

PENGARUH PEMAKANAN (*FEED*) TERHADAP GEOMETRI DAN KEKERASAN GERAM PADA *HIGH SPEED MACHINING PROCESSES*

Rusnaldy¹⁾, Budi Setiyana²⁾

Abstrak

Meningkatnya permintaan untuk memperbesar produktivitas dengan biaya produksi rendah, menuntut untuk dilakukannya pemesinan yang cepat maka dilakukan pemesinan dengan cara meningkatkan kecepatan pemesinan. Teknologi pemesinan kecepatan tinggi (*high speed machining*) merupakan salah satu cara untuk meningkatkan produktivitas. Dengan kecepatan potong dan pemakanan yang tinggi, maka volume pelepasan material dari material induk akan meningkat sehingga akan diperoleh penghematan waktu pemesinan yang cukup berarti.

Tulisan ini meneliti pengaruh kedalaman pemakanan dengan geometri dan kekerasan geram, dimana proses pemesinan yang dilakukan pada kecepatan tinggi adalah pada mesin bubut semi otomatis dengan empat jenis benda kerja yang mempunyai kekuatan tarik yang berbeda-beda. Geram yang dihasilkan di ukur geometri dan kekerasannya.

Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa dengan naiknya nilai kedalaman pemakanan akan menaikkan kekerasan geram. Disamping itu sifat dan jenis dari material benda kerja akan sangat berpengaruh terhadap geometri geram yang dihasilkan.

PENDAHULUAN

Meningkatnya permintaan untuk memperbesar produktivitas dengan biaya produksi rendah, menuntut untuk dilakukannya pemesinan yang cepat maka dilakukan pemesinan dengan cara meningkatkan kecepatan pemesinan. Teknologi pemesinan kecepatan tinggi (*high speed machining*) merupakan salah satu cara untuk meningkatkan produktivitas. dengan kecepatan potong yang tinggi, maka volume pelepasan material dari material induk akan meningkat sehingga akan diperoleh penghematan waktu pemesinan yang cukup berarti. Di samping itu pemesinan kecepatan tinggi mampu menghasilkan produk yang halus permukaannya serta ukuran yang lebih presisi.

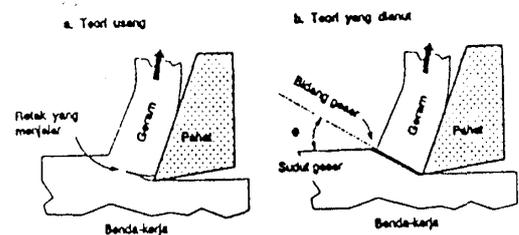
Sejauh ini penelitian untuk mengetahui mampu mesin dari material dilihat dari segi geram (*chip*) sebagai hasil dari proses pemesinan pada kecepatan tinggi jarang sekali dilakukan. Tulisan ini ditujukan untuk mengetahui sejauh mana pengaruh proses *high speed machining* terhadap mampu mesin (*machinability*) dari sebuah material. Dan yang diteliti adalah geram yang dihasilkan dari proses *high speed machining* mengenai geometri dan kekerasannya.

TINJAUAN PUSTAKA

Pembentukan geram (*Chip Formation*)

Geram merupakan bagian dari material yang terbuang ketika dilakukan sebuah proses pemesinan. Dalam proses *metal cutting* akan selalu dijumpai istilah : kecepatan potong (*Speed*), kecepatan makan (*Feed*) dan kedalaman potong (*Depth of Cut*) untuk menjelaskan masalah tersebut ilustrasinya akan menggunakan proses bubut (*turning*).

Geram terbentuk akibat timbulnya tegangan (*stress*) di daerah di sekitar konsentrasi gaya penekanan mata potong pahat. Tegangan pada benda kerja tersebut pada salah satu arah akan terjadi tegangan geser (*shearing stress*) yang maksimum. Apabila tegangan geser ini melebihi kekuatan logam yang bersangkutan maka akan terjadi *deformasi plastis* (perubahan bentuk) yang menggeser dan memutuskan benda kerja di ujung pahat pada satu bidang geser (*shear plane*)

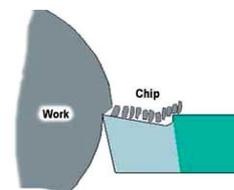


Proses terbentuknya chip (geram)

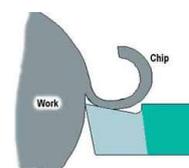
Jenis Geram (*chip*)

Dilihat dari ukuran panjang pendeknya adalah :

a. Chip Discontinuous



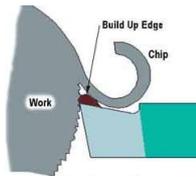
b. Geram Continous



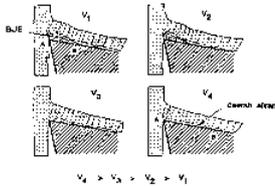
¹⁾ Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin FT-UNDIP

²⁾ Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin FT-UNDIP

c. Geram *Continuous* dengan *built up edge* (BUE)



d. BUE akan hilang dengan meningkatnya kecepatan



Dilihat dari bentuk penampangnya :

1. *Straight Chips*



2. *Snarling Chips*



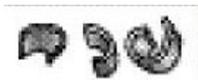
3. *Infinite Helix Chips*



4. *Full Turn Chips*



5. *Half Turn Chip*



6. *Tight Chips*



Perhitungan dalam Proses Pemesinan

Diagram dari proses pemotongan diberikan pada gambar berikut.

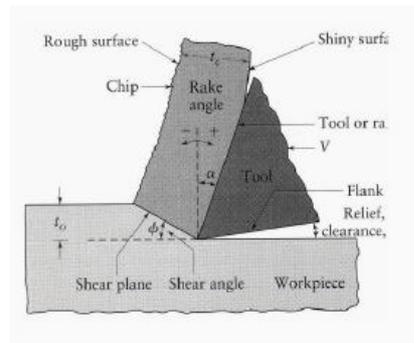


Diagram Proses Pemotongan

t_c = chip thickness (Ketebalan geram); mm

t_0 = tebal geram mula-mula ; mm

ϕ = Shear angle

α = Rake angle

Perhitungan dalam proses pembentukan chip.

Sebelum dilakukan proses pemesinan

1. Lebar pemotongan

$$b = \frac{a}{\sin k_r} \text{ (mm)}$$

Di mana k_r merupakan sudut potong utama (*principle cutting edge angle*).

2. Tebal geram

$$H = f \sin k_r \text{ (mm)}$$

Sesudah dilakukan proses pemesinan

1. Rasio Pemampatan geram

Rasio pemampatan geram dirumuskan dengan:

$$\lambda = \frac{t_c}{t_0}$$

Jika rasio pemampatan geram semakin tinggi maka nilai sudut geser semakin besar pula.

2. *Shear plane angle* (sudut geser)

Sudut geser (*shear angle*) dirumuskan

$$\cot \phi = \frac{(t_c / t_0) - \sin \alpha}{\cos \alpha}$$

di mana:

t_c = lebar geram sesudah pemotongan (mm)

t_0 = tebal geram mula-mula (mm)

Dalam proses pemotongan sudut geser sangat ditentukan oleh sudut geram (*rake angle*).

3. Shear strain

Shear strain menunjukkan banyaknya deformasi plastis yang terjadi, dirumuskan dengan

$$\gamma = \frac{\cos \alpha}{\sin \phi \cos(\phi - \alpha)}$$

4. Luas penampang bidang geser

Luas penampang bidang geser yang terjadi dirumuskan dengan

$$A_{shi} = \frac{A}{\sin \phi} \quad (\text{mm}^2)$$

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

b = lebar geram (mm)

h = tebal geram sebelum dilakukan pemotongan (mm)

$$b = \frac{a}{\sin \kappa_\tau} \quad (\text{mm})$$

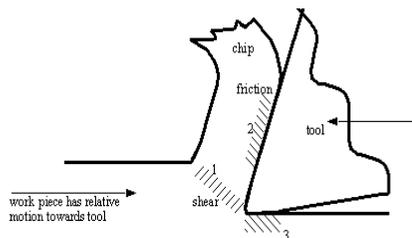
$$h = f \cdot \sin \kappa_\tau \quad (\text{mm})$$

Temperatur Pemotongan

Pada proses pemotongan hampir seluruh energi pemotongan diubah menjadi panas melalui proses gesekan antara geram dengan pahat dan antara pahat dengan benda kerja, serta perusakan molekuler atau ikatan atom pada bidang geser (*shear plane*).

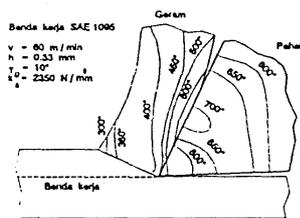
Ada tiga sumber panas yang dihasilkan ketika melakukan proses pemotongan:

1. Panas yang dihasilkan ketika tool mengubah bentuk (bekerja) pada logam
2. Friksi pada muka potong (*cutting face*)
3. Friksi pada *tool flank*



Terjadinya panas pada proses pemotongan

Pemanasan yang paling tinggi terjadi pada ujung pahat, kemudian diikuti dengan geram dan benda kerja.



Distribusi panas selama proses pemotongan

Pengaruh Pemakanan (Feed) Terhadap Geometry Geram

Pemakanan (feed) yang tinggi akan menyebabkan kenaikan luas penampang bidang geser. Kenaikan luas penampang bidang geser akan menurunkan nilai sudut geser (*shear angle*). Turunnya sudut geser justru akan menaikkan rasio pemampatan geram. Dengan demikian feed yang tinggi akan menaikkan rasio pemampatan geram. Rasio pemampatan geram sendiri merupakan perbandingan

tebal geram yang dihasilkan dengan tebal geram mula-mula.

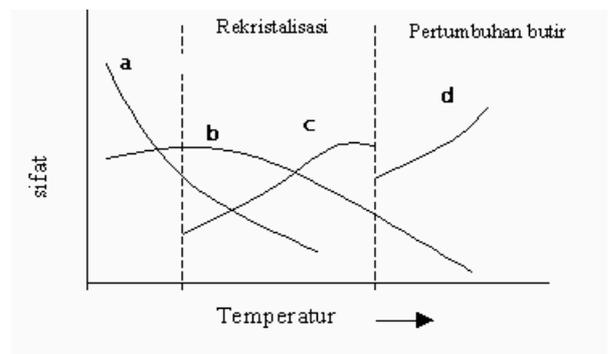
$$\lambda = \frac{t_c}{t_0}$$

dengan bertambahnya feed akan menambah pula luas penampang geram.

Sedangkan dilihat dari bentuk geram yang dihasilkan dapat diketahui bahwa pemakanan (feed) berpengaruh terhadap bentuk geram yang dihasilkan. *Continuous chip* terjadi pada proses pemesinan dengan pemakanan (feed) yang tinggi. Sedangkan *discontinuous chip* terjadi pada pemakanan (feed) rendah. Tetapi hal ini juga dipengaruhi oleh sifat material benda kerja.

Pengaruh Pemakanan (feed) Terhadap Sifat Mekanik Geram

Dengan bertambahnya Pemakanan (feed) akan menurunkan temperatur pemotongan.. Padahal bertambahnya temperatur akan menyebabkan terjadinya pelunakan oleh sebab tidak mantapnya struktur sel. Proses pelunakan ini dikenal dengan proses *annealing*.



Keterangan :

- a = Regangan lintern
- b = Kekuatan
- c = Keuletan
- d = Ukuran Butir

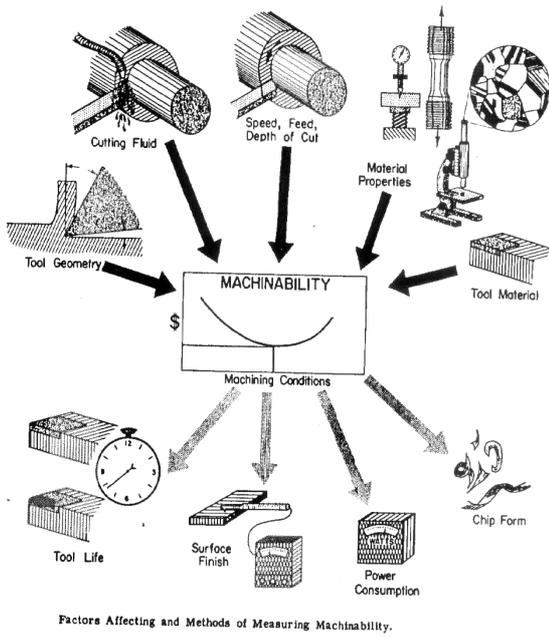
Hubungan Temperatur dan sifat material pada pengerjaan dingin

Mampu Mesin (Machinability)

Mampu mesin dapat didefinisikan dengan mudah tidaknya suatu material untuk di mesin atau dengan kata lain kemampuan material untuk di mesin. Mampu mesin suatu benda kerja sering diukur dengan jumlah komponen yang mampu dihasilkan perjam, biaya proses pemessinan, atau kualitas akhir dari proses pemesinan. Mampu mesin dari suatu material dapat diukur dengan salah satu faktor di bawah ini.

1. *Tool life* : umur pahat .
2. *Limiting rate* pada *metal removal* hal ini berkaitan dengan laju maksimum material yang dapat dimesin dengan standar pendeknya umur pahat.
3. Gaya pemotongan (*cutting force*) menyatakan gaya yang bekerja pada pahat yang diukur dengan menggunakan dynamometer.
4. Permukaan Akhir (*surface finish*) menunjukkan permukaan akhir yang mampu dicapai pada kondisi pemesinan tertentu.

5. Geram yang terbentuk .



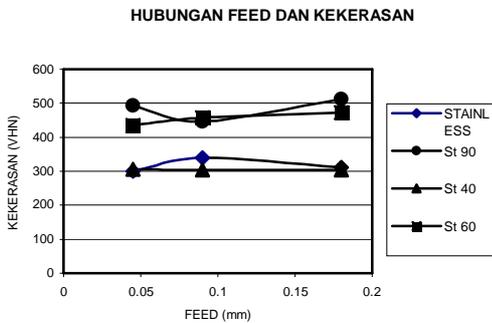
Factors Affecting and Methods of Measuring Machinability.

Faktor yang mempengaruhi Machinability

DATA HASIL PENELITIAN

Dari penelitian yang dilakukan diperoleh data sebagai berikut.

Grafik hubungan antara feed dan kekerasan



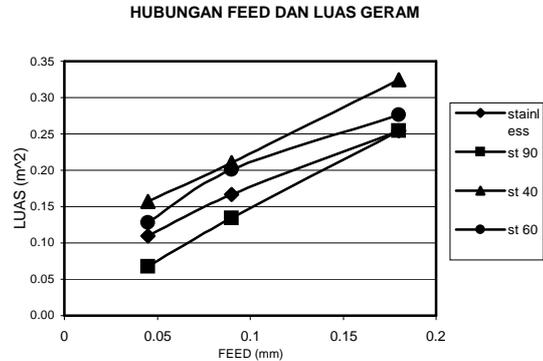
Semakin tinggi temperatur yang dicapai maka nilai kekerasan cenderung menurun. Bertambahnya temperatur akan menyebabkan terjadinya pelunakan oleh sebab tidak mantapnya struktur sel. Proses pelunakan ini dikenal dengan proses annealing. Padahal semakin tinggi pemakanan akan menurunkan temperatur pemesian, jadi semakin tinggi pemakanan akan mengakibatkan kekerasan geram semakin naik.

Dari grafik di atas dapat dilihat bahwa naiknya feed diikuti dengan kenaikan nilai kekerasan pada geram, kecuali pada baja ST 40 yang justru nilai kekerasannya semakin turun dengan meningkatnya nilai feed. Hal ini kemungkinan dikarenakan oleh beberapa hal antara lain karena pemasangan benda kerja yang kurang center sehingga sewaktu proses

terjadi putaran benda kerja yang tidak stabil sehingga kontak dengan pahat tidak bisa seragam.

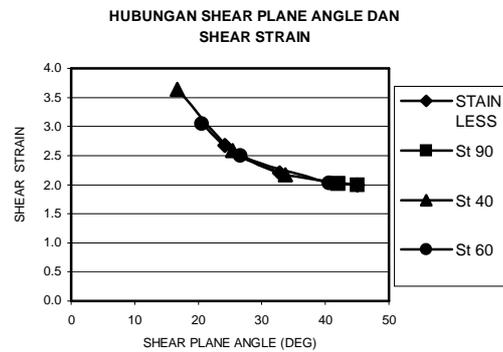
Analisa Grafik Hubungan Antara Feed dan Luas Penampang Bidang Geser Geram

Grafik hubungan antara feed dan luas penampang bidang geser geram adalah sebagai berikut:



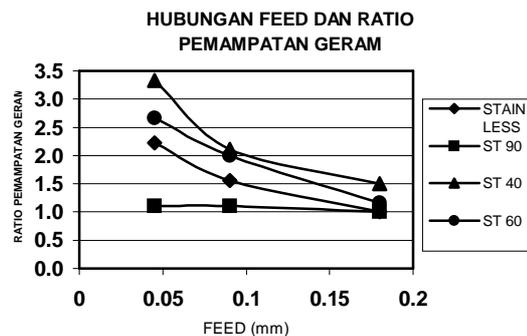
Dari grafik terlihat bahwa naiknya feed diikuti dengan meningkatnya luas penampang bidang geser geram, hal ini dikarenakan luas geram merupakan perkalian antara lebar geram dan tebal geram mula-mula.

Hubungan Shear Plane Angle dengan Shear Strain



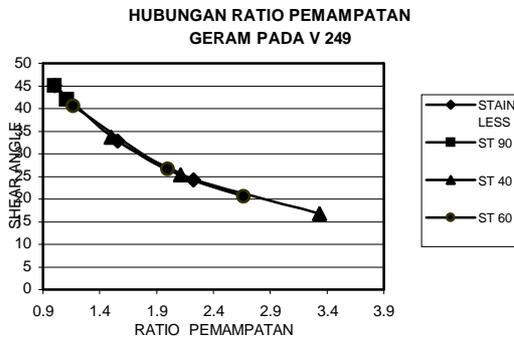
Hubungan antara shear plane angle dan shear strain adalah berbanding terbalik. Kenaikan nilai shear plane angle justru menurunkan nilai shear strain seperti yang terlihat pada grafik diatas.

Hubungan Feed dan Rasio Pemampatan Geram



Kenaikan kedalaman pemakanan akan memberikan kenaikan tebal geram, dan kenaikan tebal geram akan menjadikan nilai rasio pemampatan geram akan turun.

Hubungan Rasio Pemampatan Geram dan Shear Angle

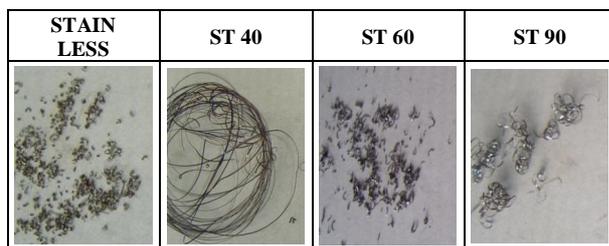


Berdasar grafik di atas dapat dilihat bahwa naiknya nilai rasio pemampatan geram akan diikuti pula dengan menurunnya nilai *shear angle*.

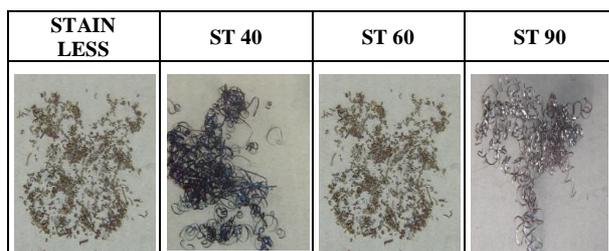
Geram Yang Dihasilkan Dalam Penelitian

Dari penelitian yang dilakukan di dapat jenis geram pada putaran 2500 Rpm untuk feed 0.045, 0.09, 0.18 mm/rev

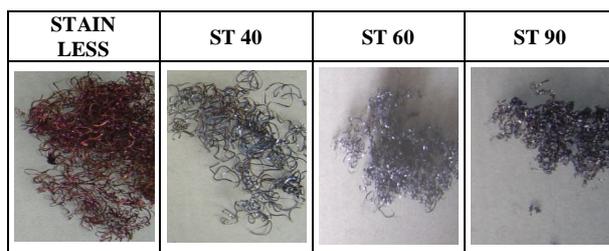
1. Pada feed 0.045 mm/put



2. Pada feed 0.09 mm/put



3. Pada feed 0.18 mm/put



Pada geram yang dihasilkan pada St 40 sebenarnya seluruhnya continuous. Namun terputus-putus karena geram melilit pada benda kerja dan pada pahat. Geram yang terbentuk adalah *straight chip* (seperti pita), yang menandakan bahwa material tersebut lunak.

Pada Geram Stainless Steel 304 sebagian memiliki bentuk *infinite helix chip* (berbentuk spiral) yang memiliki jari-jari spiral yang kecil.

Pada St 60 dan St 90 geram yang terbentuk memiliki bentuk *snarling chip* (keriting) yang menunjukkan bahwa material tersebut adalah keras.

Pada benda kerja yang ulet menghasilkan geram yang *continuous* Keuntungannya membutuhkan gaya pemesian yang lebih rendah. Namun yang mengakibatkan luas bidang geram semakin besar ,hal ini membuat gesekan terus menerus dengan pahat yang mengakibatkan pahat cepat aus sehingga *tool life* rendah.

Pada benda kerja yang keras dihasilkan geram yang *discontinuous* serta dibutuhkan gaya yang lebih besar. Tapi memiliki keuntungan yaitu dari hasil geram yang discontinous maka dihasilkan luas permukaan geram yang lebih kecil sehingga penetrasi dengan pahat lebih sedikit yang mengakibatkan umur pahat lebih lama.

Mampu mesin (*machinability*) dari benda kerja dapat diketahui dari umur pahat dan gaya pemotongan. Makin tinggi umur pahat maka mampu mesinnya akan semakin baik. Sedang untuk gaya pemesinan, makin rendah gaya yang dibutuhkan maka mampu mesinnya justru akan semakin baik. Namun kondisi pahat menjadi hal yang lebih dipertimbangkan, karena kalau pahat mengalami keausan justru akan menyebabkan timbulnya beberapa kerugian antara lain:

- Gaya pemotongan akan naik
- Kualitas permukaan benda kerja menurun/tidak halus
- Perubahan dimensi produk

Geram *discontinuous* terdiri dari beberapa tipe berdasarkan ukuran radiusnya. Makin besar radius kurva dari geram, maka makin besar pula gaya yang dibutuhkan dalam proses pemesinan.

Dari keempat benda kerja yang dipakai, dengan melihat bentuk geram yang dihasilkan terlihat *Stainless Steel* menghasilkan geram yang *discontinuous* dengan radius kurva yang lebih kecil. Sehingga dapat dikatakan bahwa *Stainless Steel* memiliki mampu mesin (*machinability*) yang lebih baik dibanding dengan benda kerja yang lain jika dilihat dari bentuk geramnya.

Hubungan Gaya Geser, Laju Regangan dan Kerja pada Bidang Geser

Geram terputus karena adanya tegangan geser (*shearing stress*) yang bekerja pada bidang geser (*shear plane*) dan melebihi kekuatan logam/benda kerja.

Apabila gaya geser besar maka kerja yang terjadi pada bidang geser juga akan semakin besar.

Gaya pada bidang geser sendiri dirumuskan dengan

$$F_s = A_{shi} \cdot \tau_{shi} \text{ di mana :}$$

A_{shi} = luas penampang bidang geser

$$= \frac{A}{\sin \varphi} \text{ (mm}^2\text{)}$$

τ_{shi} = tegangan geser (*shear stress*) pada bidang geser,

sehingga gaya geser dapat ditulis dengan :

$$F_s = \frac{A \cdot \tau_{shi}}{\sin \varphi}$$

Dari rumus di atas maka dapat diketahui bahwa nilai gaya geser dipengaruhi oleh :

- Luas penampang geram sebelum terpotong ($A = a.f$) apabila nilainya semakin besar maka gaya juga akan semakin besar. Padahal luas penampang geram dipengaruhi oleh pemakanan (*feed*). Maka jika pemakanan semakin besar maka akan mengakibatkan gaya geser semakin besar pula.
- Tegangan geser dari benda kerja nilainya tergantung dari kekuatan tarik benda kerja, semakin besar kekuatannya maka nilai tegangan geser juga akan semakin besar.
- Sudut geser (*shear angle*) yang semakin besar akan memberikan gaya potong yang besar.

KESIMPULAN

Dari penelitian yang dilakukan dapat ditarik kesimpulan bahwa :

- Pada St 40 Geram yang terbentuk adalah *Straight chip* (seperti pita), yang menandakan bahwa material tersebut lunak.
- Pada Geram Stainless Steel 304 sebagian memiliki bentuk *infinite helix chip* (berbentuk *spiral*) yang memiliki jari-jari spiral yang kecil. *Stainless Steel* menghasilkan geram yang *discontinous* dengan radius kurva yang lebih kecil. Sehingga dapat dikatakan bahwa *Stainless Steel* memiliki mampu mesin (*machinability*) yang lebih baik dibanding dengan benda kerja yang lain jika dilihat dari bentuk geramnya.
- Pada St 60 dan St 90 geram yang terbentuk memiliki bentuk *snarling chip* (keriting) yang menunjukkan bahwa material tersebut adalah keras.
- Semakin besar pemakanan akan mengakibatkan dimensi geram semakin besar dan akan menurunkan mampu mesin dari benda kerja.

- Semakin besar pemakanan akan mengakibatkan kekerasan geram semakin besar.
- Semakin besar pemakanan akan mengakibatkan rasio pemampatan geram semakin kecil .
- Semakin besar pemakanan berpengaruh pada meningkatnya gaya geser serta meningkatkan nilai sudut geser.

DAFTAR PUSTAKA

1. Rochim, Taufik, “*Teori dan Teknologi Proses-proses Pemesinan*”, Higher Education Development Support Project
2. E.M TRENT. PhD, Dmet, FIM, “*Metal Cutting*”, Third edition, 1991, Butterworth-Heinemann L.td
3. E.Dieter, George, Djaprie, Sriati, “*Metallurgi Mekanik*”, edisi Ketiga, Erlangga, Jakarta, 1987
4. A. Schey, John, “*Introductin To Manufacturing Process*”, Second Edition, McGraw-Hill Book Company
5. http://machinetools.netfirms.com/01_Chip_Format_ion.htm
6. <http://electron.mit.edu/~gsteele/mirrors/www.nmis.org/EducationTraining/machineshop/physics/intro.html>
7. <http://www.minicut.com/TechnicalData/chipformation.html>
8. <http://www.thirdwavesys.com/chipbreaking.pdf>
9. <http://www.mf-ze.unsa.ba/Ekin/44.pdf>
10. <http://www.petra.ac.id/english/courses/production/machinin.htm>
11. http://www.me.iastate.edu/me324_bahadur/Section%203.2/Chip%20formation.htm
12. <http://claymore.engineer.gvsu.edu/~jackh/eod/manufact/manufact-15.html>
13. <http://claymore.engineer.gvsu.edu/~jackh/eod/manufact/manufact-16.html>
14. <http://claymore.engineer.gvsu.edu/~jackh/eod/manufact/manufact-18.html#pgfId-155244>
15. <http://claymore.engineer.gvsu.edu/~jackh/eod/manufact/manufact-19.html>
16. <http://www.efunda.com/processes/machining/chip.cfm>
17. Ekinovic, Sabahudin, PhD, Dolinsek, Slavko, PhD, Brdrevic, Safet, PhD, Kopac, Janez, PhD, “*Chip Formation and Some Particularities of High-Speed Milling of Steel Material*”.