

# PENGUATAN TEMBAGA MURNI DENGAN TEKNIK EQUAL CHANNEL ANGULAR PRESSING

**Solihin, Efendi Mabruuri, I Nyoman Gede PA**

Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Pusat Penelitian Metalurgi

Kawasan Puspiptek Serpong, Tangerang Selatan

E-mail : solihin@lipi.go.id

## Intisari

Penguatan tembaga murni dengan metode Equal Angular Channel Pressing telah dilakukan terhadap tembaga murni. Hasil pengerjaan ECAP dengan jalur ekstrusi ECAP rute Bc, dimana benda kerja diputar 90° setiap pass, menghasilkan pembelahan grain menjadi sub-grain yang memiliki ukuran yang menurun drastis dengan sudut butir yang lebih kecil. Seiring dengan penurunan besar butir, kekerasan tembaga tersebut meningkat drastis.

*Kata kunci: Equal Angular Channel Pressing, Severe Plastic Deformation, Sub-Grain, Tembaga*

## Abstract

*The hardness of high purity copper has been increased through Equal Angular Channel Pressing method. The application of ECAP method with extrusion route Bc, in which the sample was rotated 90° for each pass, result in the generation of sub-grain within the grain. The size of new grain (sub-grain) is drastically smaller than initial grain and also has low angle. With the decreasing of grain size, the hardness drastically increases.*

*Keywords : Equal Angular Channel Pressing, Severe Plastic Deformation, Sub-Grain, Copper*

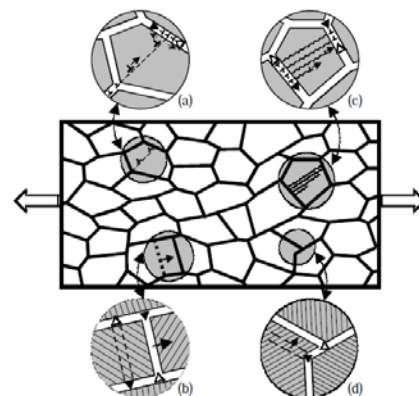
## PENDAHULUAN

Proses penguatan umumnya dilakukan dengan metode solid solution strengthening dimana terhadap struktur logam yang akan dikuatkan ditambahkan atom-atom lain, baik dalam posisi sebagai selipan (*interstition*) ataupun pengganti (*substitution*). Penambahan atom-atom lain ke dalam struktur level atom dari logam induknya tersebut dalam level struktur mikro akan terlihat sebagai fasa-fasa paduan yang akan meningkatkan kekuatan logam<sup>[1]</sup>.

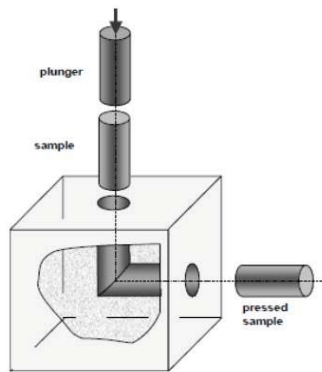
Alternatif lain penguatan logam adalah dengan merubah ukuran butiran dari logam bersangkutan. Proses-proses reduksi dalam skala makro seperti rolling pada slab akan berpengaruh secara mikro, yakni terjadi perubahan mikrostruktur berupa pengecilan ukuran butiran. Penghalusan butiran dengan memecah butiran menjadi ukuran yang lebih kecil umumnya

diklasifikasikan sebagai cara *top-down*<sup>[2-4]</sup>, sebagai lawan dari cara *bottom-up* dimana pembentukan butir dilakukan melalui pembentukan atom per atom<sup>[5-7]</sup>.

Model pembentukan sub-grain diperlihatkan dalam Gambar 1. Tegangan per satuan luas yang sangat tinggi akan menyebabkan disklinasi yang akhirnya akan menghasilkan sub-sub grain yang bisa dianggap sebagai butir baru<sup>[8]</sup>.



**Gambar 1.** Ilustrasi transformasi cacat struktur yang diakibatkan oleh transmisi energi yang besar



**Gambar 2.** Ilustrasi dies yang digunakan dalam teknik ECAP

Ukuran dan bentuk butiran dari material yang dikenai pengerjaan ECAP tergantung dari variabel-variabel proses seperti jenis rute pass, jumlah pass, sudut belokan, dan komposisi material. Semua variabel proses tersebut secara tidak langsung berpengaruh terhadap sifat mekanis material bersangkutan, sehingga dengan demikian sifat mekanis material dapat dikontrol dengan cara mengendalikan variabel-variabel tersebut. Terdapat 4 (empat) jenis pass yang umum digunakan, yakni:

1. Rute A : Benda kerja tidak diputar setiap pergantian pass ( $\theta = 0^\circ$ )
2. Rute B<sub>A</sub> : Benda kerja diputar  $90^\circ$  setiap pergantian pass kemudian dikembalikan lagi pada posisi semula ( $\theta, \theta' = 9^\circ$ )
3. Rute B<sub>C</sub> : Benda kerja diputar  $90^\circ$  setiap pergantian pass ( $\theta = 90^\circ$ )
4. Rute C : Benda kerja diputar  $180^\circ$  setiap pergantian pass ( $\theta = 180^\circ$ )

Jenis rute-rute ECAP tersebut berpengaruh dalam pembentukan geometri butiran. Rute A akan menghasilkan geometri butiran yang eliptik sehingga kekuatan material akan terkonsentrasi pada satu sisi, sedangkan rute Bc akan menghasilkan geometri butiran yang relatif bulat dan kekuatannya bersifat equiaxial.

Jumlah pass berpengaruh terhadap kemajuan pembentukan sub grain. Secara umum, semakin banyak jumlah pass akan semakin aktif pembentukan sub grain, tetapi karena karena pembentukan sub grain dipengaruhi juga dengan gaya tegangan dari butiran sekitarnya maka akan terdapat jumlah pass maximum

dimana di atas jumlah tersebut tidak terdapat lagi pembentukan sub grain.

Sudut belokan berpengaruh dalam distribusi tekanan untuk menghasilkan efek severe plastic deformation. Sudut belokan  $90^\circ$  akan memberikan distribusi tekanan yang lebih terkonsentrasi pada area belokan dibanding sudut belokan  $120^\circ$ .

Penelitian yang kami lakukan bertujuan untuk mempelajari perilaku proses ECAP terhadap material. Diharapkan akan dihasilkan material yang memiliki ukuran butir dalam skala ultra fine grain yang memiliki kekuatan lebih tinggi dari material awal.

## PERCOBAAN

Bahan untuk pembuatan dies adalah tool steel (ASSAB) yang telah mengalami proses heat treatment dan nitriding. Proses heat treatment dan nitriding dilakukan untuk memperbaiki ketahanan material dies terhadap gesekan selama ekstrusi benda kerja selama pengerjaan ECAP. Dies yang digunakan dalam penelitian ini diperlihatkan pada Gambar 3.

Sudut belokan dies ditentukan sebesar  $120^\circ$ . Penentuan sudut ini mempertimbangkan optimasi kualitatif antara kelancaran gerak dies dan distribusi tekanan untuk menghasilkan efek severe plastic deformation.

Benda kerja yang digunakan adalah tembaga murni. Hasil analisa dengan SEM-EDS-X telah menunjukkan tidak adanya unsur-unsur lain selain tembaga. Sebelum pengerjaan dengan ECAP, tembaga murni tersebut dipotong dan dimachining sampai memiliki bentuk dan ukuran yang sesuai dengan ukuran lubang jalur ekstrusi pada dies. Pengerjaan ECAP dilakukan dengan menggunakan peralatan press dengan kecepatan penekanan yang relatif lambat.

Karakterisasi benda kerja sebelum dan sesudah pengerjaan ECAP dilakukan melalui SEM-EDS-X untuk menentukan morfologi, struktur mikro serta komposisi kasar; dan uji kekerasan dalam skala vicker untuk menentukan nilai kekerasan. Dalam

hal ini, dengan mempertimbangkan keterbatasan tertentu, nilai kekerasan mewakili kekuatan.



**Gambar 3.** Dies yang digunakan dalam pengerjaan ECAP

### HASIL PERCOBAAN DAN DISKUSI

Struktur mikro dari sampel bisa memberikan gambaran kekuatan material bersangkutan. Pada percobaan akan diselidiki pengaruh jumlah pass terhadap struktur mikro. Pada Gambar 4 diperlihatkan struktur mikro dari benda kerja mulai dari as received sampai yang telah mengalami ekstruksi ECAP 8 pass.

Dari struktur mikro sample yang telah dikenai proses ECAP, terlihat perubahan struktur mikro dengan jelas. Ukuran butiran terlihat lebih kecil dan orientasi butiran pun berubah. Sesuai dengan penelusuran literatur terlihat bahwa selama proses ECAP terjadi pemecahan butiran menjadi sub-sub butir karena efek severe plastic deformation. Terbentuknya sub butir yang bisa dianggap butir baru ini terjadi melalui tahapan slip dislokasi menuju batas butir, perpindahan batas butir, *twin deformation*, *sliding* batas butir [8].

Pergerakan dan penumpukan dislokasi pada batas butir akan membentuk dinding dislokasi yang kemudian bergeser menyebabkan terbentuknya sub-grain. Sub-sub grain ini karena memiliki orientasi yang berbeda dengan butir induknya maka bisa dipandang sebagai butiran baru yang lebih kecil. Dan umumnya sub grain yang terbentuk memiliki sudut butir yang kecil [9].

Terbentuknya sub grain ini akan membuat permukaan spesifik total butiran menjadi besar sehingga mampu menahan beban lebih berat. Selain itu, dengan mengecilnya ukuran butiran, pergerakan dislokasi selanjutnya menjadi lebih tidak bebas sehingga memberi efek menambah kekuatan. Itulah sebabnya benda kerja yang dikenai proses ECAP ini akan naik kekuatannya, dan hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya menggunakan material lain [10].

Sifat mekanis benda kerja dapat diwakili oleh nilai kekerasan, walaupun memerlukan faktor konversi jika dikaitkan dengan kekuatan sesungguhnya. Dari pembahasan sebelumnya telah diuraikan bahwa perubahan struktur mikro berupa pengecilan ukuran butiran akibat pembentukan sub grain akan menaikkan kekuatan benda bersangkutan, sesuai dengan persamaan Hall-Petch:

$$\sigma_y = \sigma_0 + \frac{k_y}{\sqrt{d}}$$

dimana,

$\sigma_y$  = yield stress setelah penguatan

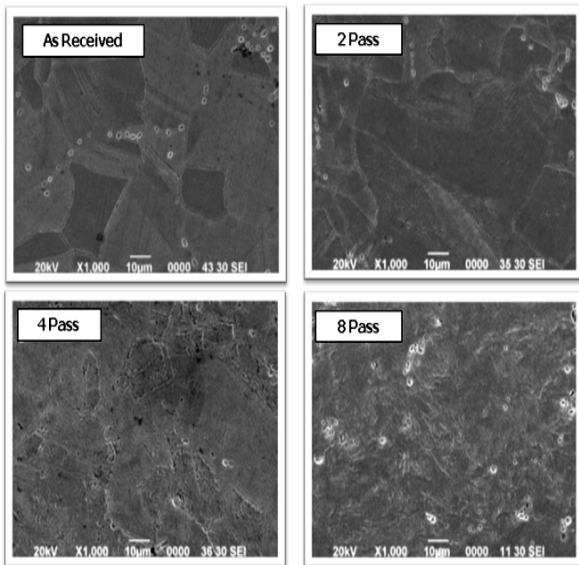
$\sigma_0$  = yield stress awal

$k_y$  = konstanta

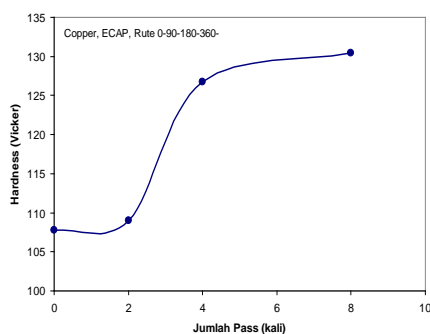
$d$  = ukuran butiran

Pengujian kekerasan terhadap benda kerja menunjukkan kesesuaian antara perubahan struktur mikro tersebut dengan penambahan kekuatan, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 5.

Sampai dengan proses ECAP 2 pass tidak terjadi perubahan nilai kekerasan yang signifikan. Hal ini karena baru dalam tahap awal pembelahan (masih dalam skala mikron), tetapi pada proses ECAP 4 dan 8 pass terlihat kenaikan kekerasan yang cukup signifikan. Hal ini sesuai dengan perubahan pada struktur mikro dimana jumlah dislokasi semakin banyak kemudian bermigrasi dan terkonsentrasi yang diakhiri dengan pembentukan sub-butir, yang secara otomatis berpengaruh dalam menaikkan kekuatan (dalam hal ini diwakili kekerasan) secara drastis.



**Gambar 4.** Struktur Mikro dari tembaga yang telah mengalami proses ECAP pada jumlah pass yang berbeda



**Gambar 5.** Pengaruh proses ECAP (jumlah pass) terhadap kekerasan benda kerja

## KESIMPULAN

Dari pembahasan di atas dapat disimpulkan:

1. Proses ECAP terbukti mampu mengadakan efek *severe plastic deformation* pada logam.
2. Rute B<sub>c</sub> dimana setiap pass benda kerja diputar 90° merupakan rute yang memberikan grain geometry yang equi-axial.
3. Sudur belokan 120° memiliki kemoderatan dalam hal kemudahan pergerakan benda kerja dan derajat efek *severe plastic deformation*.
4. Proses ECAP berpengaruh dalam memperkecil ukuran butiran melalui pembentukan sub-grain.

5. Berubahnya ukuran butiran menaikkan kekuatan benda kerja. Kenaikan kekuatan secara drastis terjadi pada proses ECAP pass 4 dan 8.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Callister Jr WD, Fundamentals of Materials Science and Engineering, Jon Wiley and Son, 2001.
- [2] Langdon, TG, Rev. Adv. Matter.Sci. 13 (2006) 15.
- [3] Zrinc J, Dobatkin SV, Mamuzic I, Metalurgija 47 (2008) 3.
- [4] V. M. Segal, V. I. Rezhnikov, A. E. Dobryshevsky, V. I.Kopylov, Russ. Metall. (Engl. Transl.) 1 (1981) 99.
- [5] Koch, CC, Rev. Adv. Matter.Sci. 5 (2003) 91.
- [6] Koch, CC, Rev. Adv. Matter.Sci. 42 (2007) 1403.
- [7] Koch, CC, Ovidko IA, Seal S, Structural Nanocrystalline Materials: Fundamentals and Applications, Cambridge U. Press, 2007.
- [8] Bobylev SV, Ovidko IA, Rev. Adv. Mater. Sci. 17 (2008) 76-79.
- [9] Rodak K, Pawlicki, Arch. Mat. Sci. Eng. 28 (2007) 7.
- [10] Molodova X, Berghammer R, Gottstein G, Hellmig RJ, Int. J. Mat. Res. 98 (2007) 3.

## RIWAYAT PENULIS

**Solihin**, alumni program studi Metalurgi jurusan Teknik Pertambangan Institut Teknologi Bandung dan program studi ecomaterial Graduate School of Environmental Studies Tohoku University. Pernah melakukan penelitian berdurasi pendek di Advanced Industrial Science and Technology (AIST), Miyagi, Jepang (2000-2001), dan juga pernah terlibat dalam kerjasama penelitian antara JFE Mineral Company dengan Institute of Multidisciplinary Research for Advanced Materials, Jepang (2004-2006). Saat ini bekerja sebagai peneliti pada Pusat Penelitian Metalurgi LIPI.