

H. Setiawan

Program Studi Teknik Mesin
Fakultas Teknik
Universitas Muria Kudus

Kampus Gondang Manis
PO.Box. 53 Kudus

Telp Telp. (0291) 438229
Fax. : (0291) 437198

email:
herasetiawan.umk@gmail.com

PENGARUH PROSES *EQUAL CHANNEL ANGULAR PRESSING* (ECAP) TERHADAP KEKERASAN ALUMINIUM 1050 PADA PENAMPANG MELINTANG DAN MEMANJANG SAMPEL

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh proses equal channel angular pressing (ECAP) terhadap kekerasan aluminium 1050 pada penampang melintang dan memanjang sampel.

Batang aluminium 1050 dengan ukuran 9,5mm x 9,5mm x 70mm dilewatkan pada cetakan ECAP dengan sudut alur cetakan 90° dan sudut busur 90°. Kekerasan bahan sebelum dan sesudah proses ECAP diperiksa dan dibandingkan.

Hasilnya menunjukkan bahwa setelah proses ECAP, kekerasan rata-rata aluminium 1050 pada penampang melintang sampel (bidang X) meningkat 38%, dan pada penampang memanjang sampel (bidang X) meningkat 39%, tidak menunjukkan perbedaan yang besar dengan selisih 1%, dan cukup merata.

Kata kunci : aluminium, Al 1050, ECAP, kekerasan, penampang melintang, penampang memanjang.

PENDAHULUAN

Aluminium merupakan logam yang lunak dengan tampilan menarik, ringan, tahan korosi, mempunyai daya hantar panas dan daya hantar listrik yang relatif tinggi, dan mudah dibentuk serta cadangannya dikerak bumi melimpah melebihi cadangan besi (Fe). Aluminium murni mempunyai kekuatan dan sifat mekanis yang rendah. Kekuatan aluminium murni tidak dapat ditingkatkan dengan proses perlakuan panas (*heat treatment, age hardening*) (TALAT Lecture 2202, 1994 ; Surdia dan Sato, 1995 ; Callister, 2000).

Salah satu usaha untuk meningkatkan kekuatan aluminium murni adalah dengan proses pengerjaan dingin (*cold working*) berupa pengerasan regang dilanjutkan dengan perlakuan panas (*heat treatment*). Tetapi cara ini kurang memuaskan bila tujuan utama adalah untuk menaikkan kekuatan bahan. Pada perkembangan selanjutnya, peningkatan nyata dari aluminium dapat dicapai dengan penambahan unsur-unsur paduan kedalam aluminium. Unsur paduan tersebut dapat berupa tembaga (Cu), mangan (Mn), silikon (Si), magnesium (Mg), seng (Zn) dan lain-lain. Kekuatan aluminium paduan ini dapat dinaikkan lagi dengan pengerasan regang atau perlakuan panas. Sifat-sifat lainnya seperti mampu cor dan mampu mesin juga bertambah baik, akan tetapi teknik ini menurunkan ketahanan korosi, kontrol kehomogenan komposisi yang sulit, harga menjadi mahal dan peningkatan biaya daur ulang (TALAT

Lecture 2202, 1994 ; Surdia dan Sato, 1995 ; Callister, 2000).

Paduan aluminium diklasifikasikan dalam berbagai standar oleh beberapa negara. Secara umum paduan aluminium diklasifikasikan menjadi dua kelompok yaitu paduan aluminium tuang/cor (*cast aluminium alloy*) dan paduan aluminium tempa (*wrought aluminium alloy*). Setiap kelompok tersebut dibagi lagi menjadi dua kategori, yaitu paduan dengan perlakuan panas (*heat treatable alloy*) dan paduan tanpa perlakuan panas (*non heat treatable alloy*) (ASM Specialty Hand Book, 1993 ; TALAT Lecture 2202, 1994 ; Surdia, T. dan Saito, 1995 ; Callister, 2000).

Perkembangan ilmu dan teknologi dewasa ini menuntut adanya material yang mempunyai kekuatan tinggi, mampu bentuk yang tinggi, tahan korosi dan komposisi kimia yang sederhana (Olejnik dan Rosochowski, 2005). Penggunaan aluminium murni dengan komposisi sederhana tanpa atau sedikit paduan lebih disukai. Aluminium adalah material yang sangat populer digunakan untuk produksi *ultrafine-grained materials* dan *nano-materials*. Penelitian ini menggunakan bahan aluminium dan akan diamati kekerasan sebelum dan sesudah proses ECAP.

Equal channel angular pressing (ECAP) adalah suatu proses inovatif untuk memperoleh deformasi plastis menyeluruh (*severe plastic deformation, SPD*) dan menghasilkan sifat mekanis yang unggul melalui teknik penghalusan butir (Valiev dan Langdon, 2006).

Penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya menunjukkan bahwa proses ECAP dapat meningkatkan kekerasan Aluminium 1050 sebesar 38% (Setiawan, 2008). Penelitian tersebut hanya dilakukan pada penampang melintang (bidang X), sehingga masih perlu dilakukan penelitian pada penampang memanjang (bidang Y).

TINJAUAN PUSTAKA

Aluminium 1050 merupakan aluminium murni dengan kandungan aluminium 99,50 % dan kekerasan 19 BHN (ASM Specialty Hand Book, 1993). Aluminium murni mempunyai sifat mekanis rendah sehingga secara normal tidak digunakan untuk tujuan struktural. Akan tetapi daya tahan korosi pada lingkungan atau atmosfer normal sangat baik, penghantar panas dan listrik tinggi, dan mudah dibentuk. Aluminium murni, banyak digunakan pada bidang elektronik, kimia, kemasan makanan, petrokimia dan aplikasi produk bangunan. Sifat mekanis tidak bisa ditingkatkan dengan perlakuan panas (*age hardening*), dan oleh karena itu aluminium murni digolongkan dalam kelompok *non-heat treatable alloys* (TALAT Lecture 2202, 1994; Callister, 2000).

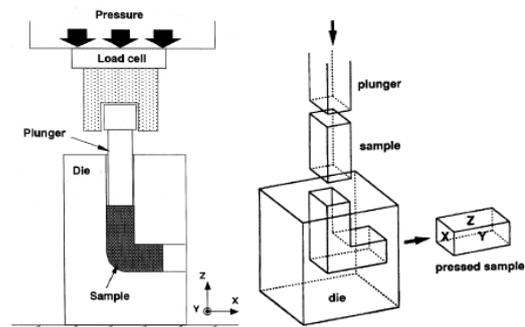
Penelitian dan usaha peningkatan kekuatan logam telah banyak dilakukan. Salah satu metode yang efektif untuk mendapatkan material dengan sifat yang unggul tersebut adalah deformasi plastis secara menyeluruh (*severe plastic deformation, SPD*). Kurzydowski (2004) melaporkan empat metode SPD yang dapat digunakan dalam penghalusan butir, yaitu : *equal channel angular pressing (ECAP)*, *hydrostatic extrusion (HE)*, *high pressure torsion (HPT)*, dan *Max-Strain cumulative plastic deformation by a varying path (MS)*. Olejnik dan Rosochowski (2005) menunjukkan penggunaan beberapa metode SPD untuk memperhalus butir diantaranya adalah : *high pressure torsion (HPT)*, *equal channel angular pressing (ECAP)*, *cyclic extrusion-compression (CEC)*, *multiaxial forging (MF)*, *accumulatif roll-bonding (ARB)*, dan *repetitive corrugation and straightening (RCS)*.

Proses *Equal Channel Angular Pressing (ECAP)* merupakan teknik deformasi plastis menyeluruh yang terbaik diantara beberapa proses SPD tersebut (Kurzydowski, 2004 ; Olejnik dan Rosochowski , 2005). Pemilihan proses ECAP didasarkan pada alasan (Valiev dan Langdon, 2006) :

1. Proses ECAP adalah proses paling efektif diantara proses SPD.
2. Relatif tidak terjadi perubahan penampang melintang .

3. Peningkatan kekuatan material dapat dilakukan pada temperatur rendah.
4. Proses ECAP mudah terintegrasi dalam industri serta mampu menghasilkan produk dalam skala bulk atau batangan.

Equal Channel Angular Pressing (ECAP) merupakan proses spesimen (*sample*) diberikan regangan plastis melalui penekanan dalam cetakan beralur khusus. Cetakan mempunyai dua alur laluan pada bagian dalam dengan luas penampang yang sama seperti ditunjukkan pada gambar 1 (Horita, dkk., 2001 ; Valiev dan Langdon, 2006).



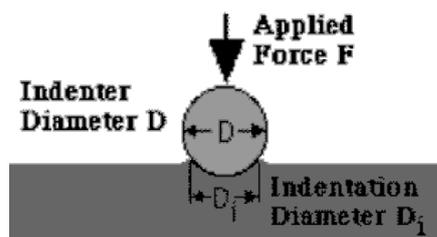
Gambar 1. Proses ECAP

Proses ECAP dapat dilakukan pada beberapa material baik *single crystals*, *polycrystalline*, maupun *metal-matrix composites* (Valiev dan Langdon, 2006), dalam skala bulk maupun batangan (Valiev, 1997 ; Olejnik dan Rosochowski, 2005 ; Sun, dkk, 2005). Aluminium dan paduannya merupakan material yang populer digunakan pada proses ECAP.

Ketahanan bahan terhadap indentasi secara kualitatif menunjukkan kekuatannya. Skala yang lazim dalam pengujian kekerasan antara lain skala Brinell, Vickers, Rockwell dan Knop. Metode Brinell sangat sesuai untuk menguji material yang mempunyai kekerasan rendah dan menengah sampai nilai BHN 450.

Pengujian kekerasan Brinell menggunakan penumbuk (*indenter/penetrator*) yang terbuat dari bola baja. Metode ini dilakukan dengan cara bahan diindentasi dengan indenter pada permukaan benda uji dengan beban tertentu kemudian diukur bekas penekanan yang terbentuk (Callister, 2000).

Bekas indentasi pada kekerasan Brinell memberi keuntungan pada material yang tidak homogen sehingga beban yang diterima lebih merata misalnya pada paduan Aluminium. Selain itu, kekerasan Brinell juga tidak begitu dipengaruhi oleh goresan dan kekasaran permukaan dibanding dengan uji kekerasan yang lain (Dieter, 1986).



Gambar 2. Skema pengujian kekerasan Brinell
Angka kekerasan Brinell dapat ditentukan dengan persamaan berikut :

$$\text{BHN} = \frac{F}{\frac{\pi}{2} D \left(D - \sqrt{D^2 - D_1^2} \right)} \quad (1)$$

Dengan :

BHN = Angka kekerasan Brinell (Kg/mm²)

F = Pembebanan (Kgf)

D = Diameter indenter (mm)

D₁ = Diameter bekas injakan (mm)

TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN

Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk melihat pengaruh proses *Equal Channel Angular Pressing (ECAP)* terhadap kekerasan aluminium 1050 pada penampang melintang dan penampang memanjang sampel (bidang X dan bidang Y) .

Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian diharapkan dapat memberikan kontribusi positif bagi ilmu pengetahuan dan teknologi pada bidang penghalusan butir untuk meningkatkan kekuatan aluminium dengan proses ECAP dan menjadi referensi untuk penelitian selanjutnya sehingga didapatkan aluminium dengan sifat yang lebih baik.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian dilakukan dengan menguji atau mengukur, menganalisa dan membandingkan sifat mekanis, yaitu kekerasan material sebelum dan sesudah proses ECAP pada penampang melintang dan memanjang sampel.

Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah aluminium 1050.

Alat-alat yang digunakan

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah :

1. Cetakan (*die channel*) dan penekan (*plunger*) untuk ECAP.

2. Mistar baja dan jangka sorong untuk mengukur dimensi sampel dan spesimen uji.
3. Mesin gergaji dan gergaji tangan untuk memotong bahan.
4. Universal Testing Machine (Tarno Grocki) untuk penekanan sampel pada cetakan ECAP dan dongkrak hidrolis untuk uji coba cetakan dengan penekanan manual.
5. Alat uji kekerasan Brinell yang digunakan untuk menguji kekerasan.
6. Mesin poles, amplas (kertas gosok SiC) dan *metal polish (Autosol)* digunakan untuk menghaluskan sampel dan spesimen uji.
7. Mikroskop optic (Olympus TGH Japan) digunakan untuk mengamati dan menentukan diameter bekas injakan uji kekerasan Brinell.
8. Mesin bubut, fris, bor, dan mesin las untuk pembuatan cetakan ECAP.

Langkah-langkah Penelitian

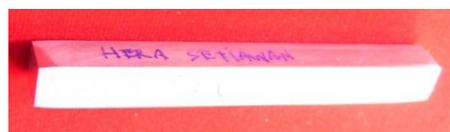
Adapun langkah-langkah yang dilaksanakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Persiapan bahan

Bahan aluminium 1050 diuji komposisi kimia dengan *spektrometer* dan uji kekerasan Brinell, sebagai pembandingan sebelum dilakukan proses ECAP (*as received*).

Sampel dari bahan aluminium 1050 dibuat sesuai dengan ukuran cetakan ECAP, berbentuk batangan dengan ukuran : 9,5mm x 9,5mm x 70mm.

Pemotongan bahan menggunakan gergaji, diratakan dan dihaluskan secara bertahap dengan kertas amplas (SiC) nomor 240, 400, 800 dan 1000, kemudian dipoles dengan *metal polish (Autosol)*.



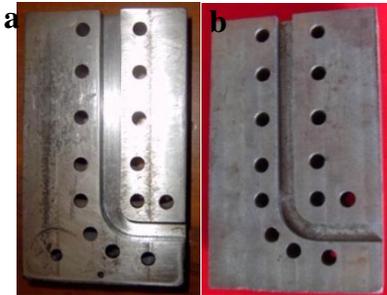
Gambar 3. Bahan sampel sebelum proses ECAP (*as received*)

2. Pembuatan, uji coba dan penyempurnaan cetakan dan penekan

Penelitian ini menggunakan cetakan ECAP dengan sudut alur cetakan $\Phi 90^\circ$, sudut lengkungan cetakan atau sudut busur $\psi 90^\circ$, dengan radius lifet luar R dan raius filet dalam r sesuai dengan masing-masing ukuran sampel ECAP.

Pembuatan cetakan (*die channel*) dan penekan (*plunger*) untuk proses ECAP tidak sekali jadi, akan tetapi dengan beberapa kali uji coba dan

perbaikan sehingga didapatkan cetakan dan penekan yang sesuai dan dapat beroperasi dengan baik. Adapun cetakan yang pernah dibuat adalah seperti pada gambar berikut :



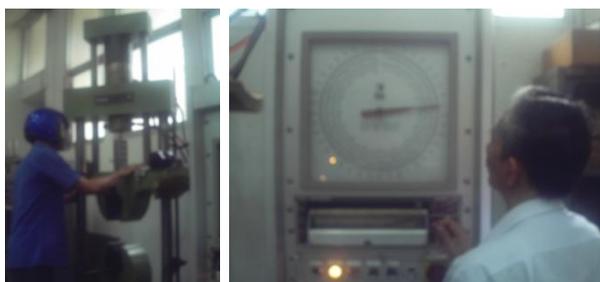
Gambar 4. (a) Cetakan baja (b) Cetakan besi cor



Gambar 5. Cetakan Stainless Steel



Gambar 6. Uji coba Cetakan



Gambar 7. Proses penekanan ECAP

3. Proses penekanan ECAP

Proses penekanan sampel pada cetakan ECAP dilakukan pada temperatur ruang, menggunakan *Universal Testing Machine (Tarno Grocki)* berkapasitas 20 ton, dengan pengaturan beban secara manual. Untuk mengurangi gesekan antara permukaan sampel dan dinding cetakan digunakan pelumasan dengan gemuk (greeze).

4. Pengujian kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan pada spesimen sebelum dan sesudah proses ECAP menggunakan mesin uji kekerasan Brinell (*Brinell Hardness Tester*). Mesin yang digunakan untuk pengujian ini adalah Weinheim-Birkenau tipe 38505, dengan indenter bola baja 2,5 mm pada pembebanan 613 N (=62,5kg).

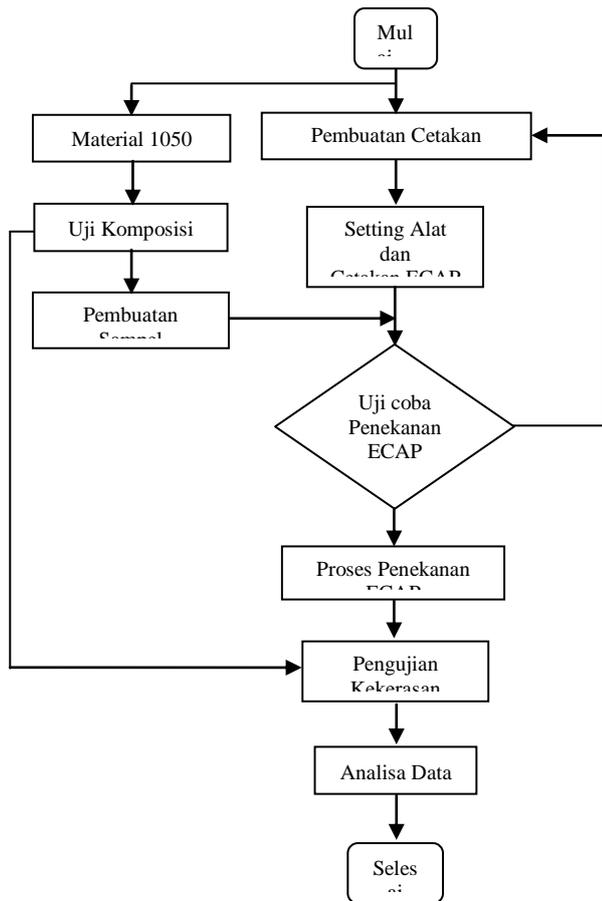
Untuk melihat diameter pijakan indenter digunakan mikroskop optik (Olympus TGH Japan) dengan perbesaran sehingga untuk jarak 1 mm akan terlihat 15 strip. Agar lebih teliti maka pengukuran diameter dilakukan dua kali yaitu diameter horisontal dan diameter vertikal untuk setiap titik.

Pengukuran kekerasan dilakukan pada penampang melintang atau searah dengan penekanan (bidang X) dan pada penampang memanjang atau tegak lurus dengan penekanan (bidang Y), seperti yang terlihat pada gambar 2.1. diatas.

Hasil pengukuran kekerasan sebelum dan sesudah proses ECAP dicatat dan dianalisa.

Diagram Alir Penelitian

Gambar 8. menunjukkan diagram alir penelitian yang dilakukan.



Gambar 8. Diagram alir penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari penelitian yang dilakukan didapatkan hasil sebagai berikut.

Komposisi Kimia

Tabel 5.1 menunjukkan komposisi kimia aluminium 1050 yang digunakan pada penelitian ini, yang diuji dengan spektrometer seperti yang terlihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Hasil uji spektrometer

Tabel 1. Komposisi kimia aluminium 1050

Komposisi (%)					
Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn
0,15	0,3359	0,032	0,0031	0,0054	0,0397
Ti	Cr	Ni	Pb	Sn	Al
0,0049	0,0006	0,0003	0,0021	0,0039	99,42

Sampel Hasil Proses ECAP

Gambar 10. dibawah ini menunjukkan sampel hasil proses ECAP.



Gambar 10. Sampel hasil proses ECAP

Kekerasan Brinell

Hasil pengukuran kekerasan Brinell aluminium 1050 sebelum proses ECAP ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Kekerasan aluminium 1050 sebelum proses ECAP

No	Da	Db	D1	Kekerasan		
				BHN	Rerata	STDEV
1	26.5	26.5	1.77	21.78		
2	26.0	26.0	1.73	22.80		
3	26.5	26.5	1.77	21.78	21.60	0.83
4	27.0	27.0	1.80	20.82		
5	27.0	27.0	1.80	20.82		

Hasil pengukuran kekerasan Brinell aluminium 1050 hasil proses ECAP pada penampang melintang (bidang X) dan pada penampang memanjang (bidang Y) ditunjukkan pada Tabel 2. dan Tabel 3.

Tabel 3. Kekerasan aluminium 1050 pada penampang melintang sampel (bidang X) setelah proses proses ECAP

No	D1	Kekerasan			Kenaikan		
		BHN	Rerata	STDEV	%	Rerata	STDEV
1	1.55	29.58			0.37		
2	1.53	30.31	29.82	0.42	0.40	0.38	0.02
3	1.55	29.58			0.37		

Tabel 4. Kekerasan aluminium 1050 pada penampang memanjang sampel (bidang Y) setelah proses proses ECAP

No	D1	Kekerasan			Kenaikan		
		BHN	Rerata	STDEV	%	Rerata	STDEV
1	1.60	27.50			0.27		
2	1.55	29.58			0.37		
3	1.53	30.31	30.06	1.66	0.40	0.39	0.08
4	1.50	31.85			0.47		
5	1.52	31.07			0.44		

Pembahasan

Komposisi Kimia

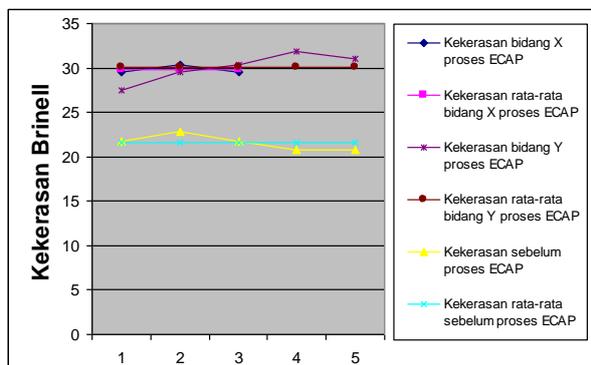
Aluminium 1050 yang digunakan pada penelitian ini dapat dikatakan aluminium murni dengan kandungan aluminium sebesar 99,42% (lebih dari 99%) seperti terlihat pada tabel 1.

Sampel Hasil Proses ECAP

Hasil proses ECAP seperti terlihat pada Gambar 10. diatas menunjukkan sampel mengalami deformasi plastis yang permanen, terutama terlihat dengan jelas pada bagian ujung dan pangkal sampel.

Kekerasan Brinell

Hasil pengukuran kekerasan seperti terlihat pada tabel 2. , tabel 3. dan tabel 4. , diatas dapat dibuat grafik seperti pada gambar 11. dibawah. Dari tabel 2 diatas dan grafik pada gambar 11 dibawah terlihat bahwa nilai kekerasan rata-rata aluminium 1050 sebelum proses ECAP adalah 21,60 BHN, dan kekerasannya cukup merata pada setiap titik, hal ini terlihat dari nilai standar deviasi yang kecil yaitu 0,83.



Gambar 11. Grafik kekerasan sebelum dan sesudah proses ECAP

Kekerasan penampang melintang (bidang X) setelah proses ECAP naik dengan kenaikan hampir merata, kekerasan pada masing-masing titik adalah (29,58 ; 30,31 ; dan 29,56) BHN. Nilai kekerasan rata-ratanya adalah 29,82 BHN dengan standar deviasi 0,42.

Kenaikan atau peningkatan kekerasan hasil proses ECAP pada penampang melintang cukup tinggi, yaitu 37%, 40%, dan 37%, atau rata-rata 38% dengan standar deviasi 0,02 jadi cukup merata pada setiap titik.

Kekerasan penampang memanjang (bidang Y) setelah proses ECAP naik dengan kenaikan hampir merata, kekerasan pada masing-masing titik adalah (27,50 ; 29,58 ; 30,31 ; 31,85 dan 31,57) BHN.

Nilai kekerasan rata-ratanya adalah 30,06 BHN dengan standar deviasi 1,66.

Kenaikan atau peningkatan kekerasan hasil proses ECAP pada penampang melintang juga cukup tinggi, yaitu 27%, 37%, 40%, 47%, dan 44%, atau rata-rata 39% dengan standar deviasi 0,08 jadi cukup merata pada setiap titik.

Hasil ini menunjukkan bahwa proses ECAP dapat meningkatkan kekerasan yang cukup tinggi dan merata pada setiap penampang , baik pada penampang melintang (bidang X) maupun pada penampang memanjang (bidang Y).

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian ini dapat diambil kesimpulan :

1. Proses Equal Channel Angular Pressure (ECAP) dapat menaikkan kekerasan aluminium 1050 dengan kekerasan yang cukup merata baik pada penampang melintang maupun penampang memanjang.
2. Kenaikan kekerasan rata-rata aluminium 1050 hasil proses ECAP adalah 38% pada penampang melintang (bidang X), dan 39% pada penampang memanjang (bidang Y).

Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang sudah dilakukan, ada beberapa saran yang diperlukan untuk penelitian selanjutnya :

1. Perlu dilakukan penelitian lanjutan untuk mengetahui pengaruh proses ECAP terhadap sifat atau karakteristik bahan yang lain.
2. Perlu dilakukan penelitian proses ECAP dengan beberapa variabel proses ECAP yang lain dan berbeda-beda.

DAFTAR PUSTAKA

- ASM Specialty Hand Book, 1993, "Aluminium and Aluminium Alloys", Ohio, pp. 534, 645.
- Callister Jr., W.D., 2000, "Fundamentals of Materials Science and Engineering", Interactive e Text, John Wiley & Sons, Fifth Edition, pp. 416, 417, 177 – 181.
- Horita, Z., Fujinami, T., Langdon, T.G., 2001, "The potential for scaling ECAP: effect of sample size on grain refinement and mechanical properties", Materials Science and Engineering A318 pp. 34 - 41.
- Kurzydowski, K.J., 2004, "Microstructural refinement and properties of metals processed by severe plastic deformation", Bulletin of the Polish Academy of Science, Technical Science, Vol. 52, No. 4. pp. 301 – 311.

- Olejnik,L.,and Rosochowski,A. , 2005, “Methods of fabricating metals for nano-technology”, Bulletin of the Polish Academy of Science, Technical Science, Vol. 53, No. 4. pp. 413 – 423.
- Sun,Z.M., Hashimoto,H., Keawprak,N., Ma,A.B., Li, L.F., Barsoum, M.W., 2005, “Effect of rotary die equal channel angular pressing on the thermoelectric properties of a $(\text{BiSb})_2\text{Te}_3$ alloy”, J. Mater. Res., Vol 20, No. 4, pp. 895 – 903.
- Valiev,R.Z., 1997, “Structure and mechanical properties of nanostructured metals prepared by severe plastic deformation”, Paper Presented Aug. 21, 1997, pp. 67 – 70.
- Valiev,R.Z. dan Langdon, T.G., 2006, “Principles of equal-channel angular pressing as a processing tool for grain refinement”, Progress in Material Science 51, pp. 881- 981.
- Surdia,T. dan Saito,S., 1999, “Pengetahuan Bahan Teknik”, Cetakan ke-4, Pradnya Paramita, Jakarta, pp. 129 - 142.
- Setiawan, H., 2008, “Pengaruh Proses Equal Channel Angular Pressing (ECAP) Terhadap Kekerasan Aluminium 1050”, Laporan Penelitian UMK.
- TALAT Lecture 2202, 1994, “Structural Aluminium Materials”, European Aluminium Association – EAA, pp. 3, 4.