

PENGARUH PROSES KOMBINASI CETAK TEKAN DENGAN PENGEROLAN DINGIN TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN STRUKTURMIKRO ALUMINIUM KOMERSIL

Gunawarman, Jon Affi dan Adhie Nalapruja Fathirsya
Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Andalas
Kampus Limau Manis, Padang 25163
e-mail : gunawarman@ft.unand.ac.id

ABSTRAK

Seiring dengan berkembangnya teknologi dan ilmu pengetahuan dibutuhkan material dengan struktur ringan, mampu bentuk yang tinggi, dan komposisi kimia yang sederhana. Equal Channel Angular Pressing (ECAP) atau proses Cetak Tekan muncul sebagai salah satu metoda penguatan material yang sangat menjanjikan. Dimana material diberikan regangan plastis berupa geseran simple dengan penekanan melalui cetakan khusus. Cetakan ini terdiri dari sebuah alur berbentuk L yang berpenampang sama. Regangan yang besar akibat penekanan yang berulang-ulang pada proses Cetak Tekan ini mengakibatkan perubahan pada struktur butir. Proses ini dapat memberikan peningkatan kekuatan yang sangat signifikan tanpa perubahan yang berarti pada sifat fisik material. Untuk lebih meningkatkan kekuatan dan kekerasan material, maka material dilakukan proses lanjutan yaitu proses pengerolan dingin. Sebagaimana diketahui proses pengerolan dingin dapat meningkatkan kekuatan dan kekerasan material melalui pengerasan regangan.

Dari penelitian yang telah dilakukan, proses Cetak Tekan saja menghasilkan peningkatan kekuatan terhadap aluminium, yaitu 40% untuk laluan pertama, 37% untuk laluan kedua, 44% untuk laluan ketiga dan 57% untuk laluan keempat. Begitu juga nilai kekerasan dengan peningkatan 20% untuk laluan pertama, 27% untuk laluan kedua, 30% untuk laluan ketiga dan 58% untuk laluan keempat. Sedangkan untuk proses setelah Cetak Tekan-Pengerolan didapatkan peningkatan kekuatan sebesar 52% untuk laluan pertama, 42% untuk laluan kedua, 54% untuk laluan ketiga dan 78% untuk laluan keempat. Sama halnya dengan nilai kekerasannya dengan peningkatan 28% untuk laluan pertama, 58% untuk laluan kedua, 66% untuk laluan ketiga dan mencapai 100% untuk laluan keempat. Dari segi struktur mikro, ukuran rata-rata butir setelah proses kombinasi Cetak Tekan-Pengerolan cenderung sedikit lebih halus dari pada ukuran rata-rata butir setelah proses Cetak Tekan saja. Hasil penelitian ini menunjukkan efek pengerasan regangan pada aluminium.

Kata Kunci : Cetak-tekan, Aluminium, Pengerolan Dingin, Sifat Mekanik

I. PENDAHULUAN

Dengan berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi pada saat sekarang ini dibutuhkan material dengan struktur ringan, mampu bentuk yang tinggi, dan komposisi kimia yang sederhana. Ketersediaan logam yang makin menipis mengharuskan kita melakukan penghematan, sehingga cara pemaduan logam untuk meningkatkan kekuatannya pada saat ini tidak lagi efektif. Cetak Tekan atau *Equal Channel Angular Pressing (ECAP)* hadir sebagai metode penguatan material yang paling menjanjikan pada saat sekarang ini. Proses ini dapat memberikan peningkatan kekuatan yang sangat signifikan tanpa perubahan yang berarti pada sifat fisik material.

Dari penelitian sebelumnya [17] proses Cetak Tekan rute A telah terbukti memberikan peningkatan sifat mekanik pada Aluminium

komersil (99,95% Al). Aluminium komersil ini termasuk logam murni (*pure metal*) yang merupakan logam dengan komposisi sederhana. Logam ini ringan dan kekuatannya rendah. Namun, untuk lebih meningkatkan kekuatan dan kekerasan aluminium dilakukan proses lanjutan yaitu proses pengerolan dingin yang menyebabkan aluminium tersebut mengalami pengerasan regangan. Hal ini berguna untuk aplikasi produk plat aluminium pada industri otomotif dan rumah tangga.

II. BAHAN DAN METODOLOGI

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah batangan Aluminium berpenampang sekitar 10 x 10 cm yang umum terdapat di pasaran. Pengecekan komposisi kimia dengan EDX menunjukkan bahwa komposisi adalah 98.37 % Al

- 1.63 % Mg (%.wt). Hal ini berarti bahan tergolong Al kelas 1100 yakni kelompok Al murni komersil.

Sebelum proses cetak-tekan dilakukan, maka dilakukan modifikasi cetakan terhadap alat cetak-tekan terdahulu agar lorong cetakan dapat menampung sampel sesuai dengan ukuran sampel tersebut diatas. Cetakan proses Cetak Tekan dibuat dari material Tool Steel dengan sudut alur cetakan $\Phi = 90^\circ$ dan sudut lengkungan $\psi = 20^\circ$. Cetakan yang dipakai pada pengujian ini tidak memakai inti cetakan (cetakan langsung). Cetakan ini memiliki dua bagian yang terpisah, dua bagian yang terpisah ini digabungkan dengan menggunakan baut sebagai penahan. Cetakan ini menggunakan sudut dalam pada lengkungan terluar dimana dua saluran bersilangan. Selanjutnya, dilakukan pemasangan blok Penuntun *plunger* agar posisi *plunger* tepat pada alur cetakan dan setelah proses Cetak Tekan, *plunger* dapat terlepas langsung dari cetakan. Dengan adanya penuntun *plunger* ini efektifitas kerja dalam proses Cetak Tekan dapat ditingkatkan dengan mereduksi waktu mengeluarkan *plunger* dari cetakan.

Untuk membuat sampel proses cetak-tekan, batangan aluminium dipotong sepanjang 60 mm dengan menggunakan gergaji besi. Selain itu, sebagian sisa material dipotong sepanjang lebih kurang 15 mm untuk menguji sifat mekanik dan struktur mikro bahan pada kondisi diterima (*as-received*) atau sebelum perlakuan.

Proses cetak-tekan dilakukan dengan memanfaatkan gaya penekanan pada mesin uji jenis universal testing machine yang umum digunakan untuk pengujian tarik material. Foto pelaksanaan pengujian diperlihatkan pada Gambar 1.

Proses Cetak Tekan dilakukan pada temperatur kamar dan dilakukan penekanan menggunakan rute A sampai 4x laluan. Proses ini pertama-tama adalah setelah mesin disiapkan dengan segala perlengkapannya (penekan, cetakan, dan blok penuntun). Pemasangan *punch* dilakukan pada blok penuntun *plunger*. Setelah *punch* dipasang, cetakan diletakkan pada blok penuntun. Sebelum pengujian dimulai, dilakukan pelumas pada kedua alur cetakan untuk mengurangi gesekan dan panas yang terjadi selama pengujian. Kemudian proses *centering* (penyesuaian penekan pada lubang penekan). Setelah penekan dan cetakan sesuai, posisi penekan dikembalikan pada posisi semula. Kemudian aluminium dimasukkan kedalam cetakan dan penekanan dilakukan dengan membuka katup beban perlahan-lahan. Setelah spesimen keluar dari cetakan, prosedur diulangi dari awal dengan memutar spesimen sebesar 0° sampai 4x laluan.

Setelah proses cetak-tekan selesai dilakukan maka dilakukan pengujian kekerasan mikro pada tiap sampel masing-masing sebanyak 5 titik. Yang pertama, pengujian kekerasan pada aluminium *as-received*. Kedua, untuk sampel setelah dicetak-

tekan, dan ketiga, pengujian kekerasan terhadap sampel setelah proses kombinasi Cetak Tekan-Pengerolan. Pengujian kekerasan kali ini menggunakan alat uji Shimadzu Micro Hardness Tester. Sistem pengoperasian otomatis dengan menggunakan intan piramida sebagai indenter. Hasil dari pembebanan akan menghasilkan jejak lekukan berbentuk belah ketupat yang dapat diukur langsung pada mesin uji. Hasil dari pengukuran tersebut akan menghasilkan nilai kekerasan aluminium yang diukur. Pengujian dilakukan pada lima titik penekanan. Beban yang digunakan pada pengujian adalah 490,3 mN dengan waktu pembebanan selama 15 detik. Kemudian, dilakukan pengujian tarik yang bertujuan untuk mengetahui kekuatan aluminium sebelum dan setelah melalui rute proses Cetak Tekan dan setelah pengerolan. Pengujian tarik ini dilakukan dengan kecepatan 10 mm/menit dan dilengkapi dengan *software* C-TAP.



Gambar 1. Proses Cetak Tekan Al

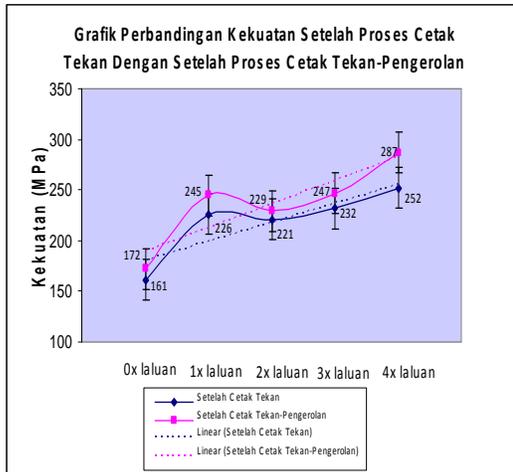
Setelah itu, dilakukan proses pengerolan dingin pada sampel *as-received* dan sampel yang telah dilakukan proses Cetak Tekan, kemudian dilakukan pengerolan dengan mesin roll secara bertahap dan berulang-ulang dengan cara mengatur tingkat reduksi ketebalan yang terdapat pada mesin dengan cara memutarnya sampai spesimen mencapai ketebalan minimum. Setelah proses pengerolan dingin ini berakhir akan menghasilkan plat aluminium.

Untuk melihat struktur mikro bahan dilakukan pengamatan metalografi. Penyiapan sampel dilakukan menurut prosedur umum yang berlaku. Pengetsaan dilakukan dengan mencelupkan spesimen kedalam larutan etsa berupa larutan *Poulton reagent* + 25 ml HNO_3 + 40 ml + 3 gram chromic acid per 10 ml H_2O . Lama pengetsaan 1–4 menit, kemudian dicuci dengan air hangat dan dikeringkan. Pengamatan dilakukan dengan mikroskop optik.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Pengujian Tarik

Hasil pengujian tarik untuk tiap laluan, yang dapat menyatakan kekuatan aluminium pada tiap laluan dipaparkan pada Gambar 2.



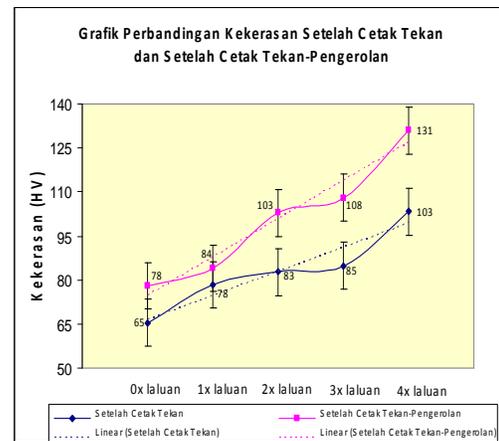
Gambar 2. Grafik perbandingan kekuatan aluminium komersial setelah proses Cetak Tekan dengan setelah proses Cetak Tekan-Pengerolan

Disini dapat kita lihat nilai kekuatan tarik aluminium setelah proses Cetak Tekan lebih tinggi dibandingkan dengan kekuatan tarik proses pengerolan dingin. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh A.V Panin et al [16], yang mendapatkan kekuatan tarik hasil Cetak Tekan pada titanium sebesar 650 MPa, diatas pengerolan dingin (530 MPa) dan annealing (315 MPa).

Dari Gambar 4.4 dapat dilihat kekuatan aluminium komersial setelah proses Cetak Tekan cenderung meningkat setelah kombinasi proses Cetak Tekan-Pengerolan. Besarnya peningkatan kekuatan setelah proses kombinasi ini dibandingkan dengan aluminium kondisi 0x laluan (161 MPa) adalah 52% (245 MPa) untuk laluan pertama, 42% (229 MPa) untuk laluan kedua, 54% (247 MPa) untuk laluan ketiga dan 78% (287 MPa) untuk laluan keempat. Terjadinya peningkatan kekuatan setelah proses kombinasi ini disebabkan oleh peningkatan jumlah dislokasi dan pengerasan regangan akibat proses pengerolan dingin yang diberikan.

3.2 Hasil Pengujian Kekerasan

Hasil pengujian kekerasan untuk tiap laluan yang dilakukan pada tujuh titik yang berbeda pada bidang pengukuran yang sama, yaitu bidang bidang lintang dipaparkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik perbandingan pengaruh jumlah tahap laluan terhadap kekerasan aluminium setelah proses Cetak Tekan dan setelah proses Cetak Tekan-Pengerolan

Pada Gambar 3 dapat dilihat kekerasan aluminium mengalami peningkatan setelah proses Cetak Tekan dengan peningkatan jumlah laluan. Besarnya peningkatan yang terjadi adalah sebesar 20% untuk laluan pertama, 27% untuk laluan kedua, 30% untuk laluan ketiga dan 58% untuk laluan keempat. Sedangkan, kekerasan untuk proses kombinasi Cetak Tekan-Pengerolan pada kondisi 0x laluan adalah 28% untuk laluan pertama, 58% untuk laluan kedua, 66% untuk laluan ketiga dan mencapai 100% pada laluan keempat. Disini dapat dilihat kekerasan aluminium hasil proses Cetak Tekan cenderung meningkat setelah proses kombinasi Cetak Tekan-Pengerolan.

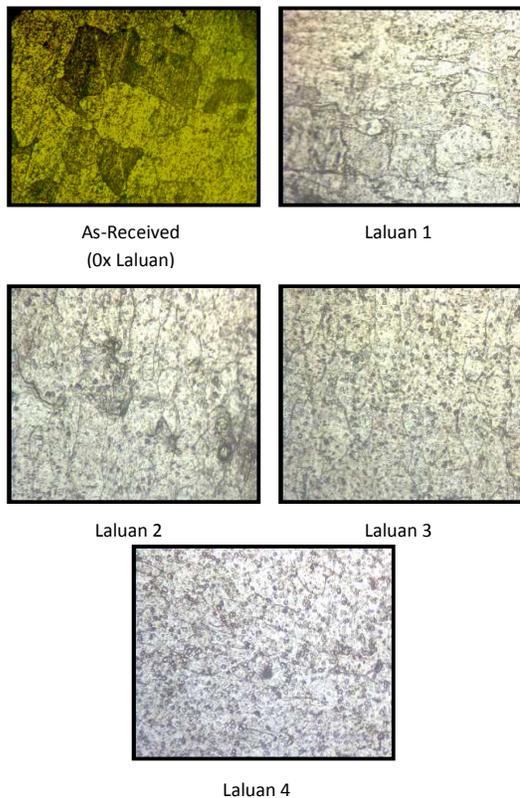
Pada Gambar diatas juga jelas terlihat bahwa harga kekerasan cukup signifikan didapatkan pada laluan pertama, dan pada laluan berikutnya terjadi penurunan margin peningkatannya terhadap laluan sebelumnya. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Andre Ishlah Azani [15], dimana peningkatan yang signifikan didapatkan setelah laluan pertama.

Peningkatan kekerasan yang cukup baik ini juga dikarenakan oleh penghalusan butir yang terjadi pada tiap langkah proses Cetak Tekan, dimana butir akan semakin kecil dan jumlah batas butir meningkat, sehingga secara langsung mengakibatkan butir-butirnya jadi lebih halus dibandingkan dengan butir pada material kondisi 0x laluan (*as-received*).

3.3 Karakteristik Strukturmikro

Pengamatan strukturmikro dari logam merupakan sarana yang penting untuk melihat keuntungan proses cetak tekan dalam penghalusan butir (*Ultra fine grain*) yang juga nantinya akan berpengaruh terhadap sifat mekanik dari material itu sendiri. Di bawah ini akan ditampilkan beberapa gambar strukturmikro aluminium bidang tegak lurus arah pembebanan (bidang melintang) dari

aluminium pada kondisi setelah proses Cetak Tekan.

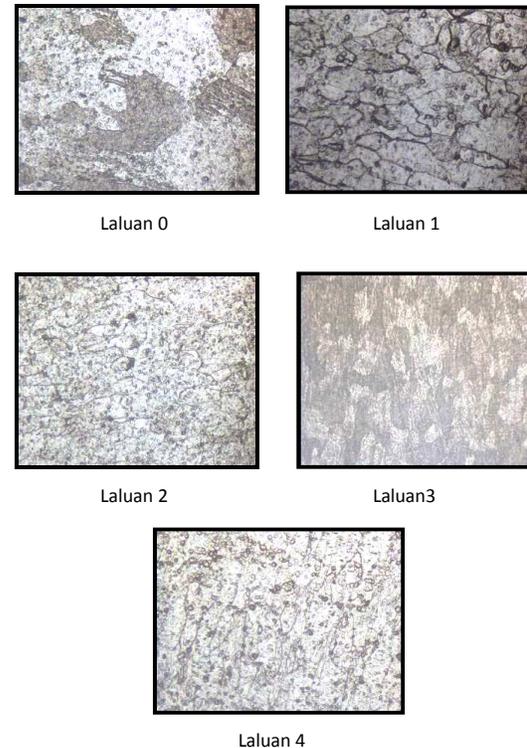


Gambar 4 Struktur mikro hasil proses cetak-tekan untuk tiap laluan

Disini dapat dilihat struktur mikro aluminium komersial sebelum Cetak Tekan (kondisi *as-received*). Dengan metoda *point counting* didapatkan diameter rata-rata butir sebesar $125 \mu\text{m}$, sedangkan struktur butirnya masih berbentuk *equiaxed*. Struktur mikro setelah Cetak Tekan laluan pertama terjadi penghalusan butir apabila dibandingkan dengan material kondisi sebelum Cetak Tekan. Terlihat dengan peningkatan jumlah batas butir dan diameter rata-rata butir yang didapatkan adalah $75 \mu\text{m}$. Pada laluan kedua terjadi pengurangan ukuran butir, dimana struktur butir menjadi lebih halus dibandingkan dengan laluan pertama. Ini dibuktikan dengan ukuran diameter rata-rata yang didapat adalah sebesar $66 \mu\text{m}$. Untuk aluminium setelah Cetak Tekan dengan tiga kali laluan, terlihat terjadi penghalusan butir yang cukup jelas, disini didapatkan ukuran butir rata-rata sebesar $58 \mu\text{m}$. Bentuk butir pada laluan ketiga ini pada umumnya masih sama dengan kondisi butir setelah laluan kedua, hanya saja disini terjadi pemecahan butir yang lebih banyak. Sementara itu pada laluan keempat terus terjadi penghalusan butir. Walaupun batas butir yang diperlihatkan oleh gambar kurang jelas namun secara keseluruhan terjadi pemecahan butir yang lebih banyak dari

pada laluan sebelumnya, dimana didapatkan ukuran butir rata-rata sebesar $53 \mu\text{m}$.

Selanjutnya di bawah ini diperlihatkan gambar struktur mikro aluminium bidang tegak lurus arah pembebanan (bidang melintang) pada kondisi setelah proses Cetak Tekan-Pengerolan.



Gambar 5 Struktur mikro hasil proses cetak tekan-pengerolan untuk tiap laluan

Gambar 5 memperlihatkan perubahan struktur mikro aluminium setelah proses pengerolan dingin tanpa dilakukan proses Cetak Tekan. Butir yang terlihat sedikit lebih halus dibandingkan dengan butir aluminium pada kondisi 0x laluan (sebelum Cetak Tekan). Bentuk butir masih sama dengan kondisi 0x laluan (sebelum Cetak Tekan) yaitu dengan bentuk *equiaxed*. Ukuran butir rata-rata yang didapatkan adalah sebesar $101 \mu\text{m}$. Sangat jelas terlihat perubahan orientasi butir, terjadinya penghalusan butir pada kondisi satu kali laluan setelah proses kombinasi Cetak Tekan-Pengerolan. Ini sama halnya dengan aluminium setelah proses Cetak Tekan saja, tetapi disini terjadi peningkatan ukuran butir menjadi $65 \mu\text{m}$. Struktur butir laluan ketiga terlihat lebih halus dibandingkan dengan laluan kedua setelah proses Cetak Tekan saja. Ini dibuktikan dengan meningkatnya ukuran rata-rata butirnya menjadi $62 \mu\text{m}$. Disini terlihat efek dari pengerolan dingin, dimana terjadi pemecahan butir. Terlihat perubahan orientasi butir secara keseluruhan ukuran butir pada laluan ketiga setelah proses kombinasi Cetak Tekan-Pengerolan sedikit lebih halus dari pada proses Cetak Tekan saja. Dimana ukuran rata-rata

butir adalah $56 \mu\text{m}$. Strukturmikro yang didapatkan pada laluan keempat terlihat lebih halus bila dibandingkan dengan aluminium laluan keempat setelah proses Cetak Tekan saja. Ukuran rata-rata butir yang didapatkan adalah sebesar $49 \mu\text{m}$. Ini berhubungan dengan efek pengerasan regangan akibat pengerolan dingin yang bisa meningkatkan kekuatan dan kekerasan material.

Pengujian dilakukan dengan mikroskop optik dan menunjukkan keefektifan proses Cetak Tekan dalam hal penghalusan butir (*ultra fine grains*). Namun dalam hal ini, foto strukturmikro yang diambil dari arah melintang sehingga butir terlihat semakin halus seiring dengan kenaikan jumlah laluan proses Cetak Tekan. Ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh M. Furukawa [1].

3.4 Hubungan antara Strukturmikro dengan Sifat Mekanik

Dari sifat mekanik yang didapatkan pada pengujian ini memiliki hubungan yang erat antara satu dengan yang lain. Pengujian tarik dan pengujian kekerasan berhubungan erat dengan perubahan yang terjadi pada strukturmikro aluminium yang diteliti.

Banyak faktor yang mempengaruhi perubahan sifat mekanik selama proses Cetak Tekan diantaranya variabel proses, langkah proses, geometri cetakan dan juga sifat dasar dari material itu sendiri. Aluminium komersil yang diproses dengan Cetak Tekan sangat menguntungkan dalam peningkatan sifat mekanik, terutama peningkatan kekuatan dan kekerasan dengan peningkatan sudut misorientasi butir serta peningkatan mampu bentuk material. Proses Cetak Tekan ini dapat meningkatkan kerapatan dislokasi secara signifikan serta perubahan struktur mikro yang sangat cepat pada saat awal siklus penekanan dengan memberikan regangan yang tinggi akibat deformasi geser, dan juga energi regangan yang dihasilkan oleh proses Cetak Tekan jauh lebih tinggi bila dibandingkan dengan proses deformasi konvensional. Untuk lebih meningkatkan lagi kekuatan dan kekerasan dari aluminium ini maka dilakukan proses Pengerolan dingin setelah proses Cetak Tekan untuk mendapatkan plat aluminium berkekuatan tinggi.

Sewaktu material mengalami pengerolan dingin terjadi perubahan yang mencolok pada struktur butir seperti perpecahan butir dan pergeseran atom-atom. Karena tidak mungkin terjadi rekristalisasi selama pengerolan dingin, tidak terjadi pemulihan dari butir yang mengalami perpecahan. Dengan meningkatnya deformasi butir, tahanan terhadap deformasi meningkat sehingga logam mengalami peningkatan kekuatan dan kekerasan, peningkatan ini juga disebabkan oleh peningkatan jumlah dislokasi dan pengerasan regangan yang terjadi pada struktur material sebagai efek dari pengerjaan dingin. Pada proses ini, dislokasi-dislokasi bergerak

dan bertumpuk pada batas butir. Dislokasi-dislokasi tersebut masih memiliki energi regangan internal yang cukup tinggi sehingga mengakibatkan energi pada batas butir meningkat.

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 – 2843
- [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] V.M. Segal, *Mater. Sci. Eng. A* 271 (1999) 322.
- [5] E.O.Hall, *Proc.Roy.Soc. B* 64 (1951) 747
- [6] N.J.Petch, *J.Iron Steel Inst.* 174 (1953) 25
- [7] Pluth, M, *Mechanical Properties of Consolidated Metal Nanopowder*, Nanopowder Rewrite, 2002
- [8] Kim, J, Kim, I, Shin, D, H, *Development of Deformation Structures in Low Carbon Steel by Equal Channel Angular Pressing*, *Scripta Materialia* 45 (2001) 421-426
- [9] R. E. Goforth, k. t. hartwig and L. R.Cornwell, in “*Investigations and Applications of Severe Plastic Deformation*,” edited by T. C. Lowe and R. Z. Valiev (Kluwer, Dordrecht, The Netherlands, 2000), p. 3.
- [10] T. Aida, K. Matsuki, Z. Horita and T. G. Langdon, *Scripta Mater.* 44 (2001) 575.
- [11] S.J. Oh, S.B. Kang *Process Modeling of Equal Channel Angular Pressing*, Nanomaterials by Severe Plastic Deformation, Edited by Zehedbauer, M, Valiev, R. Z. Wiley-Vch, Weinheim, 2004
- [12] Brady, George, Hendry, R.C., *Materials handbook; An Encyclopedia for Manager, Technical Professional, Purchasing and Production Managers, Technician, Supervisor, and Foremen*, 11th Edition, Mc.Graw Hill Book Company, New York, 1979
- [13] Parker, E.R., *Materials Data Handbook for Engineers and Scientists*, Mc.Graw Hill Book Company, New York, 1967
- [14] Djaprie, S, *Teknologi Mekanik*,

- [15] Azani, A.I, *Analisis Stabilitas Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Terhadap Perubahan Temperatur Pada Aluminium Komersil yang Diproses Dengan ECAP Rute Bc*, 2007, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Andalas
- [16] Panin, A.V., Panin, V.E., et all, *Phys.Mesomech.2002*, 5, 73-48.
- [17] Utama, J.S, *Pengaruh Rute Equal Channel Angular Pressing (ECAP) Terhadap Kekuatan, Kekerasan dan Strukturmikro Aluminium Komersil*, 2005, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Andalas