

# ANALISIS MEKANISME PEMBENTUKAN GERAM DAN GAYA PEMOTONGAN PADA PROSES BUBUT

Saifuddin MN  
 Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Lhokseumawe  
 Email : [saifmn1176@yahoo.com](mailto:saifmn1176@yahoo.com)

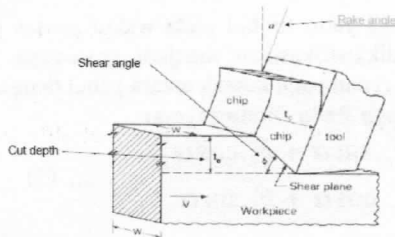
Pada dasarnya, geram terbentuk karena adanya proses geseran yang terlokalisasi dalam suatu daerah yang sangat sempit / kecil, menyebabkan terjadinya deformasi plastis dengan laju regangan yang sangat tinggi yang terbentuk secara bertahap dikarenakan adanya zona tegangan kompresi radial yang diakibatkan oleh gerakan pahat potong menuju benda kerja. Untuk lebih jauh dalam memahami proses terjadinya geram tersebut, digunakanlah sistem *orthogonal machining* untuk meninjau teori dan mekanika pemesinannya. Dalam sistem ini orientasi sisi potong pahat adalah tegak lurus dengan gerak pemotongannya, sehingga vektor kecepatan potongnya adalah tegak lurus terhadap sisi potongnya. Hal ini berlainan dengan *oblique machining*. Pemotongan benda kerja (pembentukan geram) dalam mesin bubut dapat ditransformasikan sebagai sistem pemotongan ortogonal (*orthogonal machining*).

*Kata Kunci : orthogonal machining, oblique machining, pahat, geram*

## PENDAHULUAN

Pada mulanya diperkirakan geram terbentuk karena adanya retak mikro (*micro crack*) yang timbul pada benda kerja tepat diujung pahat pada saat pemotongan dimulai. Dengan bertambahnya tekanan pahat, retak tersebut menjalar menjalar kedepan sehingga terjadilah geram<sup>[7]</sup>. Anggapan ini sekarang sudah ditinggalkan berkat berbagai hasil penelitian mengenai mekanisme pembentukan geram. Logam yang pada umumnya bersifat ulet (*ductile*) apabila mendapat tekanan akan timbul tegangan (*stress*) didaerah sekitar konsentrasi gaya penekanan mata potong pahat. Tegangan pada logam (benda kerja) tersebut mempunyai orientasi yang kompleks dan pada salah satu arah akan terjadi tegangan geser (*shear stress*) yang maksimum. Apabila tegangan geser ini melebihi kekuatan logam maka akan terjadi deformasi plastis (perubahan bentuk) yang menggeser dan memutuskan benda kerja diujung pahat pada suatu bidang geser (*shear plane*)<sup>[7]</sup>.

Pada dasarnya, geram terbentuk karena adanya proses geseran yang terlokalisasi dalam suatu daerah yang sangat sempit / kecil, menyebabkan terjadinya deformasi plastis dengan laju regangan yang sangat tinggi yang terbentuk secara bertahap dikarenakan adanya zona tegangan kompresi radial yang diakibatkan oleh gerakan pahat potong menuju benda kerja, sebagaimana terlihat pada gambar (1).

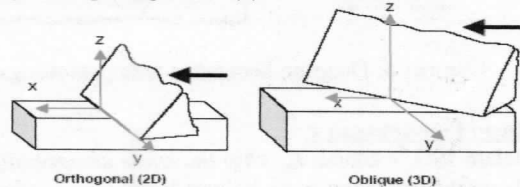


Gambar 1. Mekanisme pembentukan geram<sup>[3]</sup>

## TEORI DASAR

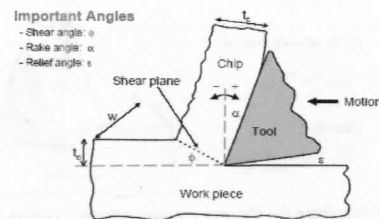
### Mekanisme Pembentukan Geram

Untuk lebih jauh dalam memahami proses terjadinya geram tersebut, digunakanlah sistem *orthogonal machining* untuk meninjau teori dan mekanika pemesinannya. Dalam sistem ini orientasi sisi potong pahat adalah tegak lurus dengan gerak pemotongannya, sehingga vektor kecepatan potongnya adalah tegak lurus terhadap sisi potongnya. Hal ini berlainan dengan *oblique machining*, seperti yang ditunjukkan pada gambar (2).



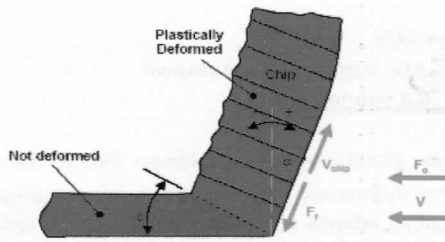
Gambar 2. Geometri dasar 2 proses analisis mekanisme pemotongan

Dalam *orthogonal machining* seperti ditunjukkan pada gambar (2), ada tiga sudut utama yang timbul waktu terjadi proses pembentukan geram, yaitu sudut geser / *shear angle*  $\phi$ , sudut geram / *rake angle*  $\alpha$  (dalam sistem ISO  $\gamma_0$ ), serta sudut bebas / *relief angle*  $\epsilon$  (dalam sistem ISO  $\alpha_0$ )



Gambar 3. Geometri daerah pemotongan ortogonal<sup>[5]</sup>

Sudut-sudut tadi terjadi akibat adanya proses pemotongan logam oleh pahat yang menghasilkan suatu area deformasi sebagaimana ditunjukkan pada gambar (4).

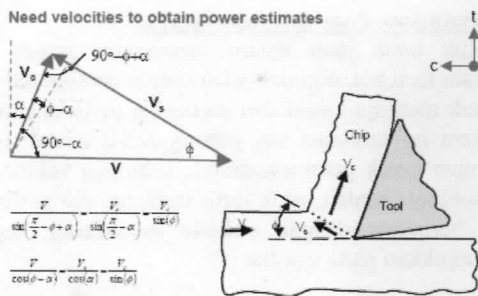


Gambar 4. Sudut-sudut yang terjadi pada proses pemotongan

Selanjutnya, mari kita tinjau berbagai parameter yang timbul pada waktu pembentukan geram (*orthogonal machining*).

**Diagram Kecepatan Area Pemotongan**

Ada tiga macam kecepatan yang dibahas, yaitu kecepatan geser ( $V_s$ ), kecepatan aliran geram ( $V_c$ ), dan kecepatan potong ( $V$ ). Selanjutnya lihat gambar (5) berikut.



Gambar 5. Diagram kecepatan area pemotongan<sup>[1]</sup>

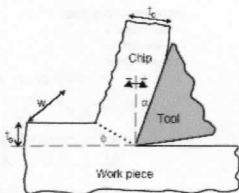
**Rasio Pemotongan r**

Dalam ISO,  $r$  adalah  $\lambda_{th}$ , *chip thickness compression ratio*. Dengan berpatokan pada hukum kekekalan massa / *mass conservation* dan memperhatikan diagram kecepatan pada waktu pembentukan geram / *velocity diagram*, maka diturunkan **rasio pemotongan r** (rasio pemampatan tebal geram), seperti ditunjukkan pada gambar 6. Dimana tebal geram sebelum terpotong adalah  $t_o$  (ISO,  $h$ ) dan tebal geram sesudah terpotong  $t_c$  (ISO,  $h_c$ ).

From mass conservation:  
 $\rho \cdot t_o \cdot w \cdot V = \rho \cdot t_c \cdot w \cdot V'$

From velocity diagram:  
 $\frac{V'}{V} = \frac{t_o}{t_c} = r = \frac{\sin(\phi)}{\cos(\phi - \alpha)}$

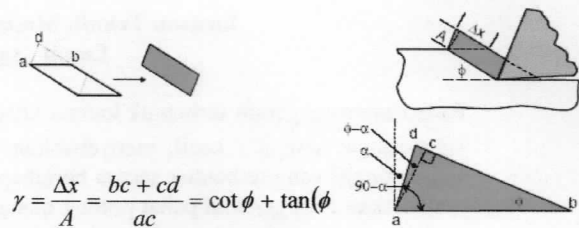
Cutting ratio:  
 $\frac{V'}{V} = \frac{t_o}{t_c} = r = \frac{\sin(\phi)}{\cos(\phi - \alpha)}$



Gambar 6. Rasio pemampatan tebal geram

**Analisis Regangan Geser**

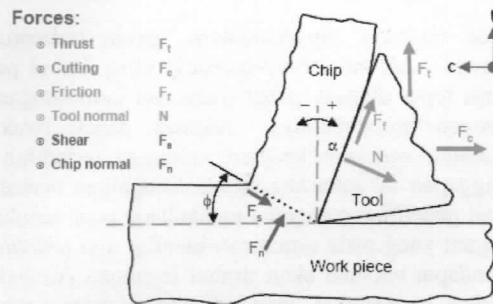
Dengan mengamati regangan geser yang terjadi. Pada gambar (7) di bawah terlihat bahwa apabila sudut geser  $\phi \downarrow$ , maka regangan geser  $\gamma \uparrow$ .



Gambar 7. Analisis regangan geser

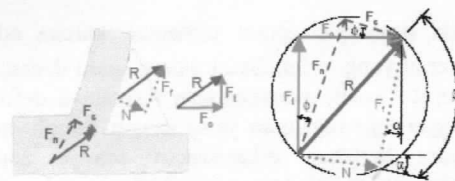
**Gaya Pemotongan**

Sewaktu terjadi proses pemotongan, sedikitnya ada 6 buah gaya yang terjadi, gaya dorong / *thrust*  $F_t$ , gaya potong / *cutting*  $F_c$ , gaya gesek / *friction*  $F_f$ , gaya normal pahat / *tool normal*  $N$ , gaya geser / *shear*  $F_s$ , dan gaya normal geram / *chip normal*  $F_n$ . Perhatikan gambar (8) berikut :



Gambar 8. Gaya-gaya pemotongan

Gaya-gaya tersebut di atas memiliki hubungan satu sama lain, sebagaimana diperlihatkan dalam **Diagram Merchant** (lingkaran gaya pemotongan)<sup>[4]</sup>, pada gambar (9).



Gambar 9. Diagram Merchant<sup>[2]</sup>

Gaya-gaya yang timbul pada waktu proses pembentukan geram diklasifikasikan menjadi gaya-gaya pada bidang geser ( $A_s$ ) dan pada kontak antara pahat dengan geram.

**Gaya-gaya Pada Bidang Geser**

$$F_s = F_c \cdot \sin \alpha + F_t \cdot \cos \alpha$$

$$N = F_c \cdot \cos \alpha + F_t \cdot \sin \alpha \quad \dots \dots \dots (1)$$

**Gaya-gaya Pada Daerah Kontak Antara Pahat Dengan Geram**

$$F_f = F_c \cdot \sin \alpha + F_t \cdot \cos \alpha = R \sin \beta \dots\dots\dots (2)$$

$$N = F_c \cdot \cos \alpha - F_t \cdot \sin \alpha = R \cos \beta \text{ , sehingga}$$

$$\mu = \frac{F_f}{N} = \frac{R \sin \beta}{R \cos \beta} = \tan \beta \text{ , umumnya bernilai}$$

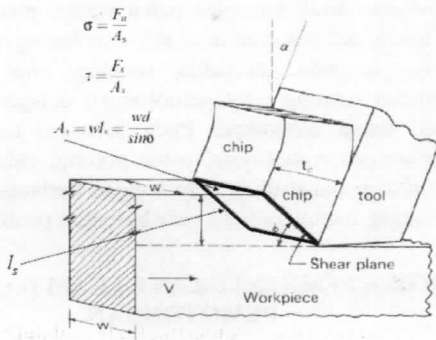
$$0,5 < \mu < 2$$

Selanjutnya, terlihat bahwa nilai tegangan geser ( $\tau_s$ ) yang timbul tergantung pada sudut bidang geser( $\Phi$ ) yang terjadi seperti yang ditunjukkan pada gambar (10).

$$\tau_s = \frac{F_s}{A_s} = \frac{F_c \cdot \cos(\phi) - F_t \cdot \sin(\phi)}{\left[ \frac{t_o}{\sin(\phi)} \right] \cdot w} \rightarrow \text{tegangan geser,}$$

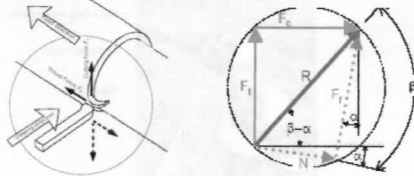
ada juga tegangan normal

$$\sigma = \frac{F_n}{A_s} \text{ , dimana } A_s = w \cdot l_s = \frac{wd}{\sin \phi} \rightarrow \sin \phi = \frac{d}{l_s}$$



Gambar 10. Hubungan tegangan geser, tegangan normal dan sudut bidang geser

Gaya potong  $F_c$  dan gaya dorong  $F_t$  dinyatakan sebagai ditunjukkan pada gambar (11) berikut :



Gambar 11. Hubungan gaya potong dan gaya dorong

$$F_t = F_c \cdot \tan(\beta - \alpha)$$

- $\beta < \alpha$  , pahat tertarik menuju benda kerja
- $\beta > \alpha$  , pahat terdorong dari benda kerja
- $\beta = \alpha$  , tidak terjadi gaya dorong ( $F_t$ )

Apabila sudut geser ( $\Phi$ ) diatur sedemikian rupa sehingga didapat tegangan geser ( $\tau_s$ ) yang maksimum, maka :

$$\tau_s = \frac{F_s}{A_s} = \frac{F_c \cdot \cos(\phi) - F_t \cdot \sin(\phi)}{\left[ \frac{t_o}{\sin(\phi)} \right] \cdot w}$$

$$\frac{d\tau_s}{d\phi} = \frac{F_c}{t_o \cdot w} \left[ \cos^2(\phi) - \sin^2(\phi) - \frac{F_t}{F_c} \cdot 2 \cdot \sin(\phi) \cdot \cos(\phi) \right] = \frac{F_c}{t_o \cdot w} \left[ \cos(2\phi) - \frac{F_t}{F_c} \cdot \sin(2\phi) \right]$$

$$\frac{d\tau_s}{d\phi} = 0 \rightarrow \left[ \frac{\cos(2\phi)}{\sin(2\phi)} - \frac{F_t}{F_c} \right] = 0 = \frac{\cos(2\phi)}{\sin(2\phi)} \cdot \frac{\sin(\beta - \alpha)}{\cos(\beta - \alpha)}$$

$$\cos(2\phi) \cdot \cos(\beta - \alpha) - \sin(2\phi) \cdot \sin(\beta - \alpha) = 0 = \cos(2\phi + \beta - \alpha)$$

$$2\phi + \beta - \alpha = \frac{\pi}{2} \rightarrow \phi = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{\beta + \alpha}{2} \rightarrow \text{Merchant's relationship [radians]}$$

Sudut-sudut tersebut selalu demikian hubungannya di dalam konteks Diagram Merchant.

Selanjutnya kita tinjau :

$$\tau_s = \frac{F_s}{A_s} = \frac{F_c \cdot \cos(\phi) - F_t \cdot \sin(\phi)}{\left[ \frac{t_o}{\sin(\phi)} \right] \cdot w} \dots\dots\dots (3)$$

Maka gaya potong akan menjadi:

$$F_c = \frac{(\tau_s \cdot A_s) + (F_t \cdot \sin \phi)}{\cos \phi} = \frac{\tau_s \cdot w \cdot t_o \cdot \cos(\beta - \alpha_o)}{\sin \phi \cdot \cos(\phi + \beta - \alpha_o)}$$

....(Persamaan 4)

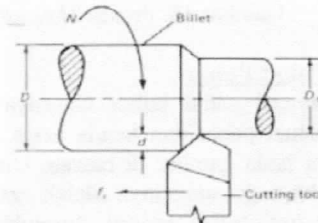
(Catatan: Dalam sistem ISO  $w = b$ ,  $t_o = h$ ,  $\beta = \eta$ ,  $\alpha_o = \gamma_o$ ,  $F_c = F_v$ )

**MESIN BUBUT**

**Definisi Membubut**

Dalam pengertian klasik, bubut adalah operasi pemesian yang menghasilkan benda jadi berbentuk silindris seperti ditunjukkan pada gambar (12). Secara mendasar, dapat diartikan sebagai proses pemesian suatu bidang permukaan, dimana:

- Benda kerjanya berputar
- Pahat potongnya memiliki satu bidang potong
- Gerak pemakanan pahat potong sejajar dengan sumbu putar benda kerja dan berjarak setebal tertentu permukaan luar benda kerja yang akan dimakan.

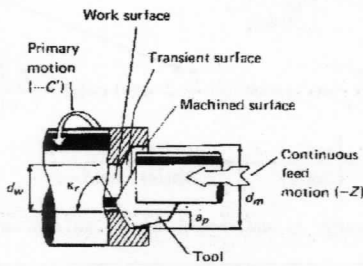


Gambar 12. Proses membubut

**Berbagai Operasi Pembubutan**

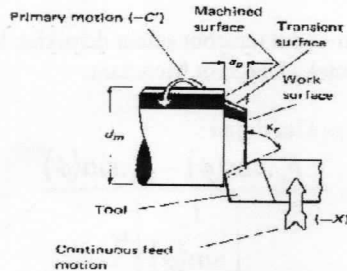
Selain pengurangan ukuran diameter secara memanjang, ada sejumlah operasi lain yang dapat dikerjakan di mesin bubut, antara lain:

• *Boring*



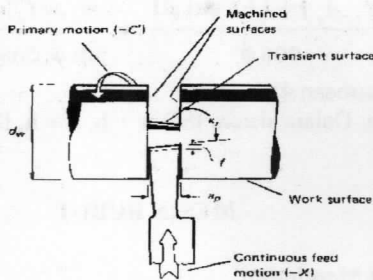
Gambar 13. Proses Boring

• *Facing*



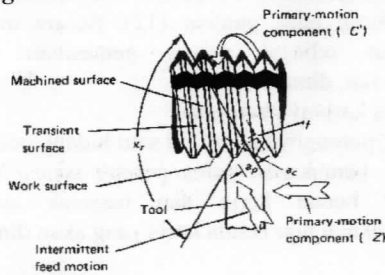
Gambar 14. Proses Facing

• *Parting*



Gambar 15. Proses Parting

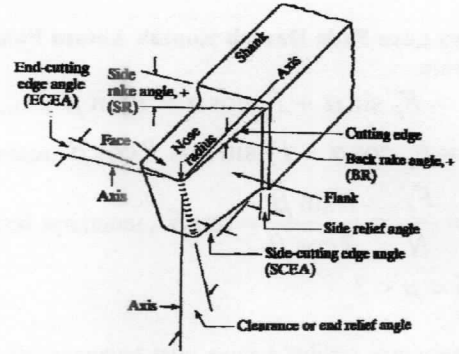
• *Threading*



Gambar 16. Proses Threading

**Geometri Pahat Bubut**

Bentuk geometri pahat bubut biasanya tergantung dari sifat-sifat bahan pahat dan benda kerja. Beberapa istilah baku terlihat pada gambar di bawah. Untuk mata potong tunggal, sudut-sudut utamanya adalah *rake angles* dan *end* serta *side relief angles*, seperti ditunjukkan pada gambar (17).



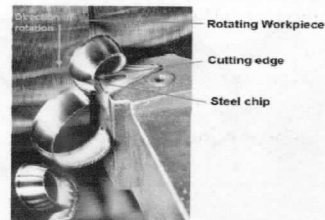
Gambar 17. Geometri Pahat bubut

*Back rake angle* (sudut miring) mempengaruhi kemampuan pahat untuk memotong benda kerja dan membentuk geram. Dapat bernilai positif atau negatif. *Positive rake angles* mengurangi gaya potong yang timbul pada defleksi terkecil dari benda kerja, pemegang pahat, dan mesin. Jika sudut miring terlalu besar, kekuatan pahat berkurang, begitu pula daya hantar panasnya. Pada pemesian material keras, sudut miring harus kecil, bahkan bernilai negatif untuk pahat sisipan karbid dan intan. Semakin keras material pahat, semakin kecil sudut miring. Untuk HSS biasanya bersudut miring positif<sup>[5]</sup>.

Pembubutan dilakukan oleh pahat bersisi potong tunggal. Baik untuk pahat kanan atau kiri dan facing, pemotongan berlangsung pada sisi pahat; sehingga *side rake angle* berperan penting agar pemotongan dengan kedalaman tertentu dapat dilakukan. Pada berbagai macam pahat (pahat dengan *round-nose*, pahat potong, pahat finishing, dan berbagai pahat ulir), pemotongan berlangsung di atau dekat ujung, sehingga *back rake* berperan penting.

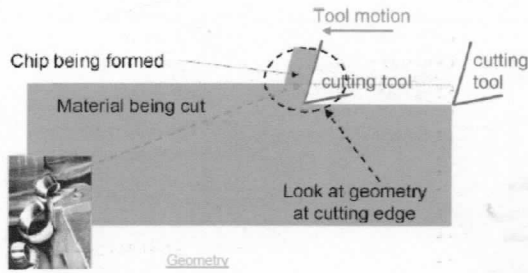
**PROSES PEMBENTUKAN GERAM DAN GAYA PEMOTONGAN**

Pemotongan benda kerja (pembentukan geram) dalam mesin bubut dapat ditransformasikan sebagai sistem pemotongan ortogonal (*orthogonal machining*). Sebagaimana terlihat pahat gambar (18) di bawah ini.



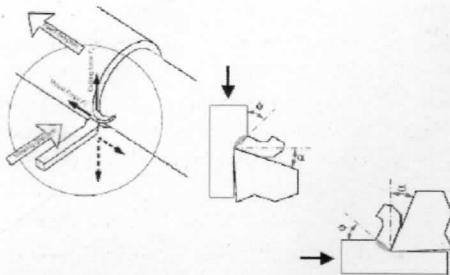
Gambar 18. Pemotongan benda kerja pada proses bubut

Selanjutnya jika dipresentasikan dalam bentuk geometri pemotongannya seperti pada gambar 19 berikut :



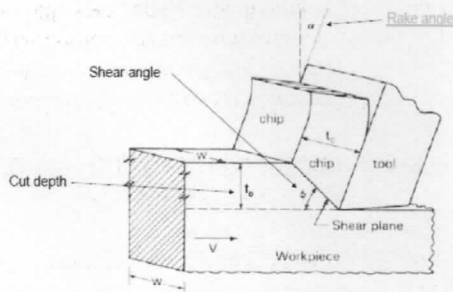
Gambar 19. Geometri Pemotongan pada proses bubut

Lebih jelasnya adalah sebagaimana diperlihatkan dalam bentuk transformasi ke dalam sistem ortogonal. Perhatikan gambar (20) berikut.



Gambar 20. Gaya pemotongan dalam sistem orthogonal

Sehingga penggambaran mekanika pemotongannya adalah seperti terlihat pada gambar (21) berikut :



Gambar 21. Mekanika pemotongan

Ketebalan geram  $t_c$  (ISO  $h_c$ ) merupakan parameter penting dalam mekanika pembentukan geram. Pada prakteknya geram tidak pernah lebih kecil dari kedalaman potong  $t_o$ . Pada kebanyakan referensi,  $t_c$  selalu dihubungkan dengan  $t_o$  dalam rasio pemotongan  $r$  ( $0,2 < r < 0,5$ ):

$$r = \frac{t_o}{t_c} = \frac{\sin \phi}{\cos(\phi - \alpha)} < 1 \quad (\text{ISO, } t_o = h, t_c = h_c, r = \lambda_h)$$

dimana  $\alpha$  (ISO,  $\gamma$ ) adalah sudut geram pada pahat dan  $\phi$  adalah sudut bidang geser

Ketebalan geram rata-rata bisa didapat dari :  $t_c = \frac{W}{\rho w l}$

dimana  
**W** adalah berat geram  
**w** adalah lebar geram  
**l** adalah panjang geram yang diukur  
 **$\rho$**  adalah massa jenis benda kerja

Sehingga dari penggambaran terlihat, bahwa gaya pemotongan yang terjadi pada proses pembubutan (di mesin bubut) adalah sama dengan persamaan (4), pada sistem pemotongan ortogonal yaitu :

$$F_c = \frac{(\tau_s \cdot A_s) + (Ft \cdot \sin \phi)}{\cos \phi} = \frac{\tau_s \cdot w t_o \cdot \cos(\beta - \alpha_o)}{\sin \phi \cdot \cos(\phi + \beta - \alpha_o)} \dots \dots \dots (4)$$

(Catatan: Dalam sistem ISO  $w = b, t_o = h, \beta = \eta, \alpha_o = \gamma_o, F_c = F_v$ )

**KESIMPULAN**

- Mekanisme pembentukan geram menarik untuk dianalisis karena:
  - Perbedaan material menyebabkan karakteristik pembentukan geram juga berbeda.
  - Proses berlangsung *asymmetrical* dan tidak terbatas tergantung pada *cutting tool*.
  - Regangan yang terjadi sangat besar
  - Proses sangat sensitive terhadap variasi *tool geometry, tool material, temperature, cutting fluids dan process dynamic (chatter and vibration)*.
- Gaya pemotongan yang terjadi pada proses pembubutan adalah sama dengan persamaan pada sistem pemotongan ortogonal.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Boothroyd & Knight, *Fundamentals of Machining and Machine Tools*. John Wiley & Sons 1980
- DeGarmo, Black, Kohser, "Materials Processes In Manufacturing". John Wiley & Sons, Inc 1999
- Esbjerg, "Computational Mechanics". Prentice Hall Internatioanal, Inc. 2001
- Kalpakjian, *Introduction to Manufacturing Processes*. John Wiley & Sons 2000
- Michigan Technological University (USA), <http://www.mfg.mtu.edu/cyberman/machining/trad/milling> . 2006
- Olivo, *Machine Tool Technology and Manufacturing Processes*, C Thomas Olivo and Associates. Prentice Hall. 2002
- Taufiq Rochim, "Teori & Teknologi Proses Pemesinan". Penerbit ITB 1993