

## PENGARUH JUMLAH LALUAN ARAH BOLAK-BALIK PADA ALUMINIUM KOMERSIL DENGAN PROSES ECAP TERHADAP SIFAT MEKANIK

**Qomarul Hadi<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya, Jl. Raya Inderalaya  
Km.32, Inderalaya

\*Korespondensi Pembicara. Phone: +62 711 580272, Fax: +62 711 580272  
Email: [qoma2007@yahoo.co.id](mailto:qoma2007@yahoo.co.id)

### ABSTRAK

Perkembangan Teknologi memungkinkan pemanfaatan logam termasuk Aluminium untuk ditingkatkan sifat mekanik dengan proses penguatan logam. Proses penguatan logam secara deformasi plastis menyeluruh dengan melewati logam dalam suatu alur dengan cara ditekan. Penguatan ini lebih dikenal dengan nama ECAP (*equal channel angular pressing*). ECAP berpotensi untuk dikembangkan dalam dunia industri karena dapat menghaluskan struktur mikro atau sub-mikro yang berpengaruh terhadap peningkatan sifat mekanik material. Aluminium memiliki sifat ringan, tahan korosi dan tidak beracun sehingga dapat digunakan sebagai kemasan berbagai jenis produk. Penelitian ini menggunakan spesimen Aluminium komersil 98,10% berpenampang persegi 10x10 mm<sup>2</sup> dengan proses ECAP pada rute C dengan pemutaran spesimen 180° dalam beberapa kali laluan. Semakin banyak jumlah laluan maka persentase kenaikan sifat mekanik logam akan semakin naik. Hal ini dapat dilihat dari perbandingan nilai kekerasan dan kekuatan tarik aluminium sebelum dan setelah proses ECAP.

**Kata Kunci :** *Deformasi Plastis, Aluminium Murni 98,10%, ECAP (equal channel angular pressing)*

### I. PENDAHULUAN

#### I.1. Latar Belakang

Krisis energi nasional belakangan ini yang dipicu kenaikan harga minyak dunia secara tidak langsung memicu penggunaan material ringan dengan sifat mekanik yang lebih baik untuk struktur kendaraan bermotor dan industri agar lebih efisien dalam proses produksi dan pemakaian. Aplikasi yang banyak dijumpai adalah dengan menggunakan baja sebagai bahan pembuatnya, namun disisi lain hal ini memiliki kekurangan karena biaya produksi relatif tinggi. Oleh karena itu diusahakan untuk menggunakan bahan baku alternatif yang memiliki sifat fisik dan mekanik yang baik.

Salah satu material ringan yang dapat digunakan sebagai bahan kendaraan dan industri dengan cadangan yang cukup melimpah di tanah air adalah Aluminium (Al) yaitu sekitar 7,6%. Dengan kelimpahan sebesar itu, aluminium merupakan unsur ketiga terbanyak setelah oksigen dan silikon, serta merupakan unsur logam yang paling melimpah. Aluminium merupakan logam yang berwarna putih perak dan

tergolong ringan yang mempunyai massa jenis  $2,7 \text{ gr/cm}^3$ . Sifat yang paling penting dari aluminium adalah ringan, tahan korosi dan tidak beracun. Namun begitu, kekuatan Al terutama Al murni belum memadai untuk struktur. Karena itu perlu dikembangkan metoda penguatan yang dapat diterapkan pada Al maupun logam ringan lain agar kekuatannya menyamai atau bahkan melebihi baja.

Baru-baru ini telah dikembangkan metode efektif untuk meningkatkan kekuatan material dengan cara deformasi plastis secara menyeluruh (SPD). *Severe Plastic Deformation* (SPD) adalah pemberian deformasi yang tinggi dan merata pada material melalui pengerolan, ekstrusi tekan, puntir kecepatan tinggi (*high speed torsion*), dan ECAP (*equal channel angular pressing*). Dari beberapa metode tersebut, ECAP berpotensi untuk diaplikasikan dalam dunia industri karena dapat menghasilkan penghalusan struktur mikro atau sub-mikro yang signifikan yang berpengaruh terhadap peningkatan sifat mekanik material seperti yang telah dibuktikan oleh peneliti Amerika dan Jepang. Namun demikian, masih banyak hal yang harus diamati dalam proses ini. Diantaranya adalah berapa besar tingkat deformasi, pengaruh jumlah laluan, pengaruh rute, faktor sudut yang dibentuk oleh kedua alur dan sudut kelengkungan.

Dengan melihat alasan-alasan dasar tersebut, disini penulis mencoba melakukan mengkaji lebih dalam tentang “Pengaruh Jumlah Laluan Dengan Rute C Dalam Proses ECAP Pada Aluminium Komersil”.

## 1.2. Perumusan Masalah

Pengaruh yang terjadi akibat dari proses ECAP (*Equal Chanel Angular Pressing*) terhadap sifat mekanik pada Aluminium komersil.

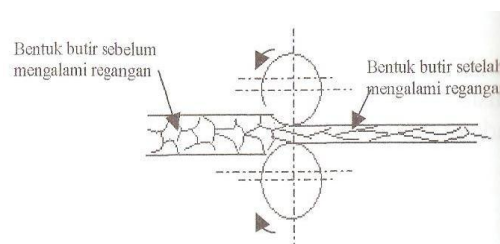
## 2. LANDASAN TEORI

### 2.1. Penguatan Logam

Metode penguatan logam yang dilakukan pada prakteknya adalah untuk menghalangi pergerakan dislokasi. Cara menghalangi pergerakan dislokasi antara lain:

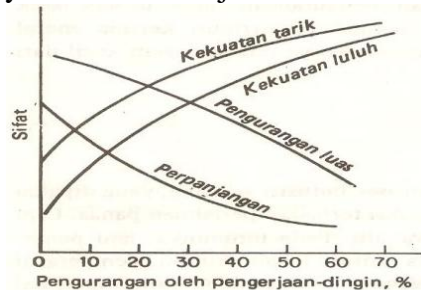
#### 2.1.1 Penguatan Regangan

Penguatan regangan atau *strain hardening* adalah fenomena dimana logam yang ulet menjadi lebih keras dan kuat akibat deformasi plastis atau *cold working*. Logam akan naik kekerasannya bila logam tersebut mengalami deformasi plastis akibat pengerjaan dingin (*cold work*). Fenomena ini disebut pengerasan regangan (*strain hardening*) atau penguatan regangan (*strain strenghening*). Dislokasi pada logam akan sulit bergerak akibat deformasi plastis. Hal ini disebabkan dislokasi naik akibat regangan.



**Gambar.1** Perubahan Bentuk Butir Yang Mengalami Regangan Akibat Pengerolan

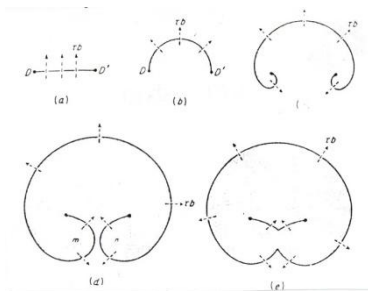
Fenomena penguatan regangan didasarkan pada interaksi dari medan regangan dislokasi. Kerapatan dislokasi di dalam logam akan meningkat seiring dengan adanya deformasi plastis atau pengerjaan dingin. Akibatnya jarak antar dislokasi semakin rapat sehingga dislokasi akan bertemu satu sama lain sehingga akan menyebabkan reaksi dislokasi dan akhirnya dislokasi menjadi bertambah.



**Gambar 2.** Variasi sifat tarik dengan jumlah pengerjaan dingin.

### 2.1.2 . Dislokasi dan Batas Butir

Dislokasi merupakan salah satu cacat kristal berupa garis. Dengan adanya cacat ini akan menurunkan kekuatan logam. Namun dislokasi tidak bisa dihilangkan atau dihindari namun hanya bisa dikurangi. Dislokasi yang sudah ada bergerak dan dengan adanya penghambat/obstacle yang menyebabkan penggandaan dislokasi. Hal ini sejalan dengan teori Frank read mengenai perbanyakan dislokasi. Model Perbanyakan dislokasi Frank Read diterangkan sebagai berikut :

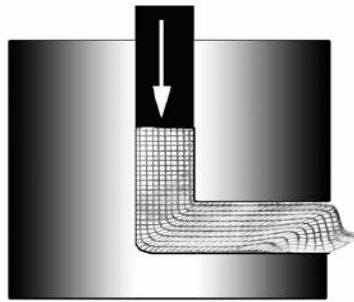


**Gambar 3.** Model dislokasi Frank Read

Dislokasi merupakan cacat garis pada kristal logam yang merupakan pemicu dari setiap mekanisme penguatan logam. Jadi dasar dari teori penguatan logam tidak bisa dilepaskan dari dislokasi. Hanya saja pergerakan dislokasi dalam rangka untuk memperbanyak diri seperti yang diterangkan oleh Frank Read sering kali penghambatnya banyak cara seperti yang diterangkan selanjutnya.

### 2.1.3. ECAP (*Equal Chanel Angular Pressing*)

ECAP merupakan salah satu proses SPD yang pertama kali dikembangkan oleh Segal dkk. SPD (*Severe Plastic deformation*) adalah metode deformasi yang menyeluruh pada material untuk membentuk material dengan ukuran butir sub-mikro (*Submicron Grained*). Macam-macam proses SPD, antara lain : CEC (*Cyclic Extrusion Compression*), ECAP (*Equal Chanel Angular Pressing*), Puntir Kecepatan Tinggi (*High Speed Torsion*). ECAP adalah proses dimana sebuah sampel diberikan regangan plastis berupa geseran sedehana dengan penekanan melalui cetakan khusus. Selama proses ECAP material mengalami regangan plastis dalam sebuah alur yang berbentuk **L** berpenampang tetap.



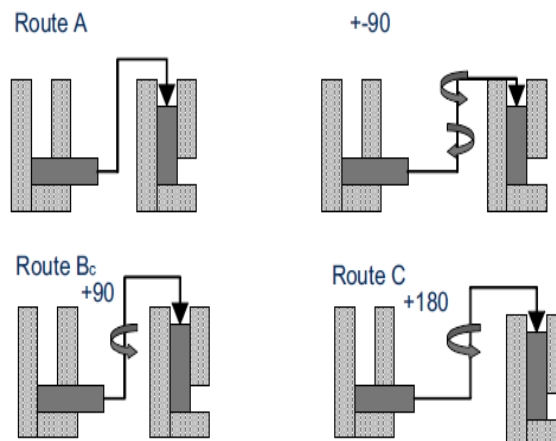
**Gambar 2.4** Prinsip ECAP

Pada ECAP benda kerja di masukan dari lubang bagian atas dan diikuti dengan penekan. Material akan melewati sudut dan akan keluar dari lubang samping. Luas penampang masuk dan penampang keluar memiliki luas dan dimensi yang sama.

Faktor-faktor yang mempengaruhi sifat material hasil proses ECAP :

1. Rute Proses
2. Geometri Cetakan
3. Variabel Proses Penekanan
4. Sifat Material

Pada proses ECAP memiliki beberapa rute untuk proses penekanan. Rute adalah dimana sampel diputar diantara urutan penekanan.



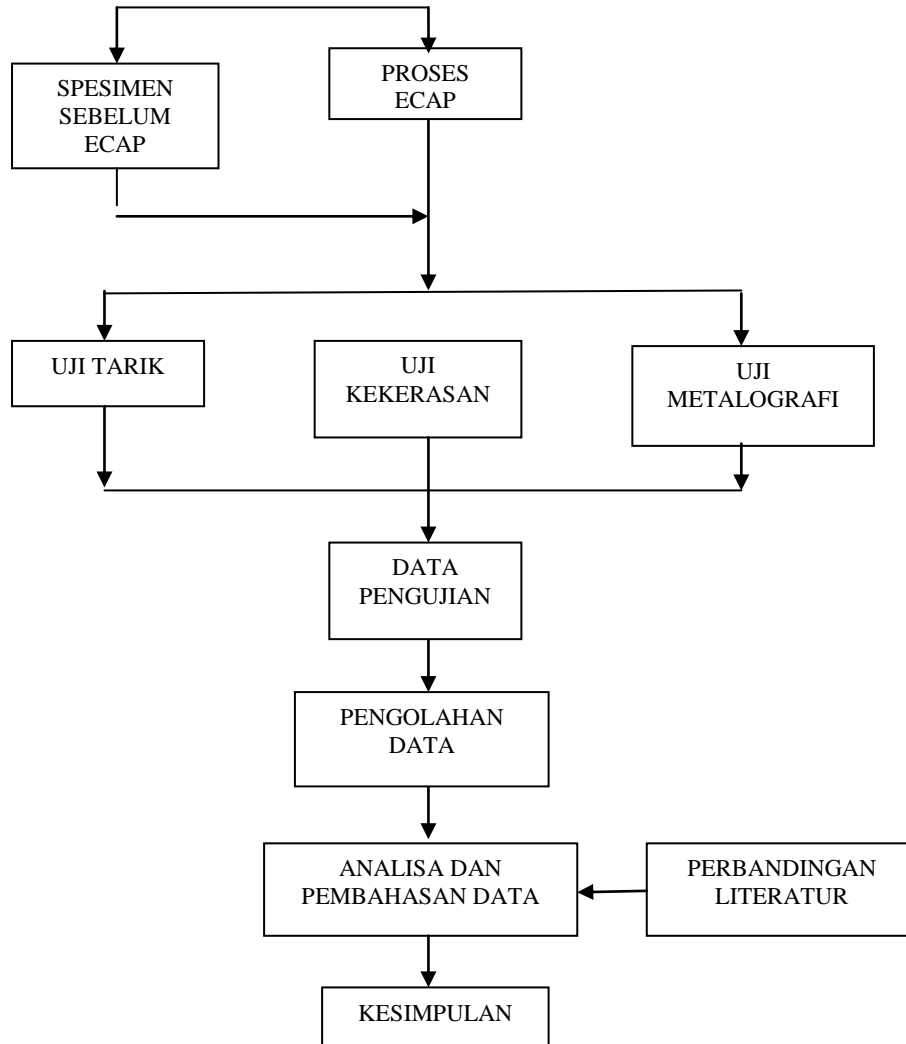
**Gambar 2.5** Rute Proses ECAP

Cara pemasukan spesimen untuk tiap laluan dapat divariasikan. Secara umum berdasarkan putaran sampel rute dibagi atas tiga bagian (gambar diatas) :

- Rute A, yaitu rute dengan putaran sample sebesar  $0^\circ$  untuk tiap langkah proses.
- Rute B, yaitu rute dengan putaran sample sebesar  $90^\circ$  untuk tiap langkah proses.
- Rute BA, yaitu rute dengan putaran sample sebesar  $90^\circ$  dengan arah berlawanan untuk tiap langkah proses.
- Rute BC, yaitu rute dengan putaran sample sebesar  $90^\circ$  dengan arah yang sama untuk tiap langkah proses.
- Rute C, yaitu rute dengan putaran sample sebesar  $180^\circ$  untuk tiap langkah proses

## 2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan metode eksperimental di laboratorium dengan didukung oleh literatur-literatur yang menunjang. Metode penelitian selengkapnya dapat dilihat pada diagram alir berikut ini:



**Gambar 4.** Diagram Alir Metode Penelitian

### 3.1 Proses ECAP

Pada penelitian ini penulis melakukan proses ECAP dengan menggunakan rute C dengan pemutaran specimen sebesar  $180^\circ$  pada laluan berikutnya. Jumlah laluan yang akan dialami oleh specimen berjumlah enam kali laluan.

Prosedur dalam proses ECAP dengan rute C adalah sebagai berikut:

- Specimen diperlakukan ECAP sebanyak enam kali laluan.
- Dua specimen mengalami satu kali laluan (1)
- Dua specimen mengalami dua kali laluan (1-2)
- Dua specimen mengalami tiga kali laluan (1-2-3)
- Dua specimen mengalami empat kali laluan( 1-2-3-4)
- Dua specimen mengalami lima kali laluan( 1-2-3-4-5)
- Dua specimen mengalami enam kali laluan( 1-2-3-4-5-6)

Pada penelitian ini penekanan spesimen pada proses ECAP menggunakan Universal Testing Machine. Pembebanan yang dipakai pada proses ECAP sebesar 15000 kgf. Gambar kombinasi dies dan alat penekan pada proses ECAP dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



**Gambar 5.** Alat ECAP Yang Dikombinasikan Dengan Universal Testing Machine

## 1. ANALISA DAN PEMBAHASAN



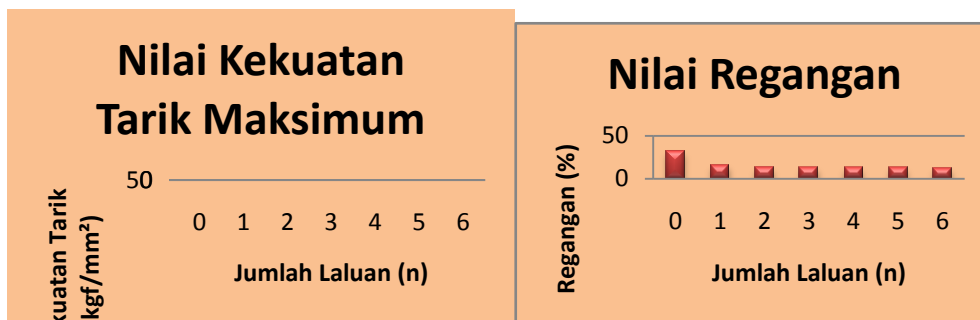
**Gambar 6.** Grafik Nilai Kekerasan Pada Tiap Laluan

Pada sisi C mengalami peningkatan kekerasan yang paling tinggi. Peningkatan pada satu kali laluan sebesar lebih kurang 41% dari sebelum mengalami proses Ecap.

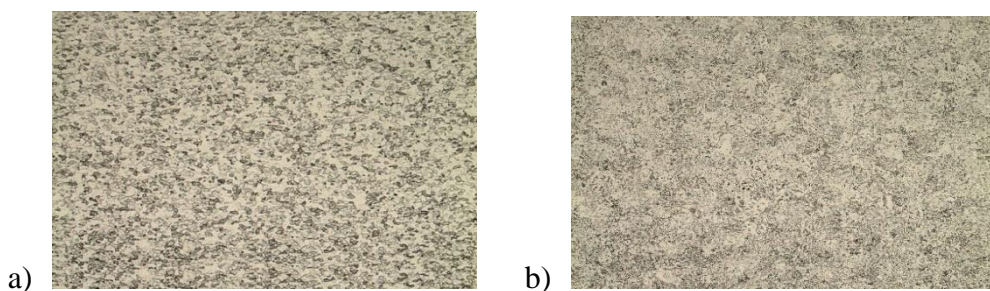
Peningkatan kekerasan maksimum terjadi pada lima kali laluan sebesar lebih kurang 86% dari sebelum proses ECAP. Peningkatan ini terjadi terus-menerus satu kali laluan sampai lima kali laluan. Pada enam kali laluan nilai kekerasan pada sisi C naik menjadi 90%. Pada sisi A mengalami peningkatan kekerasan maksimum pada enam kali laluan sebesar 84.49 BHN.dengan kata lain nilai kekerasan sisi A sama besarnya dengan sisi C yaitu meningkat lebih kurang sebesar 90%.

Nilai kekerasan pada sisi B dan D cenderung sama. Hal ini dikarenakan kedua sisi mengalami gesekan dan laluan yang sama. Kedua sisi ini tidak menyentuh tikungan dalam dan tikungan luar. Kekerasan meningkat terus-menerus sampai enam kali laluan. Peningkatan kekerasan sebesar 63% pada enam kali laluan.

Dari empat sisi spesimen tersebut didapat nilai kekerasan rata-rata pada tiap spesimen untuk tiap laluan. Pada sisi C dan sisi A peningkatan kekerasannya boleh dibilang sama setelah mengalami enam kali laluan. Hal itu pun terjadi pada sisi B dan sisi D tetapi nilai kekerasannya tidak sebesar pada sisi C dan A



**Gambar 7.** Grafik Nilai Kekuatan Tarik Maksimum Pada Tiap Lalan dan Grafik Nilai Regangan Pada Tiap Lalan  
**Struktur Mikro**



**Gambar 8.** a) Struktur Mikro Spesimen Sebelum Mengalami Proses ECAP  
b) Spesimen Sesudah Mengalami 2 Kali Lalan (Pembesaran 180 x)



**Gambar 9.** Struktur Mikro Spesimen Sesudah Mengalami 4 dan 6 Kali Lalan (Pembesaran 180 x)

## 5. KESIMPULAN

Berdasarkan pengujian yang dilakukan terhadap proses ECAP dengan pemutaran spesimen 180° baik sebelum dilakukan lalan maupun setelah dilakukan beberapa lalan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Adanya peningkatan kekerasan dan kekuatan tarik yang signifikan serta penurunan nilai regangan (elongasi)
2. Peningkatan kekerasan secara keseluruhan sangat tinggi yaitu sekitar 86%. Sedangkan peningkatan kekuatan tarik secara keseluruhan sekitar 142% yaitu dari 1360 kgf sampai dengan 3300 kgf. Peningkatan ini tidak sama pada tiap sisi aluminium sebagai spesimen, namun pada tiap sisi hampir memiliki pola yang sama. Penurunan sifat juga terjadi, yaitu pada nilai regangan. Penurunan

nilai regangan sangat wajar terjadi karena adanya perubahan sifat dari sifat aluminium yang ulet menjadi lebih getas.

3. Semakin banyak laluan yang diberikan maka semakin tinggi nilai kekerasan dan kekuatan tarik, namun juga terjadi penurunan pada nilai regangan (elongasi). Hal ini sesuai dengan banyaknya deformasi plastis yang dialami spesimen sehingga ukuran butir pada struktur mikro aluminium mengalami pengecilan atau penghalusan. Semakin kecil ukuran butir dan dislokasi butir semakin rapat maka semakin getas aluminium tersebut. Namun sampai jumlah laluan tertentu spesimen akan mengalami crack atau retak. Jadi laluan hanya bisa sampai batas tertentu.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

- Callister, *Materials Science and Engineering*, John Wiley, 1985
- James, Thomas F Kilduff, *Engineering Materials Technology, Structure, Processing, Properties, and Selection*, Prentice-Hall Int, 1994
- Wirjosumarto, Harsono, Prof. Dr. Ir. dan Prof. Dr. Toshie Okumura, *Teknologi Pengelasan Logam*, PT. Pradnya Paramita, Cetakan ke-5, Jakarta, 1991.
- Amstead, B.H, Phillip F. Ostwald, Myron L. Begemen, dan Sriati Djaprie, "*Teknologi Mekanik*", Jilid 1, Edisi Ketujuh, Erlangga, Jakarta, 1993.
- Kalpakjian, Serop, *Manufacturing Processes for Engineering Materials*, Addison-Wesley Publishing Company, Canada, 1984.
- Shigley, E, Joseph dan Larry D. Mitchell, *Perencanaan Teknik Mesin*, Penerbit Erlangga, Edisi ke-4, Jilid ke-2, Jakarta, 1994.
- Surdia, Tata dan Saito, Shinroku. 2000. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Gunwarman, M. Niinomi and T. Akahori, *Effect of Service Plastic Deformation Using ECAP on Microstructure and Mechanical Properties of Titanium Alloys for Biomedical Applications*, Materials Science and Engineering 2004, TMS, New Orleans, USA, 26-29 Sept 2004
- Joni Syahputta Utama, Skripsi S-1, *Pengaruh Rute Equal Chanel Angular Pressing (ECAP) terhadap Kekuatan, Kekerasan dan Struktur Mikro Aluminium Komersil*, Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Andalas, Padang Oktober 2005
- Frurukawa M, Zenji Horita, Z, Nemoto M And Langdon, T.G, *Review Processing of Metal by Equal Chanel Angular Pressing*, Journal of Materials Sciences 36 (2001) 2835 -284.