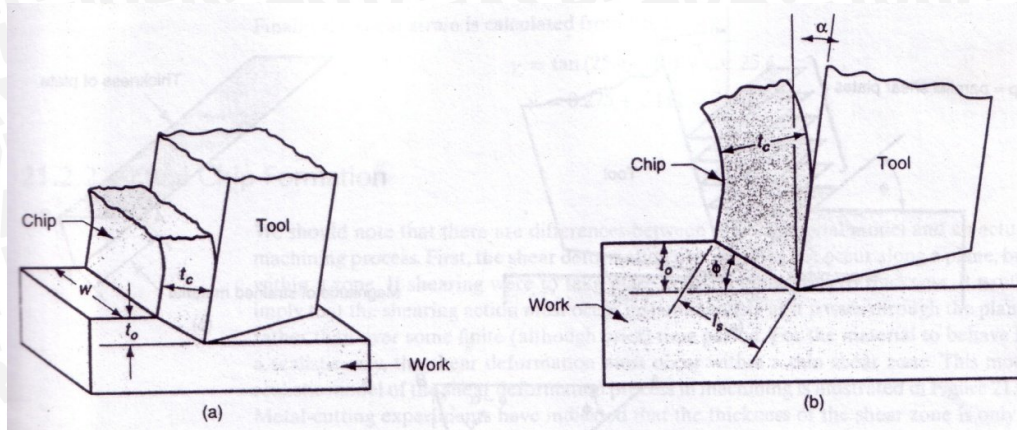
Asmed dan Mura (2010) dari penelitiannya tentang pengaruh parameter pemotongan terhadap kekasaran permukaan proses bubut untuk material ST 37 mendapatkan kesimpulan bahwa kecepatan pemakanan (*feeding*) memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kekasaran. Hal itu dapat dilihat dari grafik kecepatan pemakanan terhadap kekasaran permukaan yang garisnya sangat curam.

### 2.2. Teori Pemotongan Logam

Ada dua macam pemotongan logam yaitu dengan cara memotong terpisah (menggunakan pisau atau gergaji) dan pembuangan *chip*. Pada proses pemotongan pembuangan *chip* menggunakan pahat sebagai alat potongnya. Ada dua macam pahat yang digunakan pada proses pemotongan, yaitu pahat *single point* dan pahat *multiple point*. Pahat *single point* seperti yang terdapat pada mesin bubut. Pahat *multiple point* terdiri dari dua atau lebih pahat *single point* disusun menjadi satu pahat. Pahat *multiple point* terdapat pada mesin *milling*. Pemotongan logam sangat erat hubungannya dengan pahat *orthogonal*, pahat *orthogonal* adalah pahat potong yang sisi potongnya tegak lurus terhadap arah potong. (Amstead, *et al.* 1987:450).

#### 2.2.1 Pemotongan *Orthogonal*

Pemotongan *orthogonal* adalah proses pemotongan yang sisi potongnya tegak lurus dengan arah potong. Ketika pahat memotong benda kerja, akan menghasilkan *chip* yang terbentuk di sepanjang bidang yang disebut bidang geser (*shear plane*) yang memiliki sudut  $\phi$  terhadap permukaan benda kerja. Kegagalan pada material tidak akan terjadi ketika memakai pahat yang memiliki sisi yang tajam karena *chip* akan langsung terlepas dari benda kerja dan mengalami deformasi plastis.



Gambar 2.1 Pemotongan *Orthogonal*  
 Sumber : Groover (2007: 487)

Pahat pada pemotongan *orthogonal* memiliki dua elemen geometri, yaitu *rake angle* dan *clearance angle*. *Rake angle* ( $\alpha$ ) menentukan arah dari aliran *chip* yang terbentuk. Dan *clearance angle* adalah sudut antara sisi pahat dengan permukaan benda kerja yang telah terpotong.

Selama pemotongan, posisi sisi pahat potong memiliki jarak tertentu di bawah permukaan benda kerja sebelum pemotongan ( $t_o$ ). Dan *chip* yang terbentuk di sepanjang bidang geser, ketebalannya akan bertambah ( $t_c$ ). Rasio antara  $t_o$  dan  $t_c$  disebut *chip thickness ratio* atau biasa disebut *chip ratio* ( $r$ ) :

$$r = \frac{t_o}{t_c} \tag{2.1}$$

Ketebalan *chip* setelah pemotongan selalu lebih besar dibandingkan sebelum pemotongan. Hal ini menyebabkan *chip ratio* selalu di bawah 1.0.

Geometri pada pemotongan *orthogonal* menghasilkan hubungan antara *chip ratio*, *rake angle*, dan *shear plane angle*. Panjang bidang geser dilambangkan  $l_s$ . Dari gambar 2.1 didapatkan persamaan :

$$t_o = l_s \sin \phi \tag{2.2}$$

$$t_c = l_s \cos(\phi - \alpha) \tag{2.3}$$

Kemudian disubstitusikan :

$$r = \frac{l_s \sin \phi}{l_s \cos(\phi - \alpha)} = \frac{\sin \phi}{\cos(\phi - \alpha)} \tag{2.4}$$

Dari persamaan di atas dapat diketahui besar sudut bidang geser  $\phi$  :

$$\tan \phi = \frac{r \cos \alpha}{1 - r \sin \alpha} \quad (2.5)$$

### 2.2.2 Gaya Pemotongan

Suatu analisis mekanisme pembentukan geram yang dikemukakan oleh Merchant berdasarkan teorinya atas model pemotongan sistem tegak (*orthogonal system*). Sistem pemotongan tegak merupakan penyederhanaan dari sistem pemotongan miring (*oblique system*) dimana gaya diuraikan menjadi komponennya pada suatu bidang. Beberapa asumsi yang digunakan dalam analisis model tersebut adalah :

- mata potong pahat sangat tajam sehingga tidak menggosok atau menggaruk benda kerja
- deformasi terjadi hanya dalam dua dimensi
- distribusi tegangan yang merata pada bidang geser
- gaya aksi dan reaksi pahat terhadap bidang geram adalah sama besar dan segaris

Karena sistem gaya dipandang hanya pada satu bidang (bukan ruang) maka gaya total dapat diuraikan menjadi dua komponen gaya yang saling tegak lurus. Tergantung pada cara penguraian dalam hal ini dapat dikemukakan tiga cara , yaitu :

1. Gaya total (F), ditinjau dari proses deformasi material, dapat diuraikan menjadi dua komponen, yaitu :

$F_s$  ; gaya geser yang mendeformasikan material pada bidang geser sehingga melampaui batas elastik

$F_{sn}$  ; gaya normal pada bidang geser yang menyebabkan pahat tetap menempel pada benda kerja

2. Gaya total (F), dapat diketahui arah dan besarnya dengan cara membuat dinamometer (alat ukur gaya dimana pahat dipasang padanya dan alat tersebut dipasang pada mesin perkakas) yang mengukur dua komponen gaya, yaitu :

$F_v$  ; gaya potong, searah dengan kecepatan potong

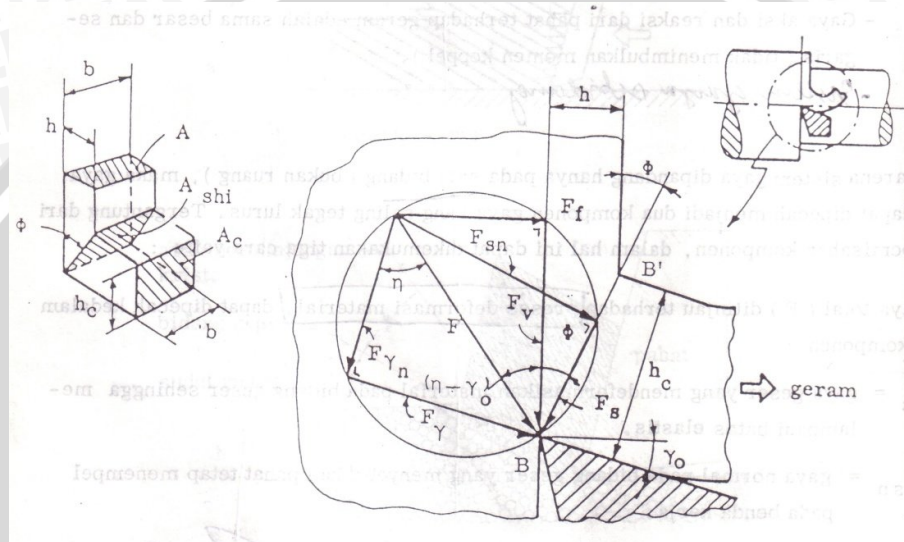
$F_f$  ; gaya makan, searah dengan kecepatan makan

3. Gaya total (F) yang beraksi pada bidang geram ( $A_\gamma$ , *face*, bidang pada pahat dimana geram mengalir) diuraikan menjadi dua komponen untuk menentukan koefisien gesek geram terhadap pahat, yaitu :

$F_\gamma$  ; gaya gesek pada bidang geram

$F_{\gamma n}$  ; gaya normal pada bidang geram

Karena berasal dari satu gaya yang sama mereka dapat dilukiskan pada suatu lingkaran dengan diameter yang sama dengan gaya total ( $F$ ), seperti gambar 2.2. Lingkaran tersebut digambarkan persis di ujung pahat sedemikian rupa sehingga semua komponen menempati lokasi seperti yang dimaksud. Gambar ini merupakan sistem gaya pada pemotongan *orthogonal*.



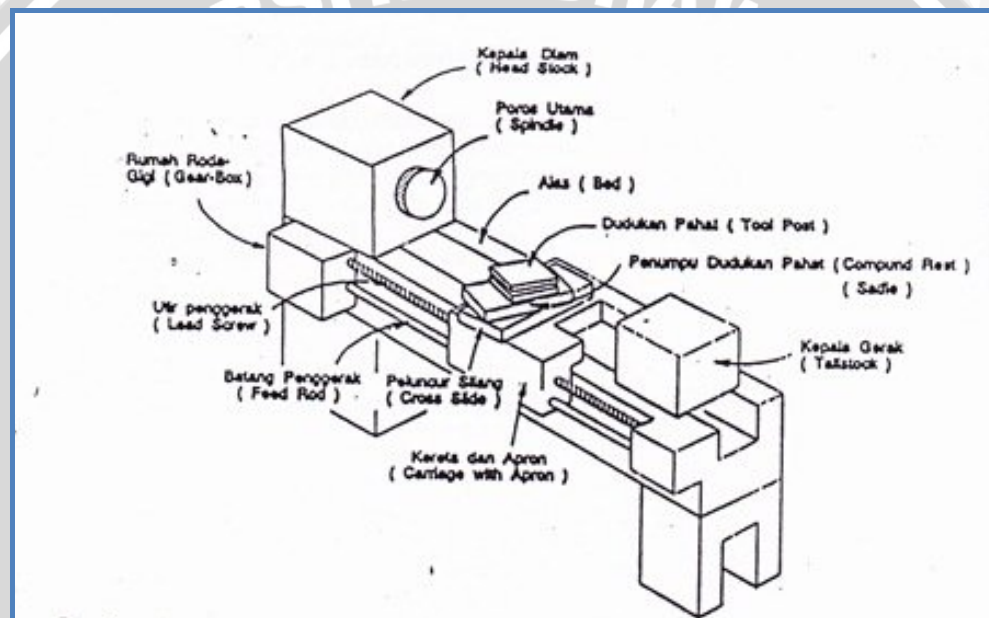
Gambar 2.2 Lingkaran Gaya Pemotongan (Lingkaran *Merchant*)  
Sumber : Rochim (1993: 27)

Sewaktu pemotongan mulai berlangsung, gaya potong  $F_v$  akan membesar. Daerah di muka potong akan menderita tegangan geser dengan orientasi dan harga yang bervariasi. Salah satu bidang akan menderita tegangan geser yang terbesar dan dengan naiknya gaya potong maka tegangan geser pada bidang tersebut (bidang geser) akan melampaui batas (yield) sehingga terjadi deformasi plastik yang menyebabkan terbentuknya geram. Bila hal ini telah terjadi maka gaya potong telah mencapai harga maksimum (tidak mungkin naik lagi).

### 2.3 Proses Bubut (*Turning Process*)

Pada proses bubut benda kerja dipegang oleh pencekam yang dipasang pada ujung poros utama (*spinde*), lihat gambar 2.3. Dengan mengatur lengan pengatur, yang terdapat pada kepala diam (*head stock*), putaran poros utama ( $n$ ) dapat ditentukan. Harga putaran poros utama umumnya dibuat bertingkat, dengan aturan yang telah

distandarkan, misalnya 630, 710, 800, 900, 1000, 1120, 1250, 1400, 1600, 1800, dan 2000 rpm. Untuk mesin bubut dengan putaran motor variable, ataupun dengan system transmisi variable, kecepatan poros utama tidak lagi bertingkat melainkan berkesinambungan (*continue*). *Insert* dipasang pada kedudukan *Insert* dan kedalaman potong ( $a$ ) diatur dengan menggeserkan peluncur silang (*cross slide*) melalui roda pemutar (skala pada pemutar menunjukkan selisih harga diameter, dengan demikian kedalaman gerak translasi bersama-sama dengan kereta (*carriage*) dan gerak makanya diatur dengan lengan pengatur pada rumah roda gigi (*gear box*), gerak makan ( $f$ ) yang tersedia pada mesin bubut bermacam-macam dan menurut tingkatan yang telah distandarkan, misalnya, 0.1, 0.112, 0.125, 0.14, 0.16,..... (mm/rev)



Gambar 2.3 Mesin Bubut (*Lathe Machine*)

Sumber : Rochim (1993: 14)

Elemen dasar dari proses bubut dapat diketahui atau dihitung dengan menggunakan rumus yang dapat diturunkan dengan memperhatikan gambar 2.3. Kondisi pemotongan ditentukan sebagai berikut:

Benda kerja;  $d_o$  = diameter awal (mm)

$d_m$  = diameter akhir (mm)

$l_t$  = panjang pemesinan (mm)

Insert;  $k_r$  = sudut potong utama ( $^\circ$ )

$\gamma_o$  = sudut geram ( $^\circ$ )

Mesin bubut;  $a$  = kedalaman pemotongan (mm)

$$a = \frac{(d_o - d_m)}{2} \quad ;(\text{mm}) \quad (2.6)$$

f = gerak makan (mm/rev)

n = putaran poros utama (rpm/min)

Elemen dasar proses bubut dapat dihitung dengan rumus-rumus berikut,

1. Kecepatan potong:

$$v = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} \quad ;(\text{m/min}) \quad (2.7)$$

Dimana, d = diameter rata-rata, yaitu:

$$d = \frac{(d_o + d_m)}{2} = d_o \quad ;(\text{mm}) \quad (2.8)$$

2. Kecepatan makan:

$$v_f = f \cdot n \quad ;(\text{min}) \quad (2.9)$$

3. Waktu pemotongan :

$$t_c = \frac{l_c}{v_f} \quad ;(\text{min}) \quad (2.10)$$

4. Kecepatan penghasilan geram :

$$Z = A \cdot v \quad (2.11)$$

Dimana, penampang geram sebelum terpotong,

$$A = f \cdot a \quad ;(\text{mm}^2) \quad (2.12)$$

maka,

$$Z = f \cdot a \cdot v \quad ;(\text{mm}^3/\text{min}) \quad (2.13)$$

Pada gambar 2.4 diperlihatkan sudut potong utama ( $k_r$ , *principal cutting edge angle*) yaitu merupakan sudut antara mata potong mayor (proyeksinya pada bidang referensi) dengan kecepatan makan  $v_f$ . Besarnya sudut tersebut ditentukan oleh geometri pahat dan cara pemasangan pahat pada mesin perkakas (orientasi pemasangannya). Untuk harga  $a$  dan  $f$  yang tetap maka sudut ini menentukan besarnya lebar pemotongan ( $b$ , *width of cut*) dan tebal geram sebelum terpotong ( $h$ , *undeformed chip thickness*) sebagai berikut:

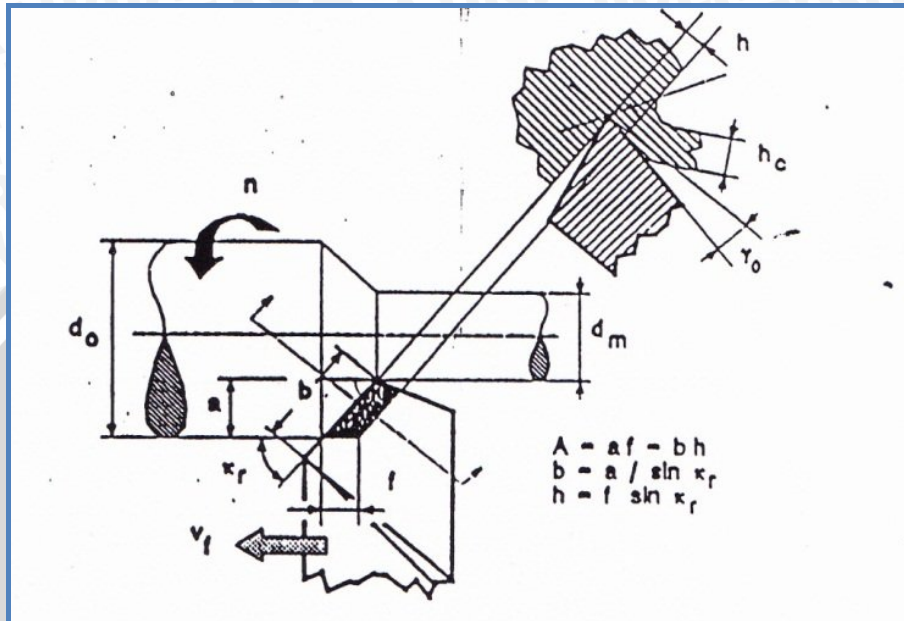
a. Lebar pemotongan:  $b = \frac{a}{\sin k_r} \quad ;(\text{mm}) \quad (2.14)$

b. Tebal geram sebelumnya yang terpotong :  $h = f \cdot \sin k_r \quad ;(\text{mm}) \quad (2.15)$

Dengan demikian, penampang geram sebelum terpotong dapat dituliskan sebagai berikut :

$$A = f \cdot a = b \cdot h \quad ;(\text{mm}^2) \quad (2.16)$$

Perlu dicatat bahwa tebal geram sebelum terpotong ( $h$ ) belum tentu sama dengan tebal geram ( $h_o$ , *chip thickness*) dan hal ini antara lain dipengaruhi oleh sudut geram ( $\gamma_o$ ) kecepatan potong dan material benda kerja.



Gambar 2.4 Proses Bubut  
Sumber : Rochim (1993: 15)

## 2.4 Getaran Dalam Proses Pemoangan

Getaran yang dialami oleh mesin disebabkan karena adanya sumber penyebab getaran yang kemudian diteruskan ke seluruh bagian/komponen mesin yang bersangkutan. Sumber getaran ini dapat berasal dari dalam mesin itu sendiri. Contohnya, ketidak-seimbangan gaya yang disebabkan titik berat benda kerja atau pahat tidak pada sumbu putar, *ball bearing* yang rusak, *belt* yang bergetar, dan sebagainya. Getaran yang terjadi karena sumber-sumber getaran yang tersebut di atas dinamakan sebagai getaran eksitasi paksa (*forced excited vibration*). Getaran pada proses permesinan sangat merugikan. Pada proses *finishing* akan mengurangi ketelitian dimensi, bentuk serta kehalusan suatu produk.

### 2.4.1 Klasifikasi Getaran

Getaran adalah gerakan bolak-balik melalui titik kesetimbangan. Kesetimbangan di sini maksudnya adalah keadaan dimana suatu benda berada pada posisi diam jika

tidak ada gaya yang bekerja pada benda tersebut. Getaran mempunyai amplitudo (jarak simpangan terjauh dengan titik tengah) yang sama. Secara umum getaran dibagi menjadi dua, yaitu :

### 2.4.1.1 Getaran Bebas

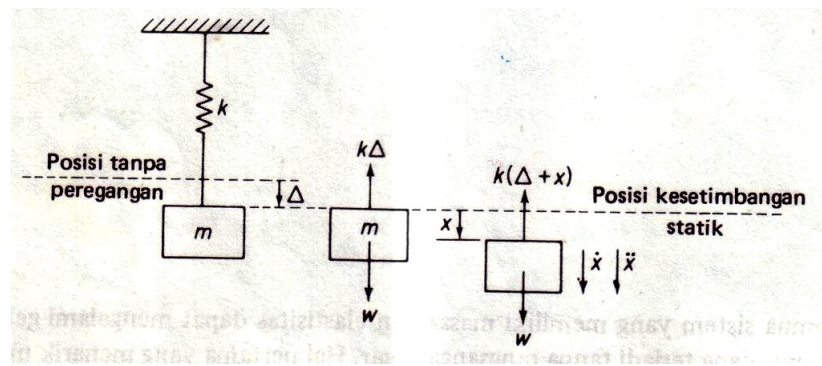
Getaran bebas terjadi jika sistem beresiliasi karena bekerjanya gaya yang ada dalam sistem itu sendiri dan jika tidak ada gaya luar yang bekerja. Sistem yang bergetar bebas akan bergetar pada satu atau lebih frekuensi naturalnya. Semua sistem yang memiliki massa dan elastisitas dapat mengalami getaran bebas atau getaran yang terjadi tanpa rangsangan dari luar.

#### 1. Getaran Bebas Tanpa Redaman

Hukum Newton kedua adalah dasar pertama untuk meneliti gerak sistem. Seperti ditunjukkan dalam gambar 2.5, perubahan bentuk pegas pada posisi kesetimbangan statik adalah  $\Delta$ , dan gaya pegas  $k\Delta$  adalah sama dengan gaya gravitasi  $w$  yang bekerja pada massa  $m$ :

$$k\Delta = w = mg \quad (2.17)$$

Dengan mengukur simpangan  $x$  dari posisi kesetimbangan statis, maka gaya-gaya yang bekerja pada  $m$  adalah  $k(\Delta+x)$  dan  $w$ . Dengan  $x$  yang dipilih positif dalam arah kebawah, semua besaran (gaya, kecepatan dan percepatan) juga positif dalam arah kebawah.



Gambar 2.5 Sistem pegas massa dan diagram benda bebas.

Sumber : Thomson (1995: 16)



Sekarang hukum Newton kedua untuk gerak diterapkan pada massa  $m$

$$m\ddot{x} = \Sigma F = w - k(\Delta + x) \quad (2.18)$$

dan karena  $k\Delta = w$ , diperoleh

$$m\ddot{x} = -kx \quad (2.19)$$

Jelaslah bahwa pemilihan posisi kesetimbangan statik sebagai acuan untuk  $x$  mengeliminasi  $w$ , yaitu gaya yang disebabkan gravitasi, dan gaya pegas statik  $k\Delta$  dari persamaan gerak, hingga gaya resultan pada  $m$  adalah gaya pegas karena simpangan  $x$  saja.

Dengan mendefinisikan frekuensi lingkaran  $\omega_n$  lewat persamaan,

$$\omega_n^2 = \frac{k}{m} \quad (2.20)$$

Persamaan 2.19 dapat ditulis sebagai,

$$\ddot{x} + \omega_n^2 x = 0 \quad (2.21)$$

dan dengan membandingkan konstanta pegas yang disimpulkan bahwa gerakannya adalah harmonik. Maka didapat persamaan diferensial linier orde kedua yang homogen, mempunyai solusi umum berikut:

$$x = A \sin \omega_n t + B \cos \omega_n t \quad (2.22)$$

dengan A dan B adalah dua konstanta yang penting. Konstanta ini dihitung dari kondisi awal  $x_0$  dan  $\dot{x}_0$ , sehingga didapat persamaan,

$$x = \frac{\dot{x}_0}{\omega} \sin \omega t + x_0 \cos \omega t \quad (2.23)$$

Persamaan 2.22 dapat disubstitusi sehingga menjadi :

$$x = X \sin(\omega t + \theta) \quad (2.24)$$

$X$  adalah amplitudo perpindahan dan  $\theta$  adalah sudut fasa yang didefinisikan sebagai :

$$X = \sqrt{(\dot{x}_0/\omega)^2 + x_0^2} \quad (2.25)$$

$$\tan \theta = \frac{x_0}{\dot{x}_0/\omega} \quad (2.26)$$

Kecepatan  $X$  dan percepatan  $X$  adalah turunan pertama dan kedua dari persamaan 2.23 dan 2.24 terhadap waktu yang dapat ditulis dalam berbagai bentuk seperti berikut :

$$\dot{x} = \dot{x}_0 \cos \omega t - x_0 \omega \sin \omega t$$

$$\dot{x} = X\omega \cos(\omega t + \theta) = X\omega \sin\left(\omega t + \theta + \frac{\pi}{2}\right)$$

$$\dot{x} = X \cos(\omega t + \theta) \quad (2.27)$$

dengan  $X$  adalah amplitudo kecepatan. Untuk percepatan :

$$\ddot{x} = -\dot{x}_0 \omega \sin \omega t - x_0 \omega^2 \cos \omega t$$

$$\ddot{x} = -X\omega^2 \sin(\omega t + \theta) = X\omega^2 \sin(\omega t + \theta + \pi)$$

$$\ddot{x} = -\omega^2 x$$

$$\ddot{x} = -\ddot{X} \sin(\omega t + \theta) \quad (2.28)$$

$\ddot{x} = \omega^2 x$  adalah amplitudo percepatan.

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

$$\tau = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \quad (2.29)$$

dan frekuensi natural adalah

$$f_n = \frac{1}{\tau} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{m}{k}} \quad (2.30)$$

## 2. Getaran Bebas Dengan Redaman

Bila sistem linier satu derajat kebebasan dirangsang, maka responnya akan tergantung pada jenis rangsangan dan redaman yang ada. Bentuk persamaan geraknya sebagai berikut:

$$m\ddot{x} + F_d + k_x = 0 \quad (2.31)$$

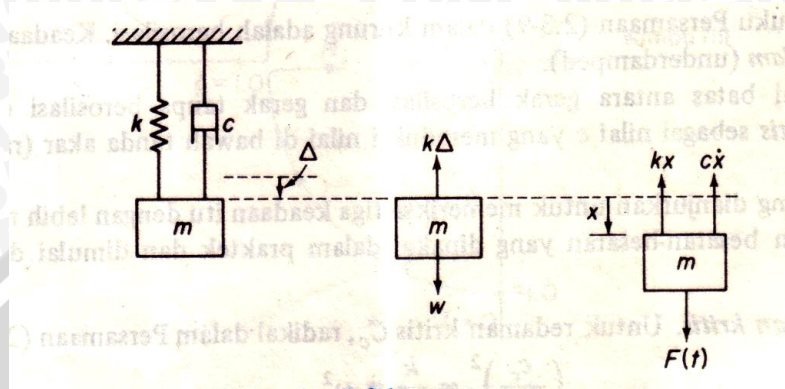
Dengan  $F_d$  adalah gaya peredam. Walaupun gambaran gaya peredam sebenarnya adalah sulit, dapat diasumsikan model-model redaman ideal yang sering menghasilkan perkiraan respon yang memuaskan. Dari model ini, gaya redaman karena kekentalan yang sebanding dengan kecepatan, menghasilkan pengolahan matematika yang paling mudah.

Gaya redaman karena kekentalan dinyatakan oleh persamaan,

$$F_d = c\dot{x} \quad (2.32)$$

Dengan  $c$  adalah konstanta kesebandingan. Secara simbolik gaya ini dinyatakan oleh peredam seperti terlihat pada gambar 2.6. Dari diagram benda bebas persamaan gerak dapat ditulis sebagai berikut:

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = F(t) \quad (2.33)$$



Gambar 2.6 Sistem getaran bebas dengan redaman dan diagram benda bebas.

Sumber : Thomson (1995: 27)

Solusi persamaan diatas ada dua macam. Jika  $F(t) = 0$ , maka diperoleh persamaan diferensial homogen yang solusinya secara fisis sesuai dengan getaran teredam bebas. Dengan persamaan homogennya:

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = 0 \quad (2.34)$$

Solusi persamaan ini tergantung pada besarnya redaman. Bila redaman cukup kecil, sistem masih akan bergetar, namun pada akhirnya akan berhenti. Keadaan ini disebut kurang teredam, dan merupakan kasus yang paling mendapatkan perhatian dalam analisis vibrasi. Bila peredaman diperbesar sehingga mencapai titik saat sistem tidak lagi berosilasi, kita mencapai titik redaman kritis. Bila peredaman ditambahkan melewati titik kritis ini sistem disebut dalam keadaan melewati redaman.

Nilai koefisien redaman yang diperlukan untuk mencapai titik redaman kritis pada model massa-pegas-peredam adalah:

$$C_c = 2\sqrt{km} \quad (2.35)$$

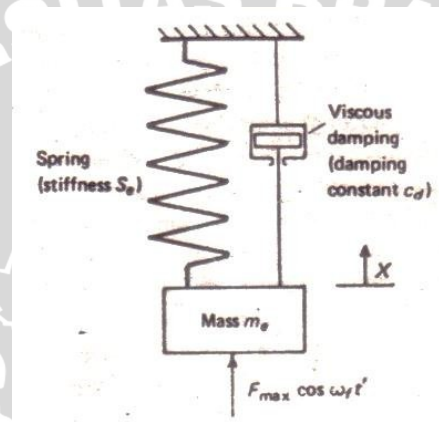
Untuk mengkarakterisasi jumlah peredaman dalam sistem digunakan rasio yang dinamakan rasio redaman. Rasio ini adalah perbandingan antara peredaman sebenarnya terhadap jumlah peredaman yang diperlukan untuk mencapai titik redaman kritis. Rumus untuk rasio redaman ( $\zeta$ ) adalah:

$$\zeta = \frac{c}{2\sqrt{km}} \quad (2.36)$$

### 2.4.1.2 Getaran Paksa dengan Redaman

Terjadinya getaran antara pahat dan benda kerja pada saat proses pemesinan akan menimbulkan efek yang merugikan, diantaranya rendahnya kualitas permukaan dan terjadinya kesalahan bentuk atau ukuran pada benda kerja. Selain itu timbulnya getaran juga akan mempercepat laju keausan pahat, memperpendek umur komponen mesin.

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 2.7, persamaan getaran paksa yang terjadi adalah sebagai berikut :



Gambar 2.7 Pemodelan sistem pegas massa satu derajat kebebasan dengan peredam cairan.

Sumber : Boothroyd (1981: 198)

$$m \frac{d^2x}{dt^2} + c_d \frac{dx}{dt} + kx = F_{max} \cos \omega_f t \quad (2.37)$$

dengan:

$x$  = Perpindahan (mm)

$t$  = Waktu (s)

$m$  = Massa ekuivalen (kg)

$c_d$  = Gaya redaman per unit kecepatan (konstanta peredam cairan)

$k$  = *Restoring force* per unit perpindahan (kekakuan pegas)

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

$\omega_f$  = Frekuensi angular dari gaya harmoni eksternal

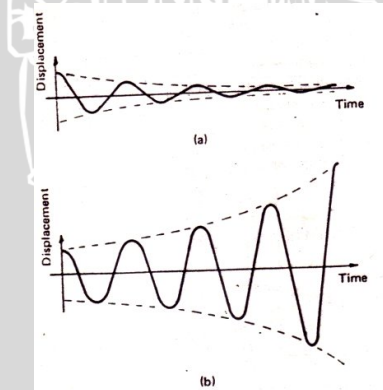
Getaran paksa (*vibration force*) pada peralatan mesin kebanyakan disebabkan oleh variasi siklik dari gaya-gaya pemotongan. Misalnya, variasi siklik pada proses *milling*,

dimana frekuensi getaran paksa akan sama dengan hasil dari frekuensi putaran peralatan dan jumlah gigi pada roda gigi.

#### 2.4.2 Getaran Tereksitasi Sendiri (*Chatter*)

*Chatter* bisa terjadi pada saat proses pemesinan ketika variasi siklik pada gaya potong tidak normal, untuk contoh pada benda kerja berbentuk bulat. *Chatter* ini tidak diketahui penyebab gaya getarannya, dan sulit untuk memprediksi kondisi yang akan terjadi atau untuk menentukan perubahan pada kondisi pemotongan yang diperlukan untuk memperbaiki fenomena ini.

Pada proses pemesinan, getaran tereksitasi sendiri bisa terjadi dengan satu atau dua cara: pertama, pada kondisi tertentu, proses pemotongan pada dasarnya tidak stabil sehingga perpindahan relatif pahat terhadap benda kerja yang sangat cepat akan menciptakan amplitudo getaran yang besar. Situasi tidak stabil ini bisa dimodelkan dengan mengasumsikan bahwa  $c_d$ , gaya redam ekivalen per unit kecepatannya adalah negatif. Kondisi ini secara umum mengacu pada peredaman negatif dan sistem redaman negatif kondisinya tidak stabil. Pada gambar 2.8 perilaku yang dihasilkan sistem pegas massa sederhana dibandingkan dengan perilaku sistem yang sama dengan kondisi redaman positif, untuk  $c_d$  adalah positif. Ini akan menunjukkan bagaimana interaksi antara pahat potong dan benda kerja bisa menghasilkan redaman negatif konstan pada mesin.

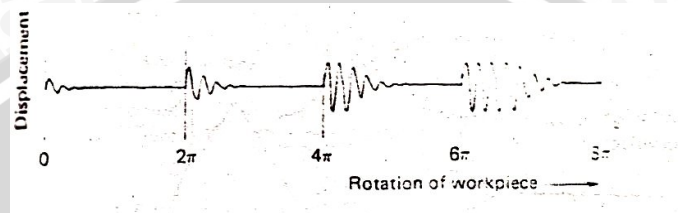


Gambar 2.8 Tingkah laku sistem pegas massa satu derajat kebebasan. a) Peredaman positif (konstanta redaman  $c_d > 0$ , b) Peredaman negatif (konstanta redaman  $c_d < 0$ ).

Sumber : Boothroyd (1981: 202)

Cara kedua, getaran tereksitasi sendiri bisa menjadi lebih rumit tetapi terlihat lebih umum. Pada kasus ini, proses pemotongan pada dasarnya stabil ( $c_d$  lebih besar dari

0), dan getaran yang muncul disebabkan oleh gerak relatif pahat-benda kerja selama proses pemotongan. Namun, dengan operasi pemotongan paling praktis, pemotongan *overlapping* diambil, dan ketika pahat memindahkan *chatter* selama langkah awal pemotongan, getaran paksa terjadi karena variasi pada gaya potong. Getaran paksa bisa mengakibatkan kenaikan amplitudo getaran dan disebut *regenerative chatter*, seperti terlihat pada gambar 2.9.



Gambar 2.9 *Regenerative chatter* pada operasi *turning*  
Sumber : Boothroyd (1981: 203)

## 2.5 Kekasaran Permukaan

Kekasaran permukaan digambarkan oleh kualitas akhir pemesinan dan kondisi fisik dari lapisan permukaan metal pada saat komponen tersebut dibuat. Akibat tekanan pada pemotongan logam dan panas yang timbul dari gesekan tepi pahat pada permukaan metal, dan gesekan internal pada zona aliran plastis, lapisan permukaan logam memperoleh sifat fisik yang berbeda secara substansi dari sisa logam pada sebuah komponen.

Logam dingin mengeras pada lapisan permukaan dengan ketebalan tertentu (berbeda untuk metode pemesinan yang berbeda dan berbeda material); struktur kristal yang terpecah ke tingkat tertentu mengakibatkan struktur logam pada lapisan ini tidak seperti struktur logam dasarnya yang belum terpengaruh oleh tekanan pemotongan dan panas yang terbangkit.

Ketebalan lapisan permukaan ini bisa mencapai nilai yang besar untuk metode pemesinan dengan kekasaran tertentu (sampai 0.5 mm untuk kekasaran *turning*). Material yang lebih ulet, sifat lapisan permukaannya akan membedakan dari material sisa.

Kualitas lapisan permukaan dan permukaan akhir komponen mesin mempengaruhi sifat fungsionalnya secara luas. Karakteristik fungsional komponen mesin bergantung pada kualitas:

- a. Ketahanan aus permukaan gesek.

- b. Kekuatan *fatigue* komponen.
- c. Kekuatan interferensi dari material dasar.
- d. Ketahanan korosi permukaan, dll.

Karakteristik geometri bentuk permukaan bila ditinjau dari profilnya dapat diuraikan menjadi beberapa macam diantaranya:

1. Kekasaran / *roughness (Micro roughness)*

Bentuk naik turunnya permukaan dari pendeknya gelombang yang ditandai seperti bukit dan lembah dengan bermacam-macam jarak dan amplitudo, seperti pada gambar 2.10.



Gambar 2.10 Kekasaran Permukaan.  
Sumber: *Anonymous 1* (2012:225).

2. Gelombang / *waviness (macroroughness)*

Ketidakaturan periodik dengan panjang gelombang yang jelas lebih besar daripada kedalamannya, seperti pada gambar 2.11.



Gambar 2.11 Gelombang / *waviness (macroroughness)*.  
Sumber: *Anonymous 1* (2012:225).

3. Kesalahan bentuk (*error of form*)

Ketidakaturan makrogeometri, penyimpangan pada kekasaran dan *waviness*, yang disebabkan terutama oleh kesalahan pada proses permesinan, dan deformasi akibat tegangan pola komponen, seperti pada gambar 2.12.



Gambar 2.12 Kesalahan bentuk (*error of form*).  
Sumber: *Anonymous 1* (2012:225).

### 2.5.1 Faktor yang Mempengaruhi Kekasaran Permukaan

Satu faktor penting yang mempengaruhi kualitas lapisan permukaan yang harus diperhatikan adalah getaran pemesian, pahat, dan pengerjaan selama pemesian. Getaran juga menurunkan kapasitas produksi, menurunkan umur pahat, dan menyebabkan keausan dini pahat mesin.

Alasan prinsip yang menyebabkan getaran adalah:

1. Osilasi ditransmisikan ke mesin oleh tanah atau elemen bangunan dari getaran mesin lainnya.
2. Gerakan yang tidak seimbang antara komponen yang berputar dan unitnya.
3. Ketidaknormalan pada penggerak pahat mesin (hentakan dari sabuk penggerak, tidak akurasi roda gigi penggerak, dll).
4. Osilasi periodik gaya potong yang disebabkan oleh faktor variasi (kontak yang terputus-putus antara tepi pahat potong dan permukaan kerjanya, untuk contoh, pada mesin *milling* ketidakseragaman lapisan metal yang dibuang, dll).
5. Getaran *natural* yang disebabkan oleh pengaruh gaya potong.

Perubahan kondisi lapisan permukaan logam dari benda kerja jika dibandingkan dengan logam dasarnya yang disebabkan oleh aliran plastis selama proses pemotongan, tidak hanya pada saat pembuangan *chip*, tetapi juga pada lapisan permukaan sepanjang pergerakan pahat potong.

Berdasarkan panas yang terbangkit pada mesin gerinda, perubahan struktur bisa terjadi pada lapisan permukaan logam saat mengalami kenaikan deformasi.

Pembentukan penyimpangan mikro pada permukaan komponen adalah masalah utama, seperti yang disebutkan di atas, dari permukaan tepi pahat potong (atau material abrasif) pada permukaan kerja.

Permukaan akhir bergantung pada beberapa faktor, berikut ini adalah faktor yang paling berpengaruh pada permukaan akhir:

- a. Material benda kerja.
- b. Jenis mesin.
- c. Kekakuan sistem yang terdiri dari pahat mesin, *fixture*, pahat potong dan benda kerja.
- d. Jenis, bentuk, material, dan ketajaman pahat potong.
- e. Kondisi pemotongan.
- f. Jenis *coolant* yang digunakan.



Pada pemesinan benda kerja berbahan baja, logam bagian luar tepi potong dari pahat berubah menjadi plastis. Lapisan pembatas permukaan kerja terpotong oleh pahat, untuk alasan ini, lembah dan bukit dari bentuk yang tidak teratur harus diamati setelah proses pemesinan dalam arah gerak utama. Untuk mendapatkan kualitas yang lebih tinggi dari permukaan akhir, dalam beberapa kasus, komponen yang terbuat dari baja karbon rendah yang sulit dikenakan perlakuan panas yang terdiri dari *normalizing* atau *hardening* dengan temper tinggi (memperbaiki struktur) untuk meningkatkan kekerasan baja dan untuk mengurangi ketangguhannya.

Kualitas yang baik dari permukaan akhir bisa ditentukan dengan kecepatan potong yang rendah (*reaming*, *broaching*, dan pemotongan ulir) ketika panas yang dibangkitkan sangat kecil atau sebaliknya, pada kecepatan yang sangat tinggi (*turning* dan *boring* presisi, *milling* kecepatan tinggi, dll).

### 2.5.2 Kriteria Evaluasi Permukaan Akhir

Standar USSR GOST 2789-59 menyediakan dua kriteria,  $R_z$  dan  $R_a$  yang mencirikan permukaan akhir. Standar ini diklasifikasikan menjadi 14 kelas kualitas permukaan.

Kelas permukaan akhir dari 1 sampai 4, serta 13 dan 14 ditentukan oleh nilai penyimpangan mikro  $R_z$ , yang didefinisikan sebagai rata-rata ketinggian (jarak puncak ke lembah) dari lima penyimpangan utama (gambar 13a) yang diukur sepanjang garis dasar:

$$R_z = \frac{(h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5) - (h_6 + h_7 + h_8 + h_9 + h_{10})}{5} \quad (2.38)$$

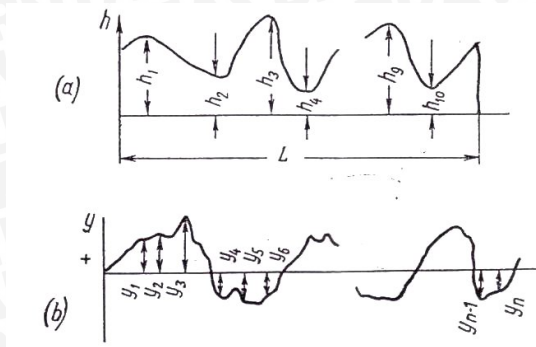
Kelas permukaan akhir dari 5 sampai 12, ditentukan oleh penyimpangan rata-rata nilai  $R_a$  sesuai rumus berikut:

$$R_a = \frac{1}{n} (y_1 + y_2 + y_3 + \dots + y_n) = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} \quad (2.39)$$

yang mana:  $y_1, y_2, y_3$ , dll adalah jarak dari titik permukaan profil dari garis tengah;  $n$  adalah jumlah titik penyimpangan dari profil mikro yang diukur.

Garis tengah membagi profil permukaan sehingga penjumlahannya  $y_1^2 + y_2^2 + y_3^2 + \dots + y_n^2 = 0$ .

Kualitas permukaan pada *drawing* ditunjukkan dengan simbol segitiga  $\nabla$  diikuti oleh kelas kualitas permukaannya, untuk contoh,  $\nabla 5$  menunjukkan kelas nomer lima dari permukaan akhir.



Gambar 2.13 Menentukan  $R_z$  dan  $R_a$  dari penyimpangan permukaan  
 Sumber: Maslov, *et al.* (1967: 221)

Berikut ini adalah kelas permukaan akhir berdasarkan standar USSR GOST 2789-59:

Tabel 2.1 Kelas Permukaan Akhir

| Kelas Permukaan Akhir | Penyimpangan aritmatik rata-rata $R_a$ dari profil, (micron) | Tinggi penyimpangan $R_z$ , (micron) | Panjang dasar $L$ (mm) |
|-----------------------|--|--------------------------------------|------------------------|
| 1                     | 80   | 320                                  | 8                      |
| 2                     | 40   | 160                                  | 8                      |
| 3                     | 20   | 80                                   | 8                      |
| 4                     | 10   | 40                                   | 2.5                    |
| 5                     | 5  | 20                                   | 2.5                    |
| 6                     | 2.5  | 10                                   | 0.8                    |
| 7                     | 1.25   | 6.3                                  | 0.8                    |
| 8                     | 0.63   | 3.2                                  | 0.8                    |
| 9                     | 0.32   | 1.6                                  | 0.25                   |
| 10                    | 0.16   | 0.8                                  | 0.25                   |
| 11                    | 0.08   | 0.4                                  | 0.25                   |
| 12                    | 0.04   | 0.2                                  | 0.25                   |
| 13                    | 0.02   | 0.1                                  | 0.08                   |
| 14                    | 0.01   | 0.05                                 | 0.08                   |

Sumber: Maslov, *et al.* (1967: 221)

## 2.6 Uji Kekasaran Permukaan

Pengujian kekasaran permukaan menggunakan prinsip tribologi yaitu bahwa permukaan benda padat mempunyai profil yang tidak rata (tonjolan, puncak, dan lembah yang dapat diukur).

Sebelum melakukan pengujian alat uji harus di kalibrasi terlebih dahulu agar mendapatkan hasil yang maksimal, jarum peraba (*sylus*) dari alat ukur halus digerakkan mengikuti lintasan profil permukaan yang berupa garis lurus dengan jarak yang telah ditentukan terlebih dahulu, sesaat setelah jarum bergerak dan sesaat sebelum jarum berhenti maka secara elektronik alat ukur melakukan perhitungan berdasarkan data yang dideteksi oleh jarum peraba. Profil permukaan apabila diukur memberikan amplitudo dan dengan tribologi diperoleh harga aritmetis rata-rata ( $R_a$ ). Didalam pengukuran kecepatan *stylus* (*down speed*) dan jarak lintasan *sylus* ditentukan lebih dahulu sebelum alat dioperasikan.

## 2.7 Hipotesa

Besarnya *feed motion* berpengaruh terhadap gaya yang bekerja pada proses *turning* dimana hal ini akan mempengaruhi besarnya *chatter* yang terbangkit pada saat proses pemotongan. Sehingga semakin tinggi *feed motion* maka kekasaran permukaan benda kerja hasil proses *turning* juga akan meningkat.