

The effect of ECAP T-path on commercial pure aluminum towards its mechanical properties and microstructure.

Ilhamdi*, Ferdial Rafli, Gunawarman
Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Andalas
Kampus Limau Manis Padang, 25163

*il_hamdi@ft.unand.ac.id

Abstract

Conventional ECAP procedure is a mechanism of object pressing in dies with two equal channels of L-path. This procedure had successfully increased strength and hardness of the object with remarkable magnitude. However this procedure have disadvantage in operational i.e. pressed object is difficult to take out from dies and need a break down and reset dies for multi pressing. Therefore, this paper will describe an innovation of ECAP procedure with simpler path.

ECAP procedure with T-path was conducted on commercial pure aluminum by route-A for 4 passes (pressing). Route-A means no rotation of ECAP object for multi pressing. ECAP-ed object was formed into tensile test specimen, hardness test and microstructure observation. As comparison, all procedure also conducted with ECAP with L-path.

The result showed that ECAP procedure with T-path is simpler in operating and easier to take out the object form dies. Limitation in technology still makes a minor effect on ECAP object where some flash was found at the end part of object, both T-path and L-path. The ECAP procedure provides a reasonable and remarkable increasing in strength and hardness. Aluminum strength increased up to 45% and 68% for T-path and L-path procedure, respectively. Hardness of aluminum also increased by multiplied factor of 2.64 and 2.28. Otherwise, grain refinement also occurred on the ECAP object, T-path give grain refinement from 35 μm into 9 μm of grain diameter while L-path done for 14 μm . These data indicate that ECAP with T-path also successfully increased mechanical properties of commercial pure aluminum and promised to be applied for industrial process of metal, especially commercial pure aluminum.

Keyword: ECAP, L-path, T-path, Strength, Hardness, grain diameter.

Pendahuluan

Metoda penguatan material tanpa pemaduan yang paling berkembang saat ini adalah *severe plastic deformation*, sebuah metode pemberian deformasi plastis yang tinggi dan merata pada bahan melalui pembebanan mekanik. Salah satu yang populer adalah proses ECAP (*Equal Channel Angular Pressing*), penekanan material dalam cetakan beralur dengan penampang konstan, dan telah terbukti menghasilkan peningkatan kekuatan yang signifikan tanpa mengubah penampang bahan [1-5].

Grup kami telah melakukan penelitian ECAP ini terhadap material aluminium dan tembaga murni komersial. Penekanan yang dilakukan menggunakan alur cetakan letter-L ini menghasilkan peningkatan kekuatan yang cukup besar namun relatif sulit untuk diaplikasikan di dunia industri [6-7]. Untuk mengatasi hal tersebut, penelitian ini mencoba alternatif alur cetakan yang lain yakni letter-T. Alur ini diperkirakan lebih mudah diaplikasikan, dan tetap bisa memberikan peningkatan kekuatan yang besar seperti aplikasi alur L.

Eksperimen

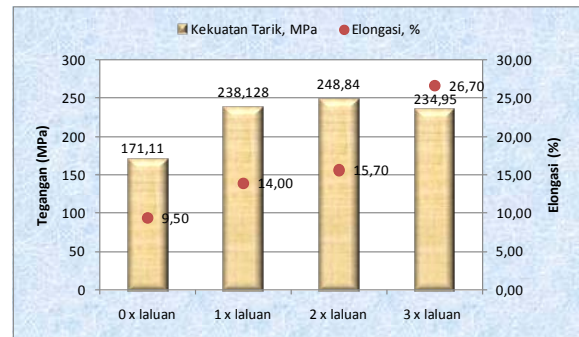
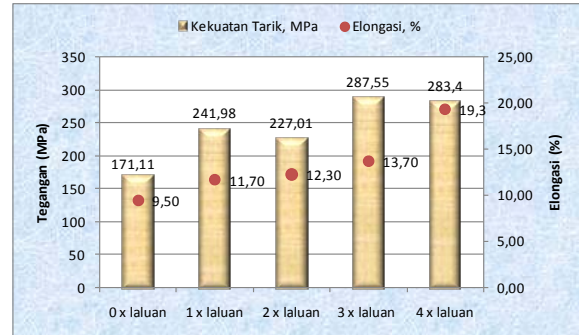
Penelitian dimulai dengan membuat cetakan ECAP dengan alur L dan T dari material *tool steel*. Cetakan memiliki kontur sudut antara alur masuk dan keluar (Φ) sebesar 90° dan sudut lengkungan fillet antara kedua alur (Ψ) sebesar 20° . Perbedaan antara cetakan alur L dan T terletak pada jalur aliran material spesimen; pada alur L material tekannya keluar melewati satu jalur, sedangkan pada alur T material tekannya keluar terbagi melewati dua jalur.

Spesimen ECAP adalah aluminium seri 1100 (Al 98,65%) dengan ukuran penampang 10x10 mm dan panjang 60 mm. Proses ECAP dilakukan dengan menekan spesimen pada alur masuk cetakan dan mengalirkannya pada alur keluar cetakan. Penekanan spesimen dilakukan pada mesin press hidrolik kapasitas 30 ton-gaya. Setelah penekanan selesai, spesimen dikeluarkan untuk penekanan selanjutnya sampai 4x laluan. Setiap selesai satu laluan, spesimen ECAP dikerjakan menjadi spesimen pengujian tarik, kekerasan dan metalografi. Pengujian tarik dilakukan dengan mesin uji tarik mini Com-ten Tensile Test, pengujian kekerasan dilakukan pada penampang lintang spesimen dengan Shimadzu rockwell hardness tester, sedangkan strukturmikro penampang lintang diamati dengan mikroskop optik digital Jenco. Zat etsa untuk metalografi aluminium adalah larutan *Poulton reagent* [12 ml HCl (conc) + 6 ml HNO₃ (conc) + 1 ml HF (48%) + 1 ml H₂O], dimana spesimen direndam selama 30 detik, kemudian dibilas air dan dikeringkan.

Hasil dan diskusi

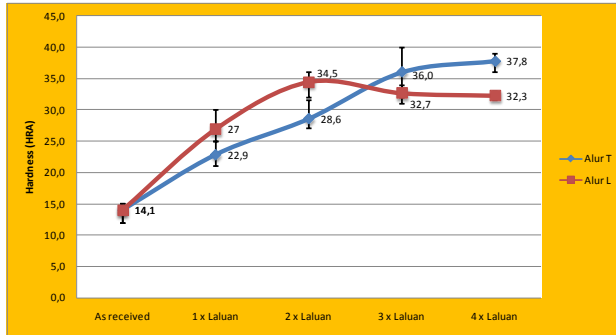
Hasil pengujian tarik menunjukkan bahwa baik ECAP letter-L maupun T memberikan peningkatan yang cukup besar pada spesimen aluminium seiring dengan peningkatan jumlah laluan seperti yang diperlihatkan oleh Gambar 1. Pada alur L,

kekuatan aluminium meningkat dari 171 MPa menjadi 288 MPa setelah 4 laluan. Sedangkan pada laluan T, kekuatan aluminium meningkat hingga 250 MPa dengan jumlah laluan yang sama.



Gambar 1. Kekuatan tarik aluminium pada ECAP alur; (atas) L, (bawah) T.

Sama halnya dengan kekuatan tarik, nilai keratan spesimen aluminium juga mengalami peningkatan setelah proses ECAP, baik untuk alur L maupun alur T seperti yang diperlihatkan oleh Gambar 2. Untuk laluan pertama dan kedua keratan aluminium yang diproses ECAP alur L lebih tinggi dibandingkan alur T, sedangkan pada laluan ketiga dan keempat keratan aluminium yang diproses ECAP alur T lebih tinggi dibanding alur L. Namun, secara umum perbedaan keratan antara aluminium yang diproses ECAP alur L dan alur T tidak terlalu besar, keduanya tetap menghasilkan peningkatan keratan yang cukup signifikan terhadap kondisi awal hingga 245% untuk alur L dan 268% untuk alur T.

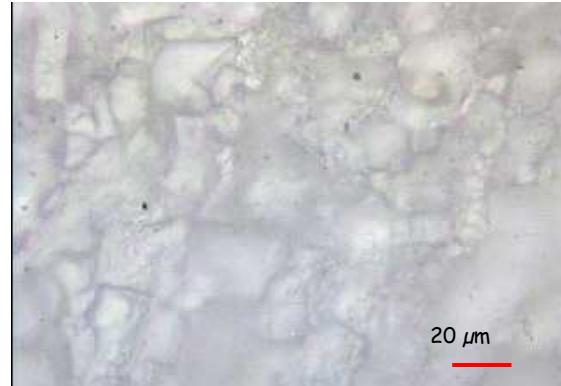


Gambar 3. Kekerasan aluminium karena ECAP alur L dan T

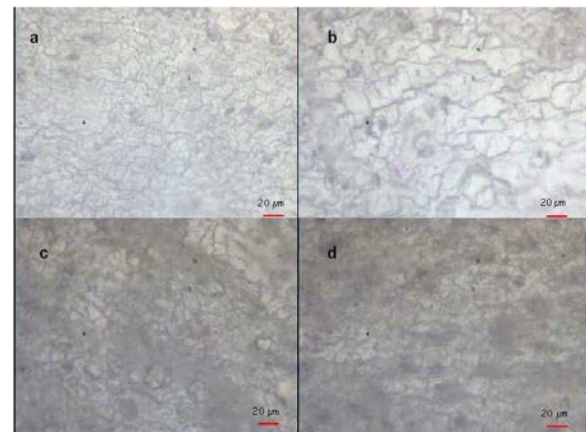
Peningkatan kekuatan aluminium setelah proses ECAP yang telah diperlihatkan diatas, disebabkan oleh akumulasi regangan plastis menyeluruh setelah penekanan berulang-ulang dalam cetakan. Regangan geser plastis dari pengerjaan dingin ini akan membuat efek penghalusan butir seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4. Proses ini menyebabkan dislokasi bergerak dan bertumpuk pada batas butir, sehingga terjadi peningkatan energi dalam pada dislokasi. Hal ini sesuai dengan teori *Hall-Petch* [41,42], yang menyatakan hubungan antara kekuatan dan diameter butir, di mana harga kekerasan juga sebanding dengan kekuatan material.

Gambar 3 memperlihatkan kondisi aluminium sebelum dan setelah ECAP alur-L, dengan metode *Point Counting* didapatkan diameter rata-rata butir sebesar $\sim 35 \mu\text{m}$ dengan tekstur butir *equiaxed*. Gambar 4 memperlihatkan bahwa pada laluan pertama terjadi fenomena penghalusan butir dan pengurangan diameter rata-rata butir menjadi $\sim 21 \mu\text{m}$ dengan tekstur butir berbentuk *elongated*. Pada laluan kedua, ukuran butir terlihat sedikit lebih besar dibanding laluan pertama, ini terjadi karena penyusunan ulang butir-butir material, diameter rata-rata butir yang didapat adalah sebesar $\sim 27 \mu\text{m}$ namun berstruktur *equiaxed*. Setelah tiga kali laluan, ukuran butir rata-rata menjadi $\sim 16 \mu\text{m}$, dengan tekstur mirip laluan ketiga. Dan

pada laluan keempat, penghalusan butir berlanjut, meski gambar kurang jelas namun ukuran butir rata-rata diperkirakan mencapai $\sim 14 \mu\text{m}$.



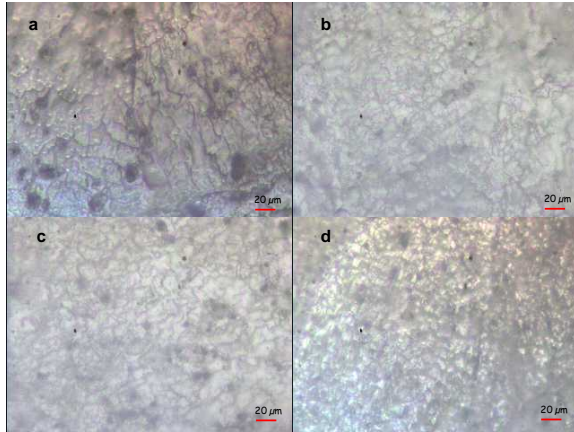
Gambar 3. Strukturmikro sebelum ECAP



Gambar 4. Struktur mikro ECAP alur L; (a) 1, (b) 2, (c) 3, (d) 4 laluan.

Seperti alur L, pada ECAP alur T juga terjadi penghalusan butir seperti yang diperlihatkan pada Gambar 5. Pada laluan pertama didapatkan diameter butir rata-rata $\sim 25 \mu\text{m}$ dengan struktur juga *equiaxed*. Laluan kedua menghasilkan butir yang sedikit lebih kecil, sebesar $\sim 22 \mu\text{m}$ dengan tekstur lebih cenderung *elongated*. Laluan ketiga menghasilkan ukuran butir yang lebih halus lagi, $\sim 18 \mu\text{m}$ dengan butir peralihan *elongated-equiaxed*. Terakhir, laluan keempat memberikan ukuran butir yang

paling halus, mencapai $\sim 9 \mu\text{m}$, struktur akhir equiaxed.



Gambar 5. Struktur mikro ECAP alur T; (a) 1, (b) 2, (c) 3, (d) 4 laluan.

Nilai rata-rata diameter butir antara alur-L dan T ditemukan tidak berbeda jauh, yang juga mengindikasikan bahwa prestasi antara dua alur ECAP ini juga relatif sama baiknya. Namun kemudahan proses memberikan nilai lebih pada ECAP alur-T.

Kesimpulan

Beberapa poin penting yang dapat diambil sebagai pelajaran dari penelitian ini adalah :

1. Peningkatan kekuatan setelah proses ECAP alur L dan alur T tidak terlalu jauh berbeda, meningkat hingga sekitar 280 MPa dari kondisi awal, 171 MPa.
2. Peningkatan kekerasan setelah proses ECAP alur L dan alur T juga tidak terlalu jauh berbeda.
3. Penghalusan butir nampak jelas terlihat hingga mencapai nilai sekitar $10 \mu\text{m}$.
4. Cetakan ECAP alur T layak digunakan proses ECAP aluminium murni komersial untuk mengatasi kekurangan penggunaan cetakan alur L.

Acknowledgement

Penelitian ini dibiayai oleh DIPA Fakultas Teknik Universitas Andalas tahun 2012.

Daftar Pustaka

- [1] Furukawa, M, Horita, Z, Nemoto, M, Langdon, T.G, *Review Processing of Metal by Equal Channel Angular Pressing*, Journal of materials science 36 (2001) 2835 – 284
- [2] Kim, H.S., Hong, S. I., Lee, H. R, Chun, B. S, *Process Modeling of Equal Channel Angular Pressing*, Nanomaterials by Severe Plastic Deformation, Edited by Zehedbauer, M, Valiev, R. Z. Wiley-Vch, Weinheim, 2004
- [3] Y. Iwahashi, Z. Horita, M. Nemoto, T.G. Langdon, Acta Mater. 46 (1998) 3317.
- [4] Y. Wang, M. Chen, F. Zhou and En Ma, High tensile ductility in a nanostructured metal, Nature, Vol 419, 31 October 2002, pp. 912-915.
- [5] L.J. Zheng, H.X. Li, M.F. Hashmi, C.Q. Chen, Y. Zhang, M.G. Zeng, Evolution of microstructure and strengthening of 7050 Al alloy by ECAP combined with heat-treatment, Journal of Materials Processing Technology 171 (2006) 100–107
- [6] Joni Syafutra Utama, Skripsi S-1, *Pengaruh Rute Equal Channel Angular Pressing (ECAP) terhadap Kekuatan, Kekerasan dan Strukturmikro Aluminium Komersil*, Jurusan Teknik Mesin FT-UA, Padang, Oktober 2005.
- [7] M. Fadli Nazar, Skripsi S-1, *Analisis Sifat Mekanik dan Struktur Mikro terhadap Perubahan Temperatur pada Tembaga Murni Komersil yang Diproses dengan ECAP Rute Bc*, Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Andalas, Padang, Oktober 2007.

