

# ANALISA GAYA PENEKANAN PADA PROSES ECAP BATANG KUNINGAN CuZn 70/30

## PRESSURE FORCE ANALYSIS OF BRASS ROD CuZn 70/30 ON ECAP PROCESS

Suryadi<sup>a</sup>, Amin Suhadi<sup>b</sup>, Dedi Priadi<sup>c</sup>, E. S. Siradj<sup>d</sup>

<sup>a,c,d</sup> Departemen Teknik Metalurgi dan Material, Universitas Indonesia Depok, 16424

<sup>a</sup> Pusat teknologi Industri Proses, BPPT, Puspiptek Serpong, 15314

<sup>b</sup> Balai Besar Teknologi Kekuatan Struktur B2TKS, BPPT, Puspiptek Serpong, 15314

email : suryadi\_chun@yahoo.co.id,

axs662@yahoo.co.uk ,

dedi@eng.ui.ac.id,

eddysiradj@yahoo.com

### Abstrak

Telah dilakukan percobaan *severe plastic deformation* (SPD) dengan metode *equal channel angular pressing* (ECAP) pada batang kuningan CuZn 70/30 diameter 10 mm sampai 5 pas. Gaya penekanan meningkat secara signifikan pada awal langkah penekanan dan mencapai nilai maksimum lalu melandai. Pada pas pertama gaya penekanan mencapai 115 kN, pas kedua 130 kN, pas ketiga mencapai 150 kN dan pada pas keempat 165 kN. Dari pengukuran luas area di bawah kurva gaya penekanan diperoleh energi total pembentukan pada proses ECAP batang kuningan persatuan panjang adalah 95 Joule/mm pada pas pertama, sampai 130 Joule/mm pada pas ketiga, dan turun 125 Joule/mm pada pas keempat. Secara kumulatif total energi persatuan panjang meningkat secara linier sesuai dengan peningkatan jumlah pas, dimana pada pas keempat mencapai 597 MPa. Peningkatan gaya penekanan dan energi penekanan sebanding dengan terjadinya peningkatan kekerasan pada batang kuningan dan terjadinya penghalusan butir.

**Kata kunci:** ECAP, gaya penekanan, energi pembentukan, kekerasan, penghalusan butir, kuningan.

### Abstract

*Experiments of severe plastic deformation (SPD) have been carried out by the method of equal channel angular pressing (ECAP) on brass rods CuZn 70/30 diameter 10 mm to 5 pas. Pressing force significantly is increased emphasis on early steps and reaches a maximum value and then ramp. At the first pas the pressing force reached 115 kN, the second pass 130 kN, the third pass 150 kN and fourth pass is 165. From measurements of the area under the curve of pressing force, the total forming energy per unit length generated to form the brass rod in ECAP is 95 Joule / mm at the first pass, 130 Joules / mm at third pass and down to 125 Joule/mm at fourth pass. Cumulatively, the total forming energy per unit length increases linearly according to the increase in number of ECAP pass, where the fourth pass reach 597 Joule/mm. Increased emphasis pressing load and forming energy is proportional to the increase in hardness of the brass rod and the grain refinement.*

**Keywords:** ECAP, pressing load, forming energy, hardness, grain refinement, Brass

Diterima (received) : 19 Februari 2014, Direvisi (reviewed) : 25 Februari 2014,

Disetujui (accepted) : 12 Maret 2014

## PENDAHULUAN

Berbagai usaha dilakukan untuk memperbaiki struktur mikro material untuk menghasilkan material dengan spesifikasi teknis tertentu seperti kekuatan tarik, kekerasan, dan lain-lain. Salah satu usaha adalah bagaimana menghasilkan material logam dengan struktur yang sangat halus mencapai ukuran subgrain, bahkan mencapai ukuran nano<sup>[1-2]</sup>. Ada dua cara yang dilakukan untuk menghasilkan struktur yang halus tersebut, yaitu dengan teknik metalurgi serbuk atau pendekatan secara “*bottom-up*” dan pembentukan dalam keadaan padat atau pendekatan dengan cara “*top-down*”<sup>[2]</sup>. Dengan cara pertama dilakukan proses kompaksi pada serbuk logam yang ukurannya sangat halus pada temperatur tertentu. Namun teknik ini belum cocok untuk diaplikasikan untuk komponen atau struktur yang ukurannya relatif besar<sup>2)</sup>. Sedangkan teknik kedua yang adalah dengan mendeformasi logam pada dengan struktur yang masih kasar<sup>2)</sup>. Untuk mendapatkan struktur yang sangat halus pada logam pada, dalam dua dasawarsa belakangan ini berkembang proses pembentukan logam yang disebut sebagai severe plastic deformation (SPD). Proses SPD adalah proses pembentukan logam dengan regangan yang sangat besar dengan sedikit perubahan dimensi dimana regangan yang diberikan lebih besar dari  $2.0^{2-3}$ . Beberapa proses *severe plastic deformation* (SPD) seperti *accumulative roll bounding* (ARB)<sup>2-5)</sup> untuk lembaran logam, pengerolan pada suhu krio (*cryorolling*)<sup>6)</sup>, *high pressure torsion* (HPT)<sup>2)</sup> dan *Equal Channel Angular Pressing* (ECAP)<sup>7-14)</sup> telah dapat menghasilkan butir dengan ukuran di bawah  $1 \mu\text{m}$ .

ECAP merupakan salah satu proses yang cukup potensial untuk diterapkan pada ukuran produk yang lebih besar untuk menghasilkan struktur logam yang sangat halus. Pada proses ECAP batang logam dengan bentuk penampang bulat atau persegi ditekan menggunakan mekanisme ekstrusi melewati rongga cetakan yang berbelok dengan bentuk penampang yang sama (bulat atau persegi dengan) dengan sudut belokan tertentu. Biasanya proses dilakukan secara berulang sampai beberapa pas.

Beberapa kajian tentang proses ECAP lebih banyak membahas tentang mekanisme

penghalusan butir dan perubahan sifat mekanik dari material. Sedikit yang membahas tentang analisa beban yang diperlukan untuk proses ECAP. Hal ini perlu dilakukan untuk melihat bagaimana proses ECAP dapat diaplikasikan secara komersial pada skala produksi yang lebih besar. Y.G. Jin et. al<sup>[10]</sup> melakukan pengamatan beban pada proses ECAP logam aluminium dengan berbagai faktor gesekan.

Penelitian dilakukan untuk menganalisa gaya penekanan pada proses ECAP batang kuningan Cu-Zn 70/30 dan untuk mengetahui pengaruh perubahan sifat mekanik terhadap beban ECAP.

## BAHAN DAN METODE

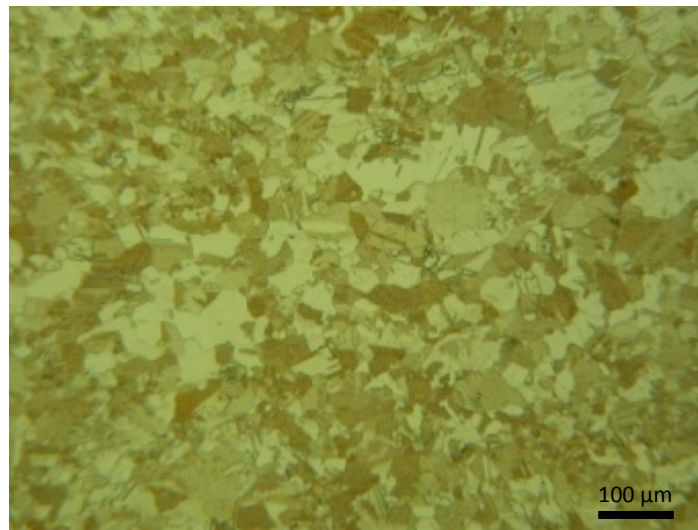
Bahan yang digunakan pada penelitian adalah pelat kuningan CuZn 70/30 (*alpha brass*) yang diproduksi pada skala industri kejasamam BPPT dengan PT. X melalui tahapan hot rolling dan cold rolling dengan komposisi kimia seperti terlihat pada Tabel 1. Pelat kuningan dari tebal 13 mm dipotong memanjang dengan lebar 12 mm, kemudian di masing-masing menjadi batang dengan diameter 10 mm dengan panjang 70 mm.

Untuk mendapatkan struktur yang homogen batang kuningan dianil pada suhu  $600 \text{ }^\circ\text{C}$  selama 90 menit menggunakan dapur litrik sehingga diperoleh ukuran butir rata-rata rata-rata  $34 \mu\text{m}$  dan kekerasan 78 HV. Struktur mikro kuningan setelah dianil  $600 \text{ }^\circ\text{C}$  selama 90 menit dapat dilihat pada Gambar 1.

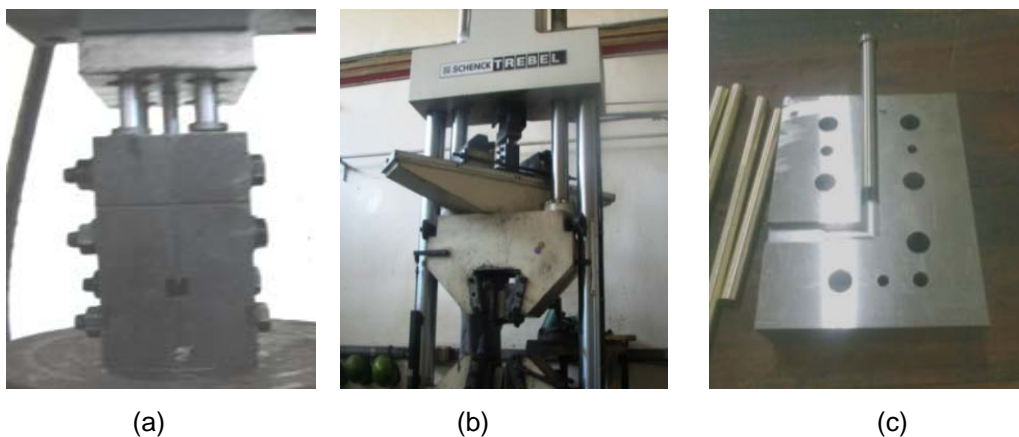
Tabel 1.  
Komposisi Kimia Kuningan<sup>7)</sup>

Unsur	Cu	Zn	Pb	Fe
% Berat	70,37	29,48	0,023	0,072
Unsur	Ni	Al	Si	Mn
% Berat	0,03	0,024	0,005	0,009

Proses ECAP dilakukan menggunakan dies dengan sudut belokan ( $\phi$ )  $90^\circ$  dan sudut pojok  $20^\circ$  yang memberikan regangan efektif setiap pas  $1.05^{[2-4]}$ , yang terbuat dari bahan baja perkakas SKD 11 dengan kekerasan permukaan 58 HRc seperti terlihat pada Gambar 2.



Gambar 1.  
Foto struktur mikro kuningan CuZn 70/30 setelah dianil 600° C selama 90 menit.

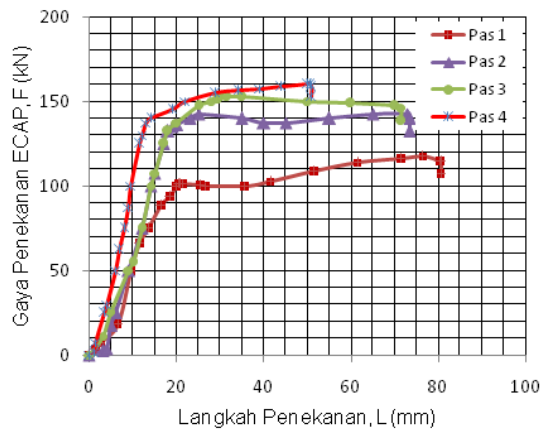


Gambar 2.  
Dies ECAP dengan sudut belokan 90° (a) sebelum terpasang, dan (b) setelah terpasang pada (c) mesin mesin uji tarik/tekan kapasitas 1.000 kN.

Untuk penekanan pada proses ECAP digunakan mesin uji tarik universal Schenk Trebel kapasitas 1000 kN yang dilengkapi dengan alat pencatat beban saat penekanan. seperti terlihat pada Gambar 2 dengan kecepatan penekanan diatur 4 mm/menit. Proses ECAP dilakukan sampai 4 pas dengan menggunakan rute  $B_c^{2,7-14}$ . Untuk masing-masing jumlah pas dilakukan pengamatan struktur makro dengan mikroskop optik dan pengujian kekerasan dengan mikro hardness Vickers, dimana sebelum dilakukan pengamat dilakukan proses metalografi untuk masing-masing sampel.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada Gambar 3 dapat dilihat profil gaya selama penekanan pada proses ECAP untuk pas 1, 2, 3, dan 4. Pada setiap pas terlihat peningkatan gaya yang cukup besar pada langkah awal penekanan sampai besar tertentu lalu mencapai maksimum. Pada pas 1 terlihat gaya penekanan naik lagi setelah mencapai maksimum, sama dengan pas 4. Sedangkan pada pas 2 dan 3 terjadi penurunan.



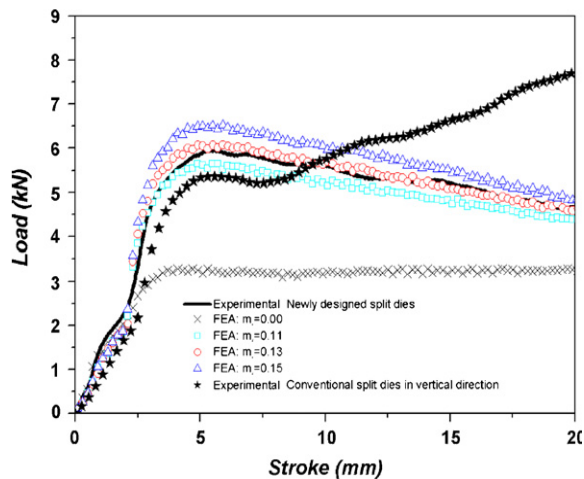
Gambar 3.

Profil gaya penekanan pada proses ECAP kuningan CuZn 70/30 pada pas 1, 2, 3 dan 4, dengan sudut belokan 90°.

Kenaikan gaya penekanan pada tahap awal langkah penekanan adalah gaya untuk memberikan deformasi plastis berupa

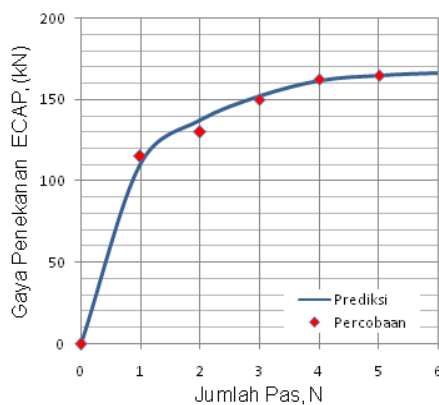
regangan tekan dan diikuti dengan regangan geser pada belokan, sehingga mencapai maksimum. Sedangkan kenaikan gaya penekanan setelah mencapai maksimum tersebut adalah disebabkan oleh munculnya sirip (flash) pada parting line dari dies akibat deformasi baut dies.

Y.G. Jin et.al. pada<sup>10)</sup> melakukan simulasi finite element untuk memprediksi beban ECAP aluminium AA 1050 yang menggunakan dies terpotong dengan faktor gesekan yang berbeda, seperti terlihat pada Gambar 4. Hasil prediksi menunjukkan terjadinya penurunan beban setelah terjadi kenaikan maksimum di awal penekanan. Namun pada saat dilakukan secara eksperimen terjadi peningkatan beban setelah kenaikan di awal. Hal ini disebabkan oleh timbulnya sirip akibat pembesaran celah belahan dies.



Gambar 4.

Prediksi Beban Dan Langkah Penekanan Dengan Kondisi Gesekan yang Berbeda Pada Pas Pertama ECAP aluminium AA 1050<sup>11)</sup>



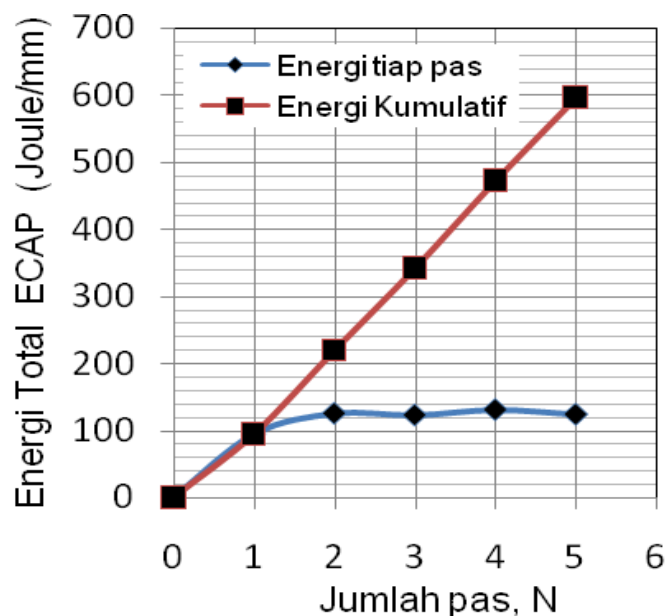
Gambar 5.

Hubungan antara gaya penekanan (F) dan jumlah pas (N) pada proses ECAP kuningan CuZn 70/30

Besarnya gaya penekanan dipengaruhi oleh diameter batang, gesekan antara batang dan dies selama penekanan, pelebaran penampang akibat yang diikuti terbentuknya sirip akibat peregangan baut dies. Pada Gambar 4 juga dapat dilihat bahwa pada ECAP pas ke 2 dan ke 3 relatif terjadi sedikit peningkatan beban diakhir penekanan dan malah cenderung turun. Sedangkan pada pas ke 4 terjadi peningkatan beban yang cukup besar yang disebabkan terbentuknya sirip dengan ukuran yang lebih besar.

Pada Gambar 5 dapat dilihat besar gaya

penekanan maksimum pada setiap jumlah pas ECAP sampai 5 pas. Terlihat bahwa peningkatan gaya penekanan pada proses ECAP logam kuningan makin melandai dengan peningkatan jumlah pas. Besarnya gaya penekanan tersebut dipengaruhi oleh besar energi deformasi material yang ditentukan oleh besar tegangan luluh material<sup>[1]</sup> dan dipengaruhi oleh gesekan antara dies dan benda kerja selama diproses ECAP yang ditentukan oleh kehalusan permukaan dies dan benda kerja, sirip pada *parting line*.



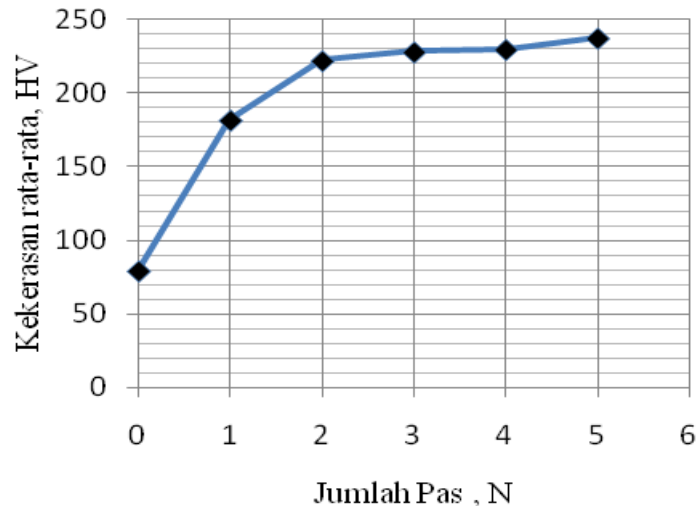
Gambar 6.

Energi pembentukan pada proses ECAP batang kuningan CuZn 70/30 diameter 10 mm.

Besarnya total energi pembentukan pada setiap pas ECAP merupakan gabungan antara energi deformasi dan energi gesekan. Luas daerah di bawah kurva gaya penekanan pada setiap pas ECAP merupakan total energi pembentukan untuk setiap panjang sampel benda kerja. Dengan melakukan pengukuran luas daerah di bawah kurva gaya penekanan pada proses ECAP diperoleh besar energi penekanan persatuan panjang pada proses ECAP batang kuningan untuk setiap pas dan kumulatif setiap pas seperti terlihat pada Gambar 6. Untuk pas pertama energi persatuan panjang sampel sekitar 95 Joule/mm, pada pas kedua 125 Joule/mm, dan naik sampai 130 Joule/mm pada pas keempat. Sedangkan secara kumulatif untuk setiap pas energi persatuan panjang

meningkat secara linier.

Pada Gambar 4[10] dapat dilihat kurva gaya penekanan pada proses ECAP aluminium AA1050 yang diprediksi dengan *finite element* dan secara *eksperiment*. Gaya yang diprediksi secara *finite element* merupakan gaya penekanan tanpa gesekan. Sedangkan secara eksperimen gaya penekanan merupakan gaya total dengan pengaruh gesekan, yang besarnya jauh lebih besar dari gaya penekanan tanpa gesekan. Dari Gambar 4 tersebut energi pembentukan pada proses ECAP aluminium AA1050 sekitar 60% dari energi total. Sedangkan A. Mishra et. Al<sup>11)</sup> menyatakan 90% energi pembentukan dikonversi menjadi panas, yang merupakan energi aktivasi dari material saat pembentukan.

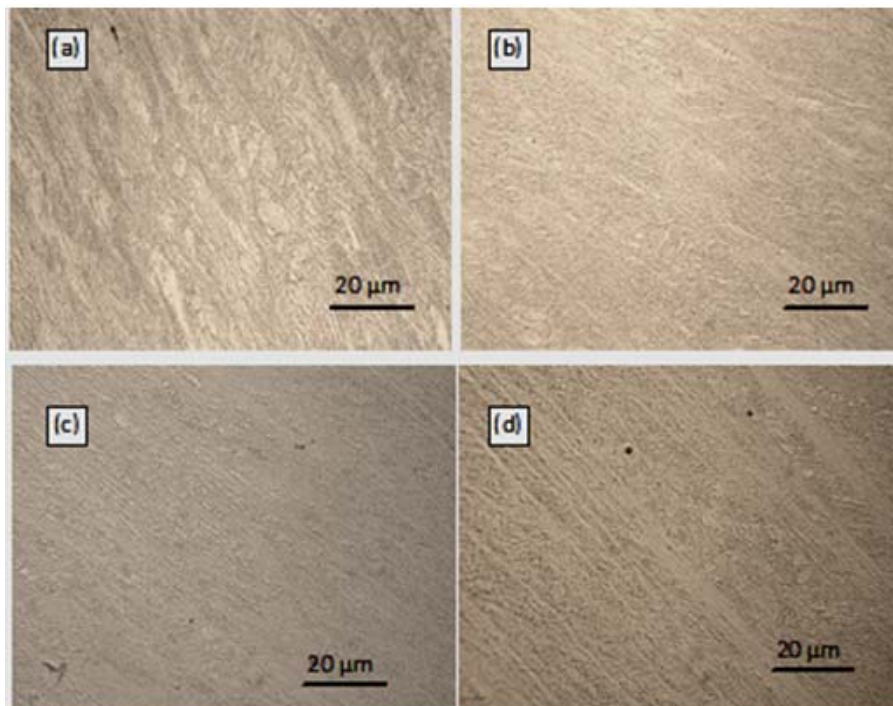


Gambar 7.  
Kekerasan Rata-Rata Batang Kuningan yang Diproses ECAP dengan Sudut Belokan 90° dengan Jumlah Pas 1 Sampai 5.

Pada Gambar 7 dapat dilihat kekerasan kuningan yang diproses ECAP dari 1 sampai 5 pas. Terlihat peningkatan kekerasan yang cukup signifikan dari sekitar 78 HV sebelum ECAP menjadi sekitar 180 HV setelah 1 pas, naik menjadi sekitar 260 HV setelah 4 pas. Setelah pas ke-2 terlihat peningkatan kekerasan makin melandai. Hal ini sesuai dengan percobaan ARB yang dilakukan Pasabeni et. al.[3] dan percobaan criyorolling yang dilakukan Subramanya<sup>6)</sup> terhadap

logam kuningan CuZn 70/30 dimana kekerasan meningkat signifikan pada pas pertama dan makin melandai pada pas berikutnya<sup>3,7)</sup>

Peningkatan kekerasan batang kuningan yang diproses ECAP terlihat memiliki kecenderungan yang sama dengan peningkatan gaya penekanan pada proses ECAP dimana peningkatan gaya penekanan juga makin melandai setelah pas ke-2.



Gambar 8.  
Foto Struktur Mikro Batang Kuningan CuZn 70/30 yang diproses ECAP (a) 1 pas, (b) 2 pas, (c) 3 pas, dan (d) 4 pas.

Pada Gambar 8 dapat dilihat perubahan struktur mikro kuningan setelah diproses ECAP dari 1 sampai 4 pas. Pada gambar tersebut dapat dilihat terjadinya penghalusan ukuran butir pada setiap peningkatan jumlah pas. Penghalusan ukuran butir diindikasikan dengan peningkatan nilai kekerasan, yang berarti juga meningkatkan kekuatan material tersebut<sup>[1-3,6,7]</sup>. Pada percobaan ECAP yang telah dilaporkan Suryadi et. al. pada<sup>[7]</sup> diketahui terjadi penghalusan butir dari 34  $\mu\text{m}$  sebelum ECAP menjadi 7,8  $\mu\text{m}$  setelah pas pertama dan menjadi 1,8  $\mu\text{m}$  setelah pas ketiga.

## SIMPULAN

Gaya penekanan pada proses ECAP batang kuningan CuZn 70/30 diameter 10 mm, naik dari 115 kN pada pas pertama, menjadi 130 kN pada pas kedua, dan mencapai 162 kN pada pas keempat. Besarnya gaya penekanan dipengaruhi oleh energi pembentukan dan energi untuk melawan gesekan. Besar energi total pembentukan untuk setiap pas adalah jumlah energi kumulatif pada setiap pas. Besar energi pembentukan secara kumulatif meningkat secara linier sesuai dengan peningkatan jumlah pas. Pada pas pertama energi persatuan panjang adalah 96 Joule/mm dan setelah 4 pas 597 Joule/mm. Sedangkan untuk setiap pasnya berkisar antara 95 Joule/mm sampai 130 joule/mm.

Peningkatan gaya penekanan sebanding dengan peningkatan kekerasan batangan kuningan setelah diproses ECAP dengan berbagai jumlah pas. Kekerasan meningkat dari 78 HV sebelum ECAP dan menjadi 183 HV setelah pas pertama dan mencapai 235 setelah pas keempat. Peningkatan gaya penekanan juga dipengaruhi oleh terjadinya penghalusan butir pada setiap pas ECAP.

Dengan mengetahui besar gaya penekanan dan energi pembentukan pada proses ECAP dapat digunakan dalam menentukan kapasitas mesin press untuk proses ECAP dengan berbagai ukuran sampel.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada B2TKS BPPT, dan Balai MEPPPO BPPT atas bantuan penggunaan fasilitas dan peralatan untuk kelancaran penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

1. William D. Callister, Jr., *Fundamental of Material science and Engineering*, John Willey and Son, 2 nd ed.,2005.
2. A. Azushima, R. Kopp, A. Korhonen, D.Y. Yang, F. Micari, G.D. Lahoti, *Severe plastic deformation (SPD) processes for metals*, CIRP Annals - Manufacturing Technology 57 (2008) 716
3. Pasebani Somayeh, Toroghinejad Mohammad Reza , *Nano-Grained 70/30 Brass Strip Produced By Accumulative Roll-Bonding (ARB) Process*. Materials science & engineering. A. Structural materials: properties, microstructure and processing, vol.527 n.3 pp:491-497 (2010)
4. Somayeh Pasebani, Mohammad Reza, Toroghinejad, Majid Hosseini, Jerzy Szpunarc, *Textural evolution of nano-grained 70/30 brass produced by accumulative roll-bonding* – Materials Science and Engineering A 527 (2010) 2050–2056 (Received 14 July 2009)
5. N. Tsuji, Y. Saito, H. Utsunomiya and S. Tanigawa, *Ultra-Fine Grained Bulk Steel Produced By Accumulative Roll-Bonding (ARB) Process*, Scripta Materialia, Vol. 40, No. 7, pp. 795–800, 1999 (Received December 22, 1998) (Accepted January 7, 1999)
6. V. Subramanya Sarma, K. Sivaprasad, D. Sturm, M. Heilmaier, *Microstructure and mechanical properties of ultra fine grained Cu–Zn and Cu–Al alloys produced by cryorolling and annealing*, Materials Science and Engineering A 489 (2008) 253–258
7. Suryadi, R.A.M.Napitupulu, E. S. Siradj, Dedi Priadi, *Analisa Penghalusan Butir Kuningan Alfa Yang Mengalami Proses ECAP*, Majalah Pengkajian Industri Vol. 7 No.1 (2013)

8. Reihanian M., Ebrahimi R., Tsuji N., Moshksar M.M., *Analysis Of The Mechanical Properties And Deformation Behavior Of Nanostructured Commercially Pure Al Processed By Equal Channel Angular Pressing (ECAP)*, Materials Science and Engineering A 473 (2008) 189–194.
9. Figueiredo R. B., Pinheiro I. P., Aguilar M. T. P., Modenesi P., J., Cetlin P. R., *The Finite Element Analysis Of Equal Channel Angular Pressing (ECAP) Considering The Strain Path Dependence Of The Work Hardening Of Metals*, Journal of Materials Processing Technology 180 (2006) 30–36
13. J. Dutkiewicz , F. Masdeu, P. Malczewski , A. Kukula, *Microstructure and properties of  $\alpha + \beta$  brass after ECAP processing*, International Scientific Journal Archives of Material Science and Engineering Vol 39 Issue 2 October 2009 P 80-83, World Academy of Materials and Manufacturing Engineering
10. Y.G. Jin, I. H. Son, Y.T. Im, *Three-dimension finite element analysis of multi-pass equal channel angular extrusion of aluminum AA1050 with split dies*, Material Science and Engineering A 503 (2009) 152-155.
11. A. Mishra, M. Marti, M.N. Thadhani, B.K. Kad, E.A. Kenik, M.A. Meyers, *High-strain-rate response of ultrafine grained copper*, Acta Materialia xxx (2008).
12. P.L. Suna, E.K. Cerreta, J.F. Bingert, G.T. Gray III, M.F. Hundley, *Enhanced tensile ductility through boundary structure engineering in ultrafine-grained aluminum*, Materials Science and Engineering A 464 (2007) 343–350
14. Cheng Xu, Zenji Horita, Minoru Furukawa, and Terence G. Langdon, *Using Equal-Channel Angular Pressing for the Production of Superplastic Aluminum and Magnesium Alloys*, Journal of Materials Engineering and Performance, Volume 13(6) December 2004.