

## PENGARUH TEMPERATUR ASTEMPER PADA BESI COR NODULAR (FCD 50) TERHADAP LAJU KEAUSAN PAHAT BUBUT *TIPPED CERAMIC*

Triyono

Jurusan Pendidikan Teknik Mesin, Fakultas Teknik  
Universitas Negeri Jakarta  
Jl. Rawamangun muka jakarta timur  
Telepon : (021 4700918, 08156054972)  
E-mail: triyono.ftm@yahoo.com

Kemajuan teknologi akan memberikan dampak pada kehidupan manusia. Tidak terlepas kemajuan dalam bidang material dan teknologi pemesinan, contoh nyata munculnya proses pemesinan NC dari proses pemesinan 3 axis sampai 5 axis sudah ada dipasaran. Demikian pula pengembangan material hingga muncul nano material. Namun demikian pengusaha bermodal kecil masih terus diperlukan dengan penggunaan mesin konvensional. Salah satunya adalah penggunaan pahat *tipped ceramic* yang sudah sangat lama karena salah satu kelebihanya adalah harga sangat murah. Demikian pula perkeangan besi cor, material besi cor dengan grafit bulat (*ductile iron*) dapat ditingkatkan kualitasnya dengan proses perlakuan panas (*heat treatment*), salah satunya adalah dengan metode *Austempered*. Pemanfaatan *material* ini salah satunya adalah dalam bidang otomotif. Bahan ADI memiliki keunikan dengan kombinasi antara kekuatan, keuletan, fatik dan ketahanan terhadap aus yang baik dengan biaya yang rendah. Hal ini membuka tantangan baru bagi operator mesin – mesin perkakas untuk mengerjakannya. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh variasi suhu austemper terhadap laju keausan pahat tipe *carbide*.

Perlakuan panas yang dilakukan adalah austenisasi besi cornoduler pada suhu 920°C selama 1 (satu) jam, dilanjutkan dengan variasi austemper pada suhu 250 °C, 300°C, 350°C dan 400°C selama 2 jam pada media salt bath. Laju keausan pahat *tipped ceramic* teliti dengan proses pembubutan dengan variasi kecepatan potong dari 50 hingga 80 m/menit, kecepatan penyayatan (*feedrate*) 0,082, 0,164 dan 0,329 m/rev dan ketebalan pemotongan (*depth of cut*) 0.25.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa keausan pahat terkecil pada kondisi CS 50-60 m/menit, *feedrate* 0.329 mm/rev pada material ADI yang diaustemper 350 °C, keausan pahat yang terbesar pada kondisi pemesinan CS 60-70 m/min, *feedrate* 0.329 mm/rev terjadi pada material ADI yang diaustemper 350 °C.

**Kata kunci** ADI, keausan pahat, *tipped ceramic*

### 1. Pendahuluan

Pemanfaatan material *Austempered Ductile Iron* (ADI) sekarang dewasa ini semakin dikenal dengan aplikasinya diberbagai bidang terutama otomotif seperti *diesel engine cylinder liner, crankshaft, rail*

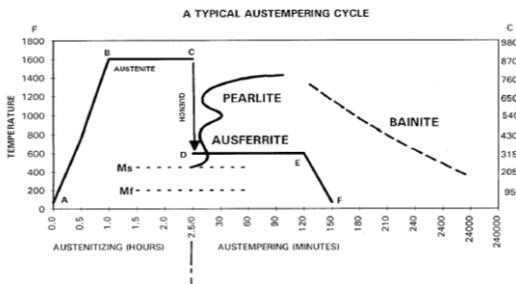
*car wheel* (Hayrynen, 2002). Pembuatan *Ductile Iron* dapat dilakukan oleh perusahaan pengecoran berskala kecil (*home industry*), tidak seperti pembuatan baja yang harus dikerjakan oleh industri besar dan berteknologi tinggi. Perusahaan yang bergerak dalam bidang pengecoran banyak

terdapat di Kabupaten Klaten, Jawa Tengah salah satunya *Ductile Iron* sendiri, bersama aluminium diperkirakan akan terus mengalami peningkatan dengan jumlah mencapai 14 persen hingga 4 tahun ke depan (Kirgin, 2004). Salah satu penyebab meningkatnya pemanfaatan *ductile iron* adalah banyaknya riset mengenai *ductile iron* serta menghasilkan jenis material dengan sifat mekanik yang lebih baik dan cocok untuk digunakan pada berbagai komponen.

Pada penelitian ini dilakukan studi mengenai pengaruh temperatur *austemper* pada besi cor nodular (FCD 50) terhadap laju keausan pahat pahat *tipped ceramic*. Pemilihan pahat dari bahan *ceramic*, (nama pasaran pahat WIDIA) karena tersedia dipasaran dengan harga relatif murah, disamping kemampuannya diatas pahat HSS. Alasan lain penggunaan alat potong ini adalah masih banyaknya industri kecil manufacturing di Indonesia yang menggunakan alat potong jenis ini.

### 1.1 Pembuatan ADI

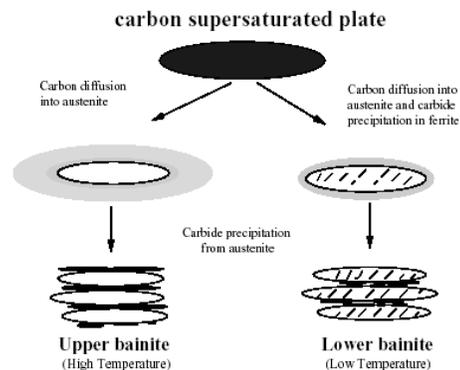
ADI dibuat dengan cara pengecoran konvensional *ductile iron* dan mendapat perlakuan panas dengan proses austenisasi dan austemper seperti terlihat pada gambar 1



**Gambar 1** Skema transformasi *isothermal* yang menggambarkan proses pembentukan *Austempered Ductie Iron*.

Hayrynen dkk (2002) menjelaskan proses pembuatan ADI melalui skema Transformasi *Isothermal* seperti pada gambar 1. Besi cor nodular biasanya golongan besi cor ini yang memiliki sifat ulet, dipanaskan sampai temperatur austenit (A-B) yaitu berkisar antara 840 – 950 °C. Besi cor tersebut ditahan pada temperatur tersebut selama waktu tertentu sehingga tercapai matriks austenit yang seragam (B–C). Setelah itu dilanjutkan proses pendinginan dengan cepat untuk menghindari pembentukan struktur perlit sampai temperatur austemper (C-D) pada proses ini dinamakan proses austemper, yaitu sekitar 230-450 °C selama selang waktu tertentu (D-E) hingga terbentuk matriks ausferrit. Kemudian benda coran didinginkan secara perlahan pada temperatur ruang.

Perbedaan utamanya adalah transformasi terjadi pada temperatur rendah sehingga karbida dapat mengendap di dalam lapisan ferrit. Ada dua jenis karbida pada jenis ini, yaitu: karbida yang tumbuh dari austenit berkadar karbon tinggi dan yang mengendap di dalam ferrit bainitik. Jika pada baja biasa, karbida ini adalah *cementite* tetapi pada ADI berupa karbida transisi.



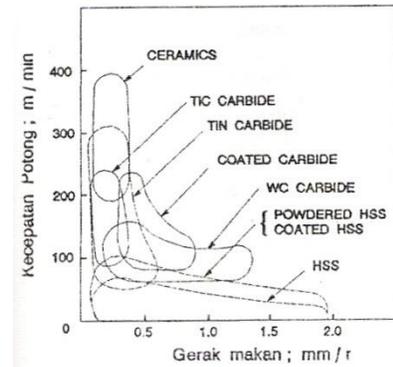
**Gambar 2.** Perbedaan hasil austemper pada temperatur tinggi dan rendah (Badhesia 2003)

## 1.2 Material ceramic

Dengan serbuk yang halus dan homogen oksida Al ( $Al_2O_3$ , titik lebur  $2054\text{ }^{\circ}C$ ) apabila ditekan dalam cetakan dengan temperatur dan tekanan yang tinggi HIP, (*Hot Isostatic Press*) akan terjadi proses *self sintering* (tanpa bahan pengikat) menjadi keramik yang sangat keras dan tahan panas. Selain sebagai pahat potong keramik oksida aluminium ini digunakan pula sebagai isolator, lempengan untuk mikro elektronik dan kapasitor.

Penambahan sedikit MgO akan menghambat pertumbuhan butir. Jenis lain adalah Zirconia ( $ZrO_2$ , titik lebur  $2710\text{ }^{\circ}C$ ) yang lebih tahan panas tetapi koefisien muainya tinggi (terjadi transformasi *polymorphic*) sehingga mudah retak bila terjadi perubahan temperatur. Untuk menstabilkan Zirconia perlu ditambah 5-15 % oksida Yttrium ( $Y_2O_3$ ) atau oksida kalsium (CaO) sehingga cocok untuk pelapis tanur. Jenis yang semi stabil (PsZ, *Partially Stabilized Zirconia*) digunakan sebagai cetakan ekstrusi panas.

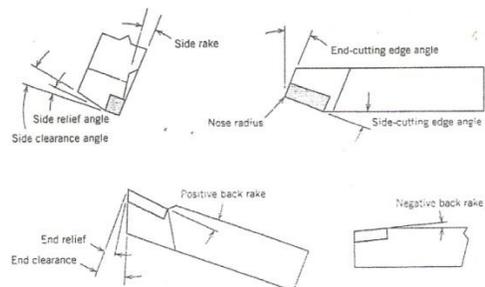
Dalam industri pemesinan dikenal dengan nama pahat keramik adalah jenis oksida aluminium ( $Al_2O_3$ ) murni atau ditambah hingga 30% *titanium* (TiC) untuk menaikkan sifat non adhesif. Penambahan serat halus (*whisker*) dari SiC dimaksudkan untuk mengurangi kegetasan, demikian pula penambahan zirconia ( $ZrO_2$ ) untuk menaikkan retak mikro yang tidak terorientasi sehingga akan menghambat pertumbuhan retak besar. (Rochim 1993).



**Gambar 3.** Daerah kerja berbagai jenis material pahat (Rochim, 1993)

Bahan keramik tahan temperatur tinggi untuk aplikasi mesin telah dikembangkan di Amerika Serikat selama beberapa dekade terakhir. Sebagian besar penelitian dilakukan untuk keramik dengan bahan dasar  $Al_2O_3$  dan SiC karena sangat prospektif untuk aplikasi temperatur tinggi. Alumina misalnya, dapat mempertahankan kekuatan dan kekerasannya jauh lebih baik daripada *cemented carbide* (Whitney, 1994).

Selain material dari pahat faktor lain yang mempengaruhi proses pembubutan adalah geometri dari pahat. Bentuk pahat yang dipilih dari pahat harus sesuai dengan material yang dibubut. Geometri pahat bubut dapat ditunjukkan pada gambar sebagai berikut :



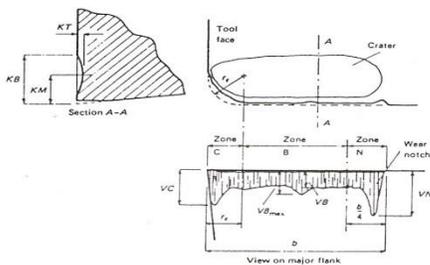
**Gambar 4.** Geometri pahat bubut

Geometri pahat yang paling berpengaruh terhadap tinggi rendahnya umur pahat adalah sudut tatal (*side rake angle*), sudut bebas samping (*side relief angle*) dan sudut bebas depan (*end relief angle*) (Gerling, 1974). Dalam penelitian ini sudut pahat yang digunakan meliputi sudut tatal  $-5^\circ$ , sudut bebas samping  $5^\circ$  dan sudut bebas depan  $5^\circ$ .

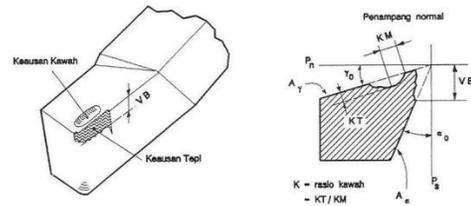
### 1.3 Keausan pahat bubut

Pada proses pembubutan keausan pahat dapat disebabkan oleh beberapa faktor yaitu beban yang bekerja pada pahat, temperatur yang ditimbulkan karena gesekan, dan gesekan antara pahat dan material yang dibubut. Keausan tergantung juga pada jenis material dan pahat bubut serta benda kerja yang dipilih, geometri pahat bubut dan fluida yang digunakan sebagai pendingin (Kalpakjian, 1985).

Tahapan keausan pahat dapat dibagi menjadi dua yaitu : 1) keausan bagian muka pahat yang ditandai dengan pembentukan kawah/lekukan (*crater*) sebagai hasil dari gesekan serpihan (*chip*) sepanjang muka pahat dan 2) keausan pada bagian sisi (*flank*) yang terbentuk akibat gesekan benda kerja yang bergerak (dengan *feeding* tertentu).



**Gambar 5.** Beberapa tipe keausan pahat bubut



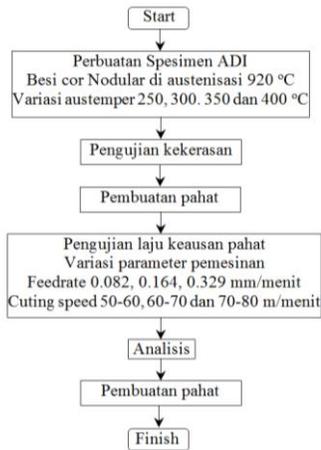
**Gambar 6** Bagian pahat bubut yang mengalami keausan (Rochim, 1993).

## 2. Ekperimen

Persiapan spesimen untuk proses pemessina (*turning*) adalah menyiapkan besi cor nodular (FCD 50) untuk pembuatan *austemper ductile iron* (ADI). Proses diawali dengan austenisasi material tersebut pada temperatur  $920^\circ\text{C}$  pada tungku pemanas, kemudian dilanjutkan proses asustemper pada temperature  $250^\circ\text{C}$ ,  $300^\circ\text{C}$ ,  $350^\circ\text{C}$  dan  $400^\circ\text{C}$  dengan *holding time* selama satu jam. Pahat *tipped ceramic* dipersiapkan dengan meratakan permukaan *tipped ceramic* agar halus dan rata dengan mesin gerinda datar sedangkan *holder* difrais dan digerinda sudut-sudutnya dengan mesin gerinda (*Universal Tool Grinding Machine*). Pada penelitian ini sudut pahat yang digunakan meliputi sudut tatal  $-5^\circ$ , sudut bebas samping  $5^\circ$  dan sudut bebas depan  $5^\circ$ . Pengujian dilakukan dengan membubut bahan ADI tanpa pendinginan (*dry machining*). Variasi kondisi pemotongan meliputi:

- tiga variasi kecepatan potong (*cutting speed*) yaitu range 50-60, 60-70 dan 70-80 meter per menit.
- tiga variasi *feedrate* yaitu 0,082; 0,164 dan 0,329 mm/rev dengan *depth of cut* yaitu 0,25 mm.

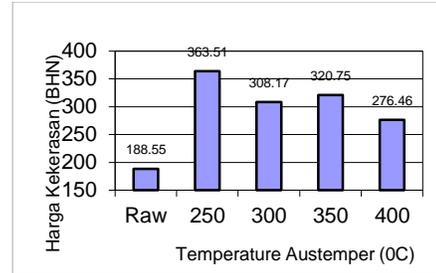
Selama pembubutan, laju keausan pahat diamati dengan pengamatan dibawah mikroskop dan diambil gambar makrofoto.



Gambar .7 Flocat penelitian

### 3. Hasil dan Pembahasan.

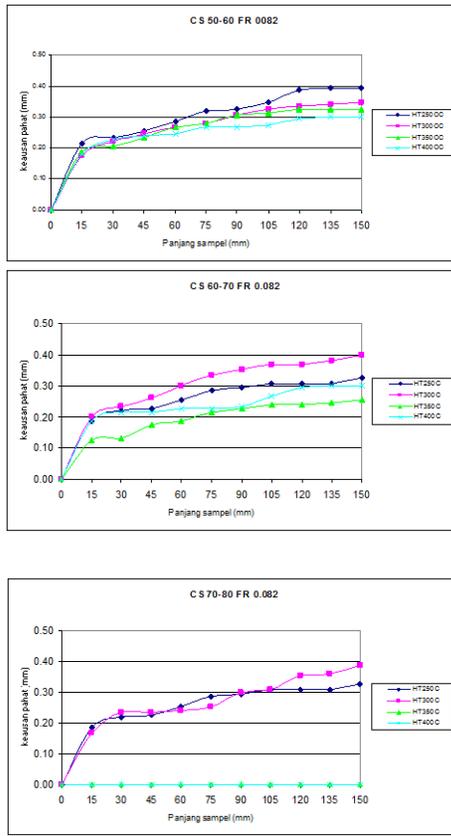
Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, kerusakan dan keausan pahat disebabkan oleh suatu faktor yang dominan atau gabungan dari beberapa faktor tertentu, faktor-faktor penyebab kerusakan dan keausan pahat tersebut antara lain karena proses abrasi, oksidasi, kimiawi, deformasi plastik, adhesi, difusi, keretakan dan kelelahan. Faktor propertis dari bahan yang dipotong, bahan pahat dan pemilihan kondisi pemesinan menjadi suatu keharusan untuk mendapatkan hasil pemesinan yang optimal. Pengaruh temperatur austemper ADI menunjukan perubahan pada sifat fisis dan mekanis. seperti gambar 3.1 menunjukan perubahan kekerasan dengan berubahnya temperatur austemper. Jika dilakukan proses pemesinan, perubahan sifat ini berdampak pada pertumbuhan keausan pahat.



Gambar .7 Hasil Pengujian Kekerasan

- Pengaruh temperature

Pertumbuhan keausan paling besar material ADI austemper 250 °C untuk *cutting speed* (50-60) sedang untuk *cutting speed* 60-70 dan 70-80 m/min keausan terbesar terjadi pada material ADI austemper 300 °C. *Feedrate* yang rendah akan menyebabkan waktu yang relatif lebih lama pahat bergesekan dengan benda kerja, bahan ADI austemper 300 °C walaupun tidak memiliki kekerasan yang paling tinggi justru menyebabkan pertumbuhan keausan pada pahat paling besar. Hal ini memberi gambaran bahwa untuk material ADI austemper 250 dan 300 °C tidak disarankan untuk dikerjakan pada *feedrate* rendah karena umur pahat akan relatif pendek, seperti terlihat pada gambar 8



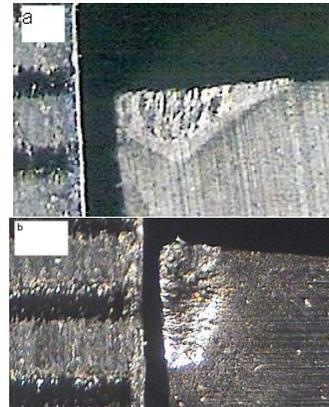
**Gambar 8** Grafik keausan pahat Vs panjang spesimen ADI pada *feedrate* 0.082 dengan variasi *temperature austempered*

- A. *Cutting speed* (50-60)
- B. *Cutting speed* (60-70)
- C. *Cutting speed* (70-80)

• **Pengaruh pemesinan**

Pada kecepatan potong rendah (*cutting speed*) 50-60 m/min keausan yang terjadi disebabkan oleh proses abrasi. Proses ini terjadi karena pengaruh gesekan antara geram (*chip*) dengan pahat pada bidang geram dan bidang utama. Proses abrasi akan berlangsung terus menerus selama proses pemesinan berlangsung. Pengaruh proses abrasi ini pada bidang utama akan menyebabkan keausan tepi (*flank wear*)

sedang pada bidang geram akan menyebabkan keausan kawah (*crater wear*) yang dapat dilihat pada Gambar 9



**Gambar 9** Bentuk keausan pahat *tipped ceramic*.

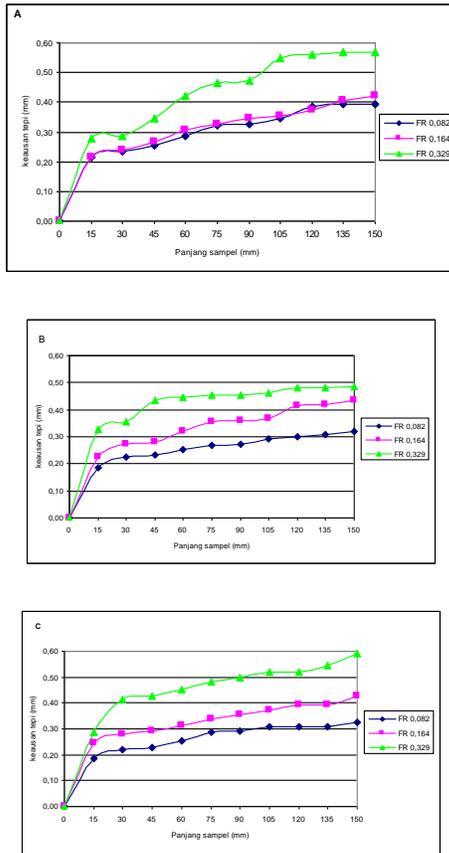
- a. keausan tepi (*flank wear*)
- b. keausan kawah (*crater wear*)

Selain proses abrasi, keausan yang terjadi juga disebabkan karena adanya gaya adhesi, gaya ini akan mengakibatkan adanya penumpukan lapisan material (serpihan geram) pada permukaan mata potong yang sering disebut BUE (*built up edge*). Mekanisme keausan ini disebabkan karena adanya pengaruh tekanan dan temperatur tinggi sehingga menyebabkan permukaan bidang geram menjadi kasar dan membuat keausan kawah semakin besar.

Keausan serupa juga terlihat pada *cutting speed* 60-70 m/min dan *cutting speed* 70-80 m/min tetapi BUE lebih dominan terjadi pada *cutting speed* rendah. Pada *cutting speed* tinggi keausan yang terjadi disebabkan oleh proses abrasi, adhesi dan kimiawi. Proses keausan secara kimiawi pada pahat dipengaruhi oleh *Cutting speed* dan *feedrate* yang besar, keausan secara kimiawi ditandai, pada awal pemotongan

ujung pahat terlihat seperti terbakar dan menimbulkan bunyi yang keras pada mesin.

• **Pengaruh *Feedrate* terhadap laju keausan pahat (*wear rate*) ADI 250°C**



**Gambar 10** Grafik keausan pahat Vs panjang spesimen ADI pada *temperature austempered* 250 °C dengan variasi *feedrate*

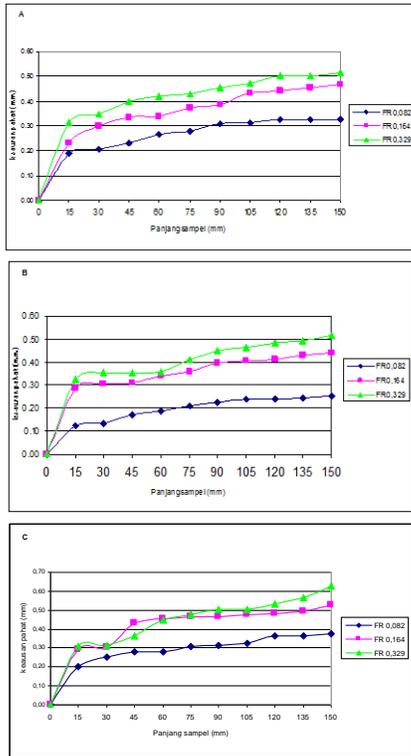
- A. *Cutting speed* (50-60)
- B. *Cutting speed* (60-70)
- C. *Cutting speed* (70-80)

Hasil pengujian menunjukkan pahat akan mengalami aus setelah digunakan memotong bahan ADI *austemper* 250 °C besarnya keausan pahat akan meningkat seiring dengan panjangnya (*cut of length*) bahan yang

terpotong. Seperti terlihat pada gambar 10, pahat *tiped ceramic* saat digunakan untuk memotong sepanjang 150 mm, setiap jarak 15 mm terlihat adanya peningkatan keausan. *Feedrate* nampak jelas memengaruhi tingkat keausan yang terjadi pada pahat, pada *feedrate* 0.082 mm/rev memberikan pengaruh yang paling rendah terhadap keausan yang terjadi, penambahan kecepatan pemakanan (*feedrate*) 0.164 dan 0.329 mm/rev menunjukkan peningkatan keausan yang lebih besar. Fenomena yang sama juga terjadi pada kecepatan potong (*cutting speed*) 50-60, 60-70 dan 70-80 m/min. Pahat *tipped ceramic* saat digunakan untuk memotong bahan ADI *austemper* 250 °C keausan pahat (*flank wear*) paling besar 0.59 mm terjadi pada kondisi pemesian *cutting speed* 70-80 m/min dan *feedrate* 0.329 mm/rev, dan keausan terendah terjadi pada *cutting speed* 60-70 m/min dan *feedrate* 0.082 mm/rev.

Seperti halnya ADI *austemper* 250 °C, pada ADI *austemper* 300 °C juga terjadi fenomena yang sama yaitu keausan pahat yang besar terjadi pada *feedrate* yang besar dan keausan menurun seiring dengan menurunnya *feedrate*. Keausan paling besar adalah 0.51 mm terjadi pada 0.0329 dan *cutting speed* 60-70 m/min sedangkan keausan pahat paling rendah 0.35 terjadi pada *feedrate* 0.082 mm/rev dan *cutting speed* 50-60 m/min.

• **Pengaruh *Feedrate* terhadap laju keausan pahat (*wear rate*) ADI 350°C**



**Gambar 11** Grafik keausan pahat Vs panjang spesimen ADI pada *temperature austempered* 350 °C dengan variasi *feedrate*

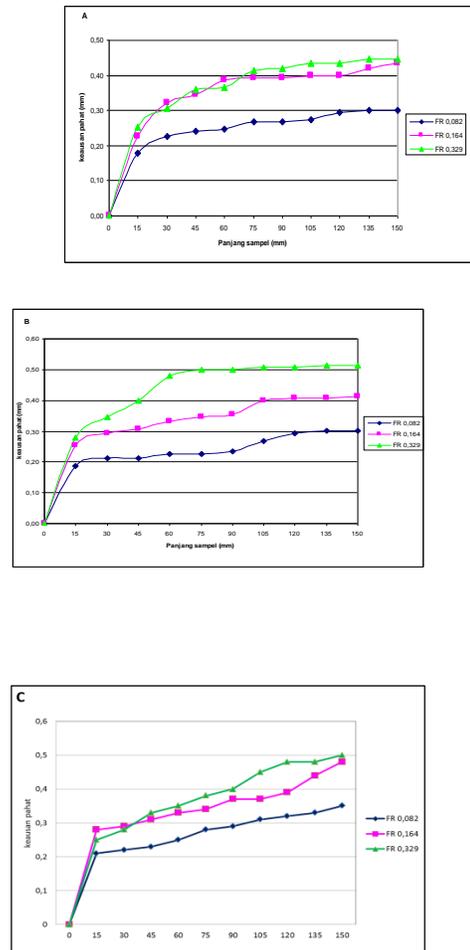
- A. *Cutting speed* (50-60)
- B. *Cutting speed* (60-70)
- C. *Cutting speed* (70-80)

Pada ADI austemper 350 oC keausan terbesar 0.63 mm terjadi pada feedrate 0.329 dan cutting speed 70-80 m/min, sedang keausan terkecil 0.25 mm terjadi pada feedrate 0.082 dan cutting speed 60-70 m/min.

• **Pengaruh *Feedrate* terhadap laju keausan pahat (*wear rate*) ADI 400°C**

Pada ADI *austemper* 400 oC keausan terbesar 0.5 mm terjadi pada feedrate 0.329

dan cutting speed 70-80 m/min, sedang keausan terkecil 0.3 mm mm terjadi pada *feedrate* 0.082 dengan *cutting speed* 50-60 dan 60-70 m/min



**Gambar 12** Grafik keausan pahat Vs panjang spesimen ADI pada *temperature austempered* 400 °C dengan variasi *feedrate*

- A. *Cutting speed* (50-60)
- B. *Cutting speed* (60-70)
- C. *Cutting speed* (70-80)

Melakukan proses pemesinan atas bahan ADI memang tidak mudah. Dengan begitu

banyaknya kegagalan di lapangan dalam mengerjakan bahan ADI maka tercipta mitos bahwa bahan ADI sukar dikerjakan dengan mesin perkakas (*not machinable*). Pemesinan bahan ADI juga lebih sukar dibandingkan dengan besi cor feritik dan perlitik. Namun apabila dikerjakan dengan tepat maka pemesinan bahan ADI dapat efektif dan efisien seperti pada proses pemesinan baja.

#### 4. Kesimpulan

- a. Hasil penelitian menunjukkan bahwa keausan pahat terkecil pada kondisi 0.25 mm terjadi pada feedrate 0.082 mm/rev dan cutting speed 60-70 m/min pada material ADI yang diaustemper 350 °C,
- b. keausan pahat yang terbesar 0.63 mm terjadi pada feedrate 0.329 mm/rev dan cutting speed 70-80 m/min terjadi pada material ADI yang diaustemper 350 °C.
- c. Untuk ADI *austemper* 400 °C keausan terbesar 0.5 mm terjadi pada feedrate 0.329 mm/rev dan cutting speed 70-80 m/min, sedang keausan terkecil 0.30 mm terjadi pada *feedrate* 0.082 mm/rev dengan *cutting speed* 50-60 dan 60-70 m/min.
- d. Pada ADI *austemper* 300 °C keausan paling besar adalah 0.51 mm terjadi pada 0.0329 mm/rev dan *cutting speed* 60-70 m/min sedangkan keausan pahat paling rendah 0.35mm terjadi pada *feedrate* 0.082 mm/rev dan *cutting speed* 50-60 m/min.
- e. Pada ADI *austemper* 250 °C keausan pahat (*flank wear*) paling besar 0.59 mm terjadi pada kondisi pemesinan *cutting speed* 70-80 m/min dan *feedrate* 0.329 mm/rev, dan keausan terendah terjadi pada *cutting speed* 60-70 m/min dan *feedrate* 0.082 mm/rev.

- f. Harga kekerasan terbesar 363.51 HBN terjadi pada material austemper 250 °C

#### 5. Daftar Pustaka

- ASM International, 1997, “*Metals Handbook of Machining*”, 9th ed., Vol. 16.
- Boothroyd, G., 1975, “*Fundamentals of Metal Machining and Machine Tools*” International Student Edition, McGraw-Hill, Tokyo, Japan.
- Cakir, M.C and Isik, Y. “*Investigating the machinability of austempered ductile irons in having different austempering temperatures and times*”, Materials and Desing., (2007)
- Childs, T., Maekawa, K., Obikawa, T., and Yamane, Y., 2000, “*Metal Machining Theory and Applications*”, John Wiley & Sons Inc. New York-Toronto.
- Eric, O., Jovanovic, M., Sidjanin, L. and rajnovic, D., 2002, “*Microstructure and Mechanical Properties of Cu-Ni-Mo Austempered Ductile Iron*”, Journal of Mining and Metallurgy 40 B (1) (2004) : 11-19
- Hayrynen, K.L., Brandenburg, K.R. and Keeough., 2002, “*Application of Austempered Cast Iron*”, American Foundry Society
- Perez, M.J., Cisneros, M. M., Valdes, E., Mancha, H., Calderon, H.A. and Campos, R.E, 2002, “*Experimental Study of the Thermal Stability of Austempered Ductile Iron*”, Journal of Material Engineering and Performance, Vol 11(5) : 519-526

Rochim, T., 1993, “*Teori dan Teknologi Proses Pemesinan*”, HEDSP, Jakarta

Stokes, B., Goa, N, Lee, K.K.and Reed, P.A.S, 2005, “*Effects of Carbides on Fatigue Characteristics of Austempered Ductile Irons*”, Metallurgical and Materials Transaction A Vol. 36A, 2005-977

Brandenberg, K., 2002, ***Machining Austempered Ductile Iron***, Manufacturing Engineering May 2002 Vol. 128 No. 5.

Boothroyd, G., 1975, ***Fundamentals of Metal Machining and Machine Tools***, McGaw-Hill Kogakusha Ltd., Tokyo, Japan.

Cakir, M.K., Bayram, A., Isik, Y., Salar, B., 2005, ***The effects of austempering temperature and time onto the machincability of austempered ductile iron***, Materials Science and Engineering A 407, Elsevier B.V., pp. 147-153.

Hayrynen, K.L., Brandenberg, K.R., Keough, J.R., 2002, ***Applications of Austempered Cast Iron***, AFS Transactions 02-084, American Foundry Society.