

# PERBANDINGAN PERUBAHAN SIFAT MEKANIK ALUMINIUM PADUAN AKIBAT PERUBAHAN NILAI $H_0/D_0$ BILLET PADA PROSES TEMPA DINGIN

P.Y.M. Wibowo Ndaruhadi

Jurusan Teknik Mesin – UNJANI, Cimahi  
Telp./Fax. (022)6610219, E-mail: wibonda@yahoo.co.id

## ABSTRAK

*Banyak produk yang dibuat menggunakan material aluminium paduan yang diproses melalui proses tempa (forging) yang merupakan salah satu jenis proses dalam pembentukan logam. Keunggulan dari proses tempa adalah mampu menghasilkan produk yang memiliki kekuatan tinggi. Kekuatan suatu produk merupakan kombinasi antara geometri produk dengan sifat mekanik materialnya. Sifat mekanik dari material dapat berubah akibat aliran logam (metal flow) saat terjadi deformasi pada proses pembentukan logam. Dengan melakukan percobaan proses penempaan dingin menggunakan single action hydrolic press machine pada material aluminium paduan serta bervariasi tiga nilai rasio antara panjang terhadap diameter ( $H_0/D_0$ ) pada billet, diketahui bahwa terjadi perubahan sifat mekanik yang berbeda berdasarkan besar dan pola distribusi nilai kekerasannya pada setiap nilai rasio  $H_0/D_0$ . Perubahan nilai kekerasan rata-rata terbesar dari semua bagian produk terjadi pada  $H_0/D_0 = 2$  yaitu sebesar 22,99 HV atau 43%, sedangkan perubahan terkecil dihasilkan pada  $H_0/D_0 = 1$  yaitu sebesar 15,01 HV atau 28%, dan  $H_0/D_0 = 1$  menghasilkan pola distribusi perubahan yang relative merata pada semua bagian produk.*

**Kata Kunci:** tempa, rasio dimensi billet, aluminium paduan.

## PENDAHULUAN

Material aluminium termasuk salah satu jenis logam ringan yang mempunyai kekuatan dan sifat mampu bentuk serta ketahanan korosi dan konduktivitas yang cukup baik, sehingga penggunaannya sudah sangat luas (Tata. S, 1999). Banyak produk yang terbuat dari material aluminium maupun aluminium paduan dibuat dengan tingkat keamanan dan kekuatan yang tinggi. Salah satu jenis proses dalam proses pembentukan logam yang dapat serta masih banyak digunakan oleh industri dalam menghasilkan

produk adalah proses tempa. Kalpakjian *et.al.* menyatakan bahwa keunggulan dari proses tempa adalah mampu menghasilkan produk dengan kekuatan serta ketangguhan yang tinggi, sehingga produk tersebut dapat digunakan untuk persyaratan tegangan yang tinggi dan pemakaian yang kritis (Kalpakjian, 2001).

Prinsip kerja dari proses tempa adalah dengan memberikan gaya tekan untuk mendeformasikan material benda kerja sehingga menjadi produk yang diinginkan. Pada proses tempa biasanya melewati beberapa tahapan

proses pembentukan, yang lazim disebut sebagai proses tahapan prabentuk (*perform*). Umumnya untuk menghasilkan produk dengan geometri yang kompleks digunakan metode tempa cetakan tertutup (*closed die forging*). Pada penelitiannya, A.G Mamalis; *et.al.* menyatakan bahwa desain prabentuk merupakan salah satu aspek yang penting dalam proses *closed die forging*, yang diantaranya adalah penentuan jumlah prabentuk, desain bentuk, serta dimensi dari masing-masing prabentuk (A.G Mamalis, 1996). Fungsi cetakan (*die*) adalah menahan serta mengarahkan aliran material (*metal flow*) dari benda kerja saat proses deformasi dalam membentuk profil sesuai dengan profil rongga cetakan atau produk yang diinginkan. Merrygold; *et.al.* dalam penelitiannya menyatakan bahwa agar berhasil mendeformasikan material benda kerja sehingga terbentuk profil yang diharapkan, volume material benda kerja harus terdistribusi merata mengikuti bagian rongga cetakan (Merrygold, 1998).

Distribusi volume dan aliran material yang terjadi berdampak juga pada stuktur butir yang terjadi akibat deformasi. Hal tersebut dipengaruhi oleh geometri material dari awal (*billet*) sampai dengan produk yang diinginkan. George Dieter menyampaikan bahwa secara teoritis maksimum rasio  $H_0/D_0$  *billet* adalah 2, hal tersebut dikarenakan bila melebihi rasio maksimum tersebut efek yang dapat timbul pada saat penekanan adalah dapat terjadinya *buckling* pada *billet* yang dapat menimbulkan cacat ataupun kegagalan produk (Dieter George, 1985). Aliran material / logam dan struktur butir yang terjadi pada produk hasil proses tempa dingin berkaitan erat dengan sifat-sifat mekanik dari produk tersebut. Hal tersebut karena adanya mekanisme pengerasan regang (*strain hardening*). Nilai dan distribusi kekerasan dapat digunakan sebagai indikator untuk mengetahui sifat mekanik material / produk.

Berdasarkan uraian tersebut diatas, untuk mengetahui perubahan sifat mekanik produk tempa dingin akibat perubahan nilai  $H_0/D_0$  *billet* pada material aluminium, maka dalam studi ini akan dilakukan percobaan proses penempaan dingin dengan memvariasikan tiga nilai rasio  $H_0/D_0$

*D\_0 billet*. Proses penempaan dilakukan menggunakan *single action hydrolic press machine* serta melewati satu tahapan prabentuk.

## TINJAUAN PUSTAKA

Proses tempa merupakan salah satu jenis proses dalam teknik pembentukan logam. Pada proses tersebut dalam mendeformasikan material benda kerja menggunakan suatu gaya tekan (Mardjono. S, 1985). Secara umum keunggulan proses tersebut adalah mampu menghasilkan produk yang memiliki kekuatan dan ketangguhan yang tinggi, sehingga produk yang dihasilkan dengan proses ini dapat digunakan untuk persyaratan tegangan yang tinggi dan pemakaian kritis (Kalpakjian, 2001). Dibandingkan dengan proses pembentukan yang lainnya seperti pemesinan dan pengecoran, proses tempa dan produk yang dihasilkannya memiliki keunggulan seperti pada tabel 1.

Biasanya proses tempa dilakukan dengan melewati beberapa tahapan proses. Ditinjau dari cara pembentukan yang dilakukan pada proses tempa dibedakan menjadi dua kondisi, yaitu proses penempaan dengan cetakan tertutup (*closed-die forging*) dan proses penempaan dengan cetakan terbuka (*open-die forging*). Dalam proses penempaan tertutup ditinjau dari prosesnya dibedakan lagi, yaitu penempaan cetakan tertutup dengan *flash* atau *forging with flash* dan penempaan cetakan tertutup tanpa *flash* atau *flashless forging* (T. Altan, 1995).

Kegagalan ataupun cacat yang dapat terjadi pada proses tempa dikategorikan ke dalam dua kelompok, yaitu kegagalan / cacat produk dan kegagalan cetakan, baik akibat adanya keterkaitan langsung maupun tidak langsung. Kurangnya volume material benda kerja dan kesalahan dalam penyetelan (*bad setting*) merupakan contoh dari kegagalan dengan keterkaitan tidak langsung. Untuk kegagalan yang mempunyai hubungan yang erat antara material benda kerja dan cetakan digolongkan menjadi 6 group, yaitu lipatan (*fold*); cacat geser (*shear defects*); retak (*cracks*); cacat permukaan (*surface defects*); cacat bentuk (*form defects*) serta cacat struktur (*structural defects*) (Arentoft, 1997).

**Tabel 1. Keunggulan dari Proses Tempa dan Produk yang Dihasilkan (Byrer.TG,1985)**

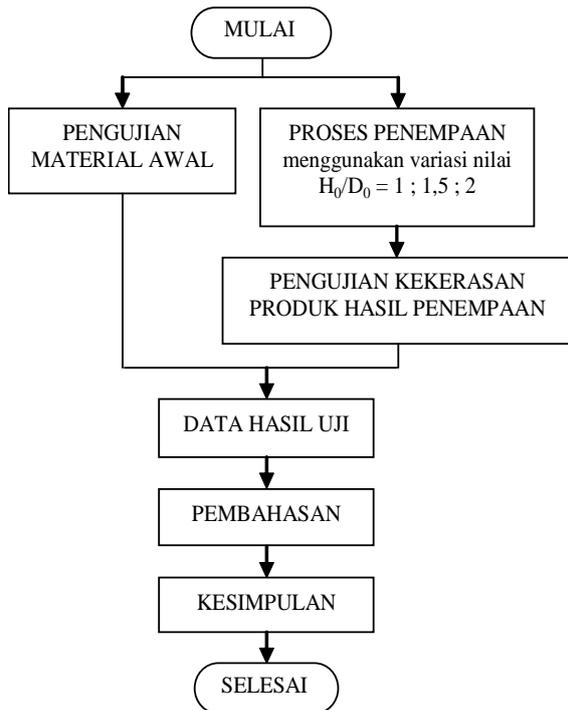
| Sifat  | Keunggulan   |
|--|--|
| Kekuatan terarah   | Struktur hasil penempaan menghasilkan aliran butir ( <i>grain flow</i> ) yang terarah, sehingga berkaitan erat terhadap sifat-sifat kekuatan, keuletan, dan ketahanan terhadap dampak, serta kelelahan yang dihasilkan.  |
| Struktur utuh  | Tidak ada gas yang terperangkap ( <i>internal gas pockets</i> ) atau kehampaan ( <i>voids</i> ) yang dapat menyebabkan kerusakan/ cacat yang tidak diharapkan dibawah kondisi adanya tegangan atau dampak. Disamping itu penyebaran unsur paduan atau unsur bukan logam lebih seragam, sehingga akibat / reaksi yang tidak terprediksi pada saat perlakuan panas dan resiko komponen yang membahayakan pada saat pembebanan dapat dihindarkan. |
| Kekuatan dampak yang baik  | Produk hasil tempa memiliki kekuatan dan ketangguhan terhadap beban, ditambah dengan sifatnya yang ulet sehingga mengakibatkan tahan terhadap kerusakan yang diakibatkan adanya beban kejut/ dampak.   |
| Keseragaman  | Keseragaman terhadap komposisi dan struktur menghasilkan proses reproduksi yang konsisten dalam sifat, proses perlakuan panas, dan pemesinan.  |
| Semua logam ( <i>ferrous</i> dan <i>nonferrous</i> ) dapat ditempa.  |  |
| Batasan fisik produk tempa yang dibuat sangat luas.  |  |
| Produk tempa akan sama atau lebih unggul dibandingkan produk yang dihasilkan dengan metode lain, bila dikombinasikan dengan proses yang lain (seperti perlakuan panas, pengelasan, pemesinan, perakitan, dan perlakuan permukaan). |  |
| Leluasa terhadap segala bentuk permintaan, laju kegagalan yang rendah, biaya pemesinan yang ekonomis, dan hemat dalam penggunaan material.   |  |

Dalam memahami proses tempa cetakan tertutup, perlu mengetahui aspek-aspek yang mempengaruhi secara keseluruhan dari sistem

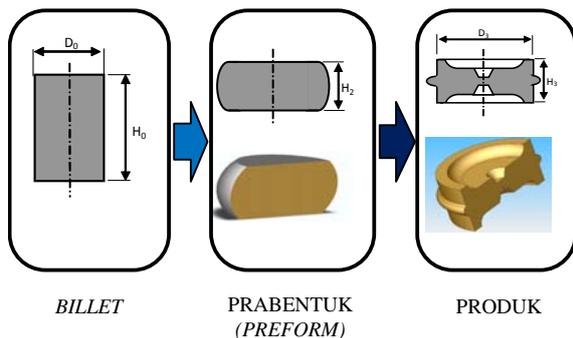
didalam proses tersebut. Aspek-aspek tersebut meliputi benda kerja (*billet characterization*), cetakan dan mesin press yang digunakan (*tooling and equipment*), kondisi kontak antara cetakan dan benda kerja (*conditions at tool / material interface*), deformasi yang terjadi (*mechanics of deformation*), produk (*product geometry and properties*). Beberapa faktor penting dalam aspek *billet characterization* diantaranya adalah komposisi material, tegangan alir, serta mampu bentuk (mampu tempa) dari material benda kerja tersebut, serta geometri awal *billet* (T. Altan, 1995). Jenis material dan komposisi unsurnya mempunyai hubungan dengan sifat mampu tempa, tegangan alir serta kemampuan material dalam mengisi cetakan. Mampu tempa (*forgeability*) secara umum didefinisikan sebagai kemampuan material mengalami deformasi melalui proses penempaan tanpa mengalami perpatahan (Kalpakjian, 2001). Sedangkan faktor dari geometri awal *billet*, salah satunya adalah perbandingan antara tinggi dan diameter awal *billet* ( $H_0/D_0$ ). Secara teoritis maksimum rasio  $H_0/D_0$  adalah 2, bila melebihi rasio maksimum tersebut efek yang dapat timbul adalah pada saat penekanan dapat terjadi *buckling* pada *billet*, sehingga akan menimbulkan cacat atau kegagalan produk (Dieter George, 1985).

## METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi yang digunakan dalam studi ini adalah *experimental* dengan tahapan dan langkah-langkah seperti terlihat pada gambar 1. Pengujian material awal yang dilakukan meliputi pengujian tarik dan kekerasan serta spektrometri. Hal itu dilakukan untuk mengetahui sifat mekanik awal dan komposisi unsur kimia pada spesimen (*billet*) yang digunakan dalam percobaan (*experiment*) penempaan tersebut. Tahapan pembentukan dan perubahan geometri material (*billet*) yang dilakukan pada percobaan penempaan seperti terlihat pada gambar 2 dan tabel 2.



Gambar 1. Tahapan Penelitian

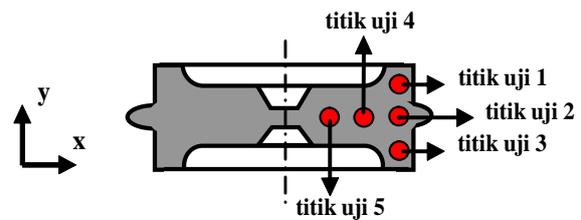


Gambar 2. Tahapan Pembentukan

Tabel 2. Dimensi Tahapan Pembentukan

| Tahapan Pembentukan  | Dimensi Billet (mm) |              | Volume (mm <sup>3</sup> ) |
|----------------------|---------------------|--------------|---------------------------|
|                      | Panjang             | Diameter     |                           |
| BILLET               | $H_0$               | $D_0$        | Volume tetap / konstan    |
| $H_0/D_0 = 1$        | 16                  | 16           |                           |
| $H_0/D_0 = 1,5$      | 21                  | 14           |                           |
| $H_0/D_0 = 2$        | 25                  | 12,5         |                           |
| PRABENTUK (PREFORM)  | $H_1$               | $D_1$        |                           |
|                      | 12                  | menyesuaikan |                           |
| PRODUK (tanpa flash) | $H_2$               | $D_2$        |                           |
|                      | 10                  | 20           |                           |

Indikator yang digunakan dalam mengetahui perubahan sifat mekanik adalah nilai kekerasannya melalui pengujian kekerasan dengan menggunakan *Micro Hardness Vickers* cara *Knoop*. Posisi titik-titik uji telah ditentukan dengan merepresentasikan distribusi kekerasan yang terjadi berdasarkan sumbu-x dan sumbu-y seperti terlihat pada gambar 3.



Gambar 3. Posisi Titik Uji Kekerasan

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari pengamatan spektrometri yang dilakukan dengan menggunakan mesin *Emission Spectrometer* menunjukkan bahwa unsur-unsur yang dominan pada aluminium paduan ini adalah  $Mg = 1,035\%$  dan  $Si = 0,815\%$  sehingga aluminium ini dikategorikan sebagai paduan Al-Mg-Si yang termasuk paduan aluminium tempa dan mempunyai sifat kemampuan pemesinan yang cukup baik, dengan kekuatan tinggi serta dapat mempengaruhi penurunan perubahan pembentukan dingin. Sedangkan hasil pengujian tarik dari material awal yang dilakukan dengan menggunakan mesin *Aflared Amster/Swiss* berkapasitas 20 ton didapatkan nilai rata-rata  $F = 2156,67 \text{ kgf}$ ;  $\sigma_u = 16,99 \text{ kgf/mm}^2$ ,  $\sigma_y = 14,47 \text{ kgf/mm}^2$ , dan  $\alpha = 25\%$ . Sementara itu hasil dari pengujian kekerasan pada semua produk percobaan penempaan dengan variasi rasio  $H_0/D_0$  billet yang telah ditetapkan diatas, didapatkan data nilai kekerasan rata-rata seperti terlihat tabel 3.

Berdasarkan data pengujian kekerasan produk hasil penempaan dingin tersebut serta dengan membandingkannya terhadap nilai kekerasan rata-rata dari material awal produk, terlihat adanya peningkatan nilai kekerasan pada material. Hal tersebut menunjukkan adanya



Gambar 4. Spesimen pengujian

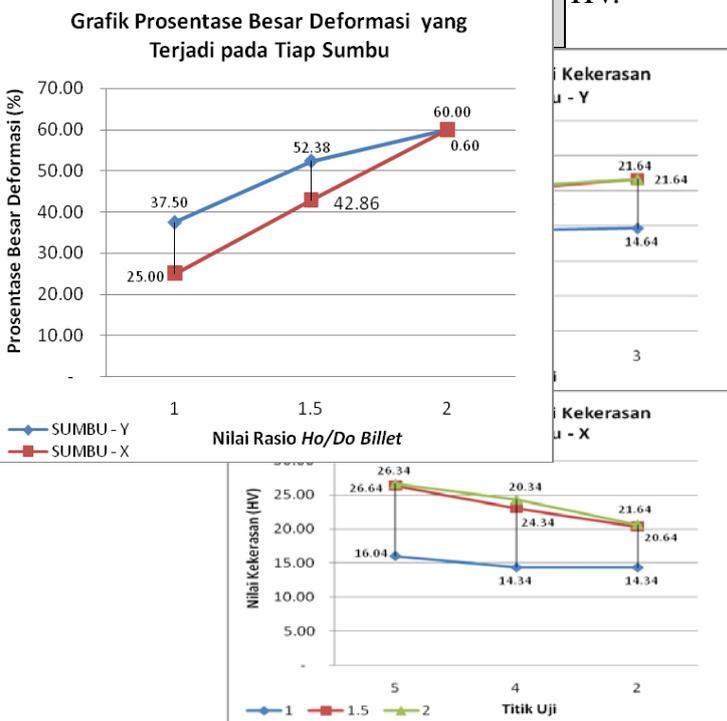
Tabel 3. Hasil Pengujian Kekerasan

perubahan sifat mekanik material yang digunakan. Besar perubahan nilai kekerasan material yang terjadi berdasarkan nilai rasio  $H_0/D_0$  billet dan prosentase besar deformasi yang terjadi pada tiap sumbu seperti terlihat di grafik pada gambar 5 dan gambar 6. Nilai kekerasan rata-rata material awal didapatkan berdasarkan hasil ekivalensi nilai tegangan tarik bahan hasil uji tarik yang telah dilakukan yaitu sebesar 52,06 HV.

Gambar 6. Grafik Prosentase Besar Deformasi yang Terjadi pada Tiap Sumbu

Pola atau *trend* data perubahan nilai kekerasan yang terjadi pada tiap nilai rasio  $H_0/D_0$  billet, baik pada sumbu-y maupun pada sumbu-x mempunyai kemiripan. Pada sumbu-y, pola data menunjukkan bahwa pada bagian tengah yaitu pada titik uji 2 mengalami peningkatan nilai kekerasan terkecil. Peningkatan nilai kekerasan terbesar terjadi pada bagian atas (titik uji 1), yaitu sebesar 16,34 HV ( $H_0/D_0=1$ ); 25,34 HV ( $H_0/D_0=1,5$ ) dan 24,04 ( $H_0/D_0=2$ ). Sedangkan pada sumbu-x, pola data menunjukkan bahwa semakin mengarah keluar (menjauh dari sumbu benda kerja) peningkatan nilai kekerasan yang terjadi semakin mengecil. Peningkatan nilai kekerasan terbesar terjadi pada bagian tengah produk (titik uji 5), yaitu sebesar 16,04 HV ( $H_0/D_0=1$ ); 26,34 HV ( $H_0/D_0=1,5$ ) dan 26,64 ( $H_0/D_0=2$ ).

Nilai rasio  $H_0/D_0$  billet = 1 pada sumbu-y, peningkatan nilai kekerasan rata-rata yang terjadi sebesar 15,11 HV atau sebesar 28%. Sedangkan pada nilai rasio  $H_0/D_0$  billet = 1,5 mengalami peningkatan nilai kekerasan rata-rata sebesar 22,44 HV atau sebesar 42%, dan pada nilai rasio  $H_0/D_0$  billet = 2 peningkatan nilai kekerasan rata-rata yang terjadi sebesar 22,11 HV atau sebesar 41%. Sementara pada sumbu-x, peningkatan nilai kekerasan rata-rata yang terjadi pada nilai rasio  $H_0/D_0$  billet = 1; 1,5 dan 2 adalah sebesar 14,91 HV (28%); 23,24 (43%)



Gambar 5. Grafik peningkatan nilai kekerasan rata-rata yang terjadi

dan 23,87 HV (44%). Bila ditinjau dari besar deformasi yang terjadi pada setiap nilai rasio  $H_f/D_0$  billet, pada  $H_f/D_0 = 1$  sebesar 37,50% pada sumbu-y dan 25,0% pada sumbu-x. Sedangkan pada  $H_f/D_0 = 1,5$  deformasi yang terjadi pada sumbu-y dan sumbu-x sebesar 52,38% dan 42,86%, serta pada  $H_f/D_0 = 2$  masing-masing sebesar 60%.

Kecenderungan semakin mengecilnya peningkatan nilai kekerasan yang mengarah keluar (menjauh dari sumbu benda kerja / produk) pada sumbu-x dan penurunan kekerasan pada bagian tengah pada sumbu-y, menunjukkan bahwa terjadi penurunan (berkurangnya) tegangan pada daerah tersebut bila dibandingkan terhadap bagian lainnya saat material terdeformasi. Titik uji 2 pada semua nilai rasio  $H_f/D_0$  billet mengalami peningkatan nilai kekerasan yang terkecil. Hal itu disebabkan karena garis pemisah (*parting line*) cetakan dan “pembuangan” kelebihan volume material (*flash*) terletak pada bagian tersebut.

Perubahan (peningkatan) nilai kekerasan yang terjadi pada proses pembentukan dingin, pada dasarnya karena terjadinya *strain hardening*. Namun begitu, dalam studi ini besar deformasi yang terjadi menunjukkan tidak serta merta berpengaruh pada besar peningkatan kekerasan yang terjadi pada produk. Hal tersebut khususnya ditunjukkan pada nilai rasio  $H_f/D_0$  billet = 1,5 dan 2. Bila berdasarkan peningkatan nilai kekerasan rata-rata yang terjadi pada semua bagian produk, prosentase peningkatan terbesar terjadi pada  $H_f/D_0$  billet = 2, namun peningkatan nilai kekerasan rata-rata terbesar berdasarkan sumbu-y terjadi pada  $H_f/D_0$  billet = 1,5. Selain itu, walaupun besar deformasi rata-rata berdasarkan sumbu-y dari semua nilai rasio  $H_f/D_0$  lebih besar 7,34% dibandingkan yang terjadi pada sumbu-x, namun besar peningkatan nilai kekerasan rata-rata yang terjadi pada sumbu-x lebih besar 0,39 HV atau sebesar 1% dari pada yang terjadi pada sumbu-y. Sementara pada  $H_f/D_0$  billet = 1 yang merupakan billet dengan deformasi terkecil

mengalami peningkatan nilai kekerasan yang paling rendah namun memiliki distribusi peningkatan yang lebih merata pada setiap bagiannya.

Kualitas dimensional cetakan juga dapat berpengaruh terhadap perubahan nilai kekerasan yang terjadi. Perbedaan peningkatan nilai kekerasan berdasarkan arah sumbu-y pada bagian atas dan bawah (titik uji 1 dan 3) dimungkinkan karena pengaruh kualitas dimensional cetakan yang kurang simetris. Hal tersebut disadari sebagai kelemahan dalam pembuatan cetakan yang dilakukan pada studi ini dengan menggunakan mesin konvensional.

## SIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil pada studi ini adalah sebagai berikut :

- Terjadi perubahan, yaitu peningkatan nilai kekerasan (sifat mekanik) dari setiap perubahan nilai rasio  $H_f/D_0$  billet.
- Besar perubahan dan distribusi nilai kekerasan yang berbeda-beda pada setiap nilai rasio  $H_f/D_0$  billet, namun kesemuanya memiliki kecenderungan pola / trend distribusi perubahan yang relative sama.
- Peningkatan nilai rasio  $H_f/D_0$  billet ataupun besar deformasi yang terjadi tidak serta merta berpengaruh pada besar peningkatan nilai kekerasan rata-rata (sifat mekanik) yang terjadi pada produk.
- Peningkatan nilai kekerasan rata-rata yang terjadi pada sumbu-x lebih besar dari pada yang terjadi pada sumbu-y, walaupun besar deformasi rata-rata yang terjadi pada sumbu-y lebih besar dari pada sumbu-x.
- Peningkatan nilai kekerasan rata-rata terbesar terjadi pada nilai rasio  $H_f/D_0$  billet = 2, yaitu sebesar 22,99 HV atau sebesar 43%. Pada nilai rasio  $H_f/D_0$  billet = 1 mengalami peningkatan nilai kekerasan rata-rata terkecil yaitu sebesar 15,01 HV atau sebesar 28%, namun memiliki distribusi kenaikan yang relative lebih merata.

## DAFTAR PUSTAKA

- A.G. Mamalis., D.E. Manolakos., A.K. Baldoukas., (1996), *Finite Element Simulation of Axisymmetric Preform in Precision Forging at Elevated Temperatures*, Journal Materials Processing Technology , 57, 103-111.
- Arentoft. M., Wanhein., (1997), *The Basic for a Design Support System to Prevent Defect in Forging* , Journal of Materials Processing Technology., 69.
- Byrer, TG., (1985), *Forging Handbook*, Forging Industry Association., Cleveland, Ohio.
- Dieter, George. E., “*Evaluation of Workability, Mechanical Testing*” , Vol. 8., 9<sup>th</sup> Edition, Metals Handbook, American Society for Metal, 1985.
- E. Merrygold., F.H. Osman., (1998), *Forging of Complex Geometries with Differential Heating*, Journal of Materials Processing Technology , 80-81, 179-183.
- Kalpakjian Serope., Steven. R.S., (2001), *Manufacturing Engineering and Technology* , Fourth Edition, Prentice-Hall. Inc.
- Mardjono Siswosuwarno., (1985), *Teknik Pembentukan Logam, Jilid I*, Jurusan Mesin FTI – ITB.
- T. Altan., S.OH, H. Gegel, (1995), *Metal Forming; Fundamentals and Applications*, Sixth printing., American Society for Metals.
- Teruie Takemasu., Victor Vazquez., Brett Painter., Taylan Altan, (1996), *Investigation of Metal Flow and Preform Optimization in Flashless Forging of a Connecting Rod* , Journal of Materials Processing Technology., 59, 95-105.