

PENGARUH PROSES *EQUAL CHANNEL ANGULAR PRESSING* (ECAP) TERHADAP FORMABILITY ALUMINIUM

*Wisnu Tri Erlangga¹, Rusnaldy², Norman Iskandar²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

*E-mail: wt_erlangga@yahoo.com

Abstrak

Equal channel angular pressing (ECAP) merupakan suatu proses penghalusan ukuran butir, spesimen diberikan gaya regangan plastis secara menyeluruh. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh jumlah laluan pada proses *equal channel angular pressing* (ECAP) terhadap sifat mampu bentuk pada aluminium. Batang aluminium dengan ukuran diameter 12mm dan panjang 50 mm diberikan perlakuan 1, 3, 5, dan 7 kali proses ECAP pada cetakan ECAP dengan sudut alur cetakan 120°. Rute yang digunakan adalah rute A atau tanpa pemutaran sampel. Sifat mampu bentuk aluminium sebelum dan sesudah proses ECAP diperiksa dan dibandingkan. Hasilnya menunjukkan bahwa setelah proses ECAP, rata-rata nilai sifat mampu bentuk aluminium mengalami peningkatan dibandingkan dengan nilai sifat mampu bentuk non-ECAP.

Kata Kunci : aluminium, ECAP, sifat mampu bentuk.

Abstract

Equal channel angular pressing (ECAP) is a process of refining the grain size, the specimen was given severe plastic deformation. This research aims to study the effect of number of passes on the *equal channel angular pressing* (ECAP) on the formability and electrical conductivity in aluminum. Aluminum rod with a diameter of 12mm and a length of 50 mm given treatment 1, 3, 5, and 7 times in the mold ECAP process with mold groove angle of 120°. Routes used are the A or no sample playback. Formability and electrical conductivity of aluminum before and after ECAP process examined and compared. The results showed that after ECAP process, the average value of aluminium formability underwent an increase compared to the value of non-ECAP formability.

Keywords : aluminum, ECAP, formability

1. PENDAHULUAN

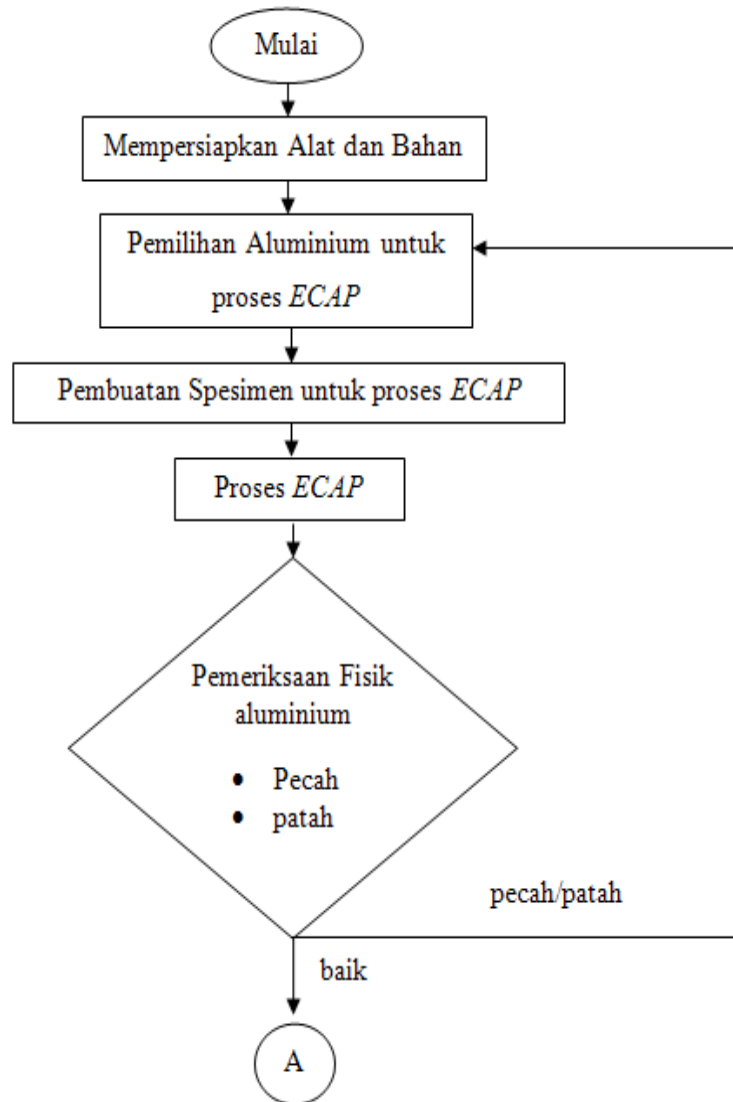
Aluminium merupakan suatu logam yang memiliki sifat lunak, tahan terhadap korosi, memiliki daya hantar panas dan listrik yang cukup baik, aluminium juga memiliki sifat kemampubentukan (*formability*) yang sangat baik. Ketersediaan aluminium ini pada kerak bumi masih sangat banyak, lebih banyak jika dibandingkan dengan besi (Fe). Aluminium murni memiliki sifat mekanik dan kekuatan yang cukup rendah, untuk meningkatkan sifat dan kekuatan dari aluminium tersebut kita tidak dapat melakukannya secara langsung dengan proses perlakuan panas (*heat treatment*) [1]. Salah satu metode yang digunakan untuk meningkatkan kekuatan dari aluminium murni adalah dengan penambahan unsur-unsur paduan kedalam aluminium. Unsur-unsur tersebut berupa mangan (Mn), tembaga (Cu), seng (Zn), magnesium (Mg), silikon (Si) dan masih banyak lagi. Kekuatan paduan aluminium tersebut masih dapat ditingkatkan lagi dengan pengerasan regangan dan perlakuan panas (*heat treatment*). Akan tetapi dengan diberi perlakuan seperti ini dapat menurunkan ketahanan korosi, kontrol kehomogenan komposisi yang sulit, harga yang menjadi relatif mahal dan peningkatan biaya daur ulang [1].

Beberapa tahun belakangan ini mulai dikembangkan metode lain untuk mendapatkan sifat mekanis yang baik tanpa harus menambahkan *microalloyed* yaitu dengan metode *severe plastic deformation* (SPD). Proses ini adalah proses pembentukan logam dimana regangan plastis yang diberikan kepada logam atau material yang diproses sehingga menghasilkan butir yang halus (*ultra fine grain*). Metode ini bertujuan untuk meningkatkan sifat mekanik material terutama hardness dan yield stress dengan merubah *coarse grain* menjadi *ultra fine grain* (UFG) pada suatu material. Dengan

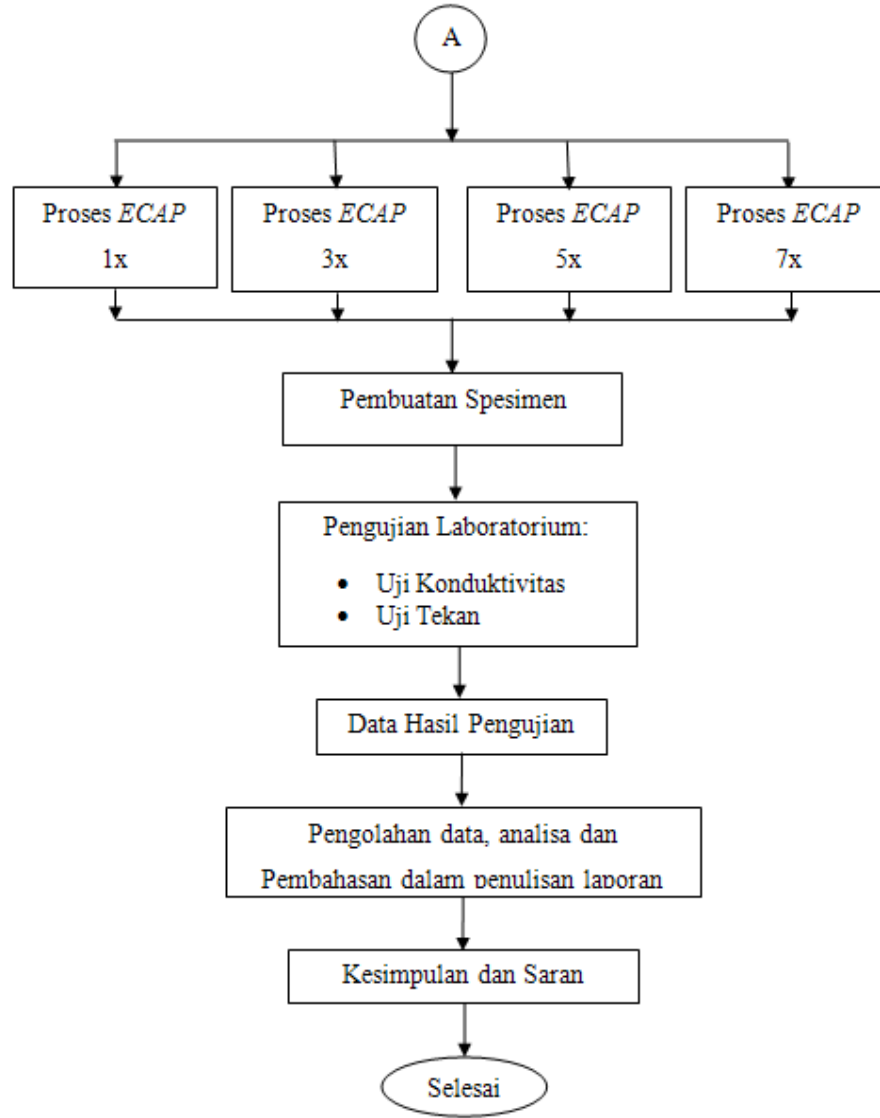
didapatkannya peningkatan sifat mekanik dari aluminium maka akan didapatkan suatu material yang ringan dengan memiliki sifat mekanik yang baik. Tujuan dari penelitian ini untuk dapat mengetahui pengaruh banyaknya proses ECAP terhadap nilai *formability* (sifat mampu bentuk).

2. MATERIAL DAN METODOLOGI PENELITIAN

Pada penelitian ini langkah-langka penelitian mengacu pada diagram alir yang ditunjukkan pada Gambar 1. Pada diagram alir ini dijelaskan mulai dari awal mempersiapkan alat dan bahan, pemilihan material, pembuatan spesimen, pengujian, sampai pada pengolahan data dan kesimpulan. Pemeriksaan pada spesimen juga dilakukan untuk mengetahui spesimen tersebut dapat diberikan proses ECAP secara terus menerus sampai pada variasi yang sudah ditentukan sebelumnya.



Gambar 1. Diagram alir penelitian



Gambar 1. Diagram alir penelitian [lanjutan]

2.1 Material

Material yang digunakan pada pengujian ini adalah aluminium. Ada 2 jenis aluminium yang digunakan pada penelitian ini. Aluminium cor dan aluminium batangan. Pada penelitian ini aluminium cor yang berasal dari laboratorium CNC seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Aluminium cor

Aluminium tersebut mengalami pecah pada saat proses ECAP dan tidak bias dilanjutkan untuk proses ECAP selanjutnya. Untuk aluminium batangan yang digunakan adalah aluminium 1350 temper 0 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3 Hasil proses ECAP pada aluminium batangan sangat baik. Maka untuk selanjutnya digunakan aluminium batangan ini untuk proses ECAP 1, 3, 5, 7 kali pengulangan.



Gambar 3. Aluminium batangan

2.2 Severe Plastic Deformation (SPD)

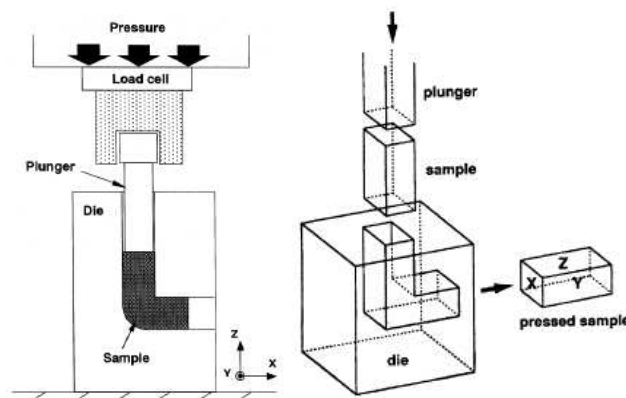
Severe Plastic Deformation adalah salah satu proses untuk memperoleh struktur kristal yang sangat halus dalam logam, yang memiliki struktur kristalografi yang berbeda. Proses *Severe Plastic Deformation* dapat didefinisikan sebagai proses-proses yang menyebabkan regangan plastis yang sangat tinggi pada logam untuk menghasilkan penghalusan butir. Jumlah tegangan plastis yang dihasilkan oleh logam klasik dalam proses operasi seringkali terbatas karena kegagalan material atau alat. Metode pembentukan tekan lebih disukai untuk menghambat terjadi nukleasi, pertumbuhan dan koalesensi yang mengarah pada rapuhan bahan. Dalam beberapa proses seperti *rolling* atau *drawing* pengurangan ukuran dari ketebalan material dapat dicapai. Namun, bentuk yang dihasilkan oleh proses cukup besar untuk digunakan dalam konversi lebih lanjut menjadi produk. Jadi proses pembentukan logam baru mampu menghasilkan deformasi plastis yang sangat besar atau menyeluruh (SPD) tanpa perubahan besar dalam geometri.

2.3 Equal Channel Angular Pressing (ECAP)

Proses Equal Channel Angular Pressing (ECAP) merupakan teknik Severe Plastic Deformation yang terbaik diantara beberapa proses SPD tersebut. Proses ini dapat memperbaiki mikrostruktur dari sebuah logam maupun paduan, yang dapat meningkatkan kekuatan dari material tersebut berdasarkan Hukum Hall-Petch, yang menyatakan bahwa semakin kecil ukuran butir maka nilai kekuatan material semakin besar. Pemilihan proses ECAP didasarkan pada alasan [2]:

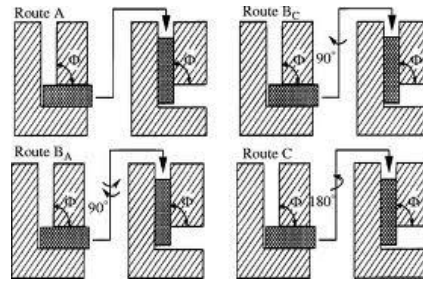
- Proses ECAP adalah proses paling efektif diantara proses SPD.
- Relatif tidak terjadi perubahan penampang melintang.
- Peningkatan kekuatan material dapat dilakukan pada temperatur rendah.
- Proses ECAP mudah terintegrasi dalam industri serta mampu menghasilkan produk dalam skala bulk atau batangan.

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 4



Gambar 4. Proses ECAP [2]

Untuk mendapatkan keseragaman butir, terdapat 4 macam rute pada proses ECAP seperti ditunjukkan pada Gambar 5. Rute tersebut merupakan perubahan arah atau sisi yang dilakukan pada proses berikutnya. Pada penelitian ini, rute yang digunakan adalah rute A, dimana tidak ada perubahan arah atau sisi pada proses yang selanjutnya.



Gambar 5. Macam-macam rute *passing* proses ECAP [3]

Beberapa kekurangan dari proses ECAP ini adalah bisa terjadinya *buckling instability* pada batang penekan, hal ini menyebabkan batang penekan menjadi bengkok. Selain itu proses ini juga dapat mengecilkan penampang pada benda kerja, pengecilan terjadi pada setiap tahapan dari proses ECAP tersebut.

2.4 Formability (Sifat Mampu Bentuk)

Formability (sifat mampu bentuk) adalah kemampuan suatu benda kerja logam yang diberi deformasi plastis tanpa mengalami kerusakan. Kapasitas deformasi plastis dari suatu bahan logam bagaimanapun tetap terbatas sampai batasan tertentu, dimana sampai pada suatu titik material tersebut dapat mengalami robek ataupun *fracture* (patah). Beberapa proses yang dipengaruhi oleh sifat mampu bentuk material adalah [4]:

- *Rolling*
- Ekstrusi
- Penempaan
- *Roofforming*
- *Stamping*
- *Hydroforming*

Pengetahuan tentang sifat mampu bentuk materi ini sangat penting untuk tata letak dan desain dari setiap proses pembentukan industri. Simulasi dengan menggunakan metode elemen hingga dan penggunaan kriteria sifat mampu bentuk seperti kurva. Dalam beberapa kasus, sangat diperlukan untuk proses desain alat tertentu. Parameter umum yang menunjukkan sifat mampu bentuk daktilitas material adalah *strain fracture* yang di tentukan oleh uji tarik uniaksial.

Bahan logam yang memiliki sifat mampu bentuk yang baik ditunjukkan dengan produk jadi yang sesuai dengan apa yang sudah dirancang dan tidak terdapat atau terjadi cacat pada produk maupun selama proses berjalan. Sifat mampu bentuk sangat dipengaruhi oleh besaran mekanik seperti [4] :

- Keuletan
- Kekuatan bahan
- Koefisien penguatan bahan
- Temperatur pengerjaan
- Tegangan alir bahan

logam yang baik akan dihasilkan dari kombinasi besaran-besaran mekanik yang cukup baik. Dalam aplikasi proses pembentukan, keuletan dan tegangan alir menentukan deformasi maksimum yang dapat dicapai oleh logam. Apabila deformasi yang diberikan lebih besar dari deformasi maksimum yang dimiliki oleh logam maka proses pembentukan harus dilakukan pada temperature yang lebih tinggi. Bahan atau logam yang lebih keras umumnya diproses pada temperature yang tinggi. Pada proses pengerjaannya dilakukan dengan pemanasan agar bahan menjadi lebih lunak. Proses pengerjaan pada temperature tinggi biasa disebut *hot working* atau proses pengerjaan panas.

2.5 Pengujian Tekan

Untuk mengetahui sifat-sifat suatu bahan/material dapat dilakukan dengan pengujian terhadap bahan tersebut. Beberapa hal yang dapat diketahui dari pengujian suatu material antara lain: sifat mekanik, sifat termal, sifat medan listrik, struktur atom, komposisi material dan lain sebagainya. Salah satu dari sekian banyak pengujian terhadap material yang sering dilakukan adalah pengujian mekanik (*Mechanical Testing*). Pengujian mekanik bertujuan untuk memperoleh sifat-sifat mekanik bahan yaitu: kekuatan, kekerasan, kekakuan, ketangguhan dan kelelahan. Bentuk dari pengujian mekanik diantaranya adalah pengujian tekan. Ada beberapa bentuk pengujian yang dapat dilakukan terhadap suatu bahan atau material yaitu pengujian mekanik (*Mechanical Testing*). Pengujian mekanik ini bertujuan untuk mengetahui sifat-sifat mekanik dari bahan atau material dalam bentuk kekerasan, kekuatan, kekakuan, ataupun ketangguhan [5].

Beberapa informasi yang didapatkan dari pengujian tekan adalah :

- Tegangan

Tegangan didefinisikan sebagai tahanan terhadap gaya-gaya luar. Ini diukur dalam bentuk gaya yang ditimbulkan per satuan luas. Dalam praktek teknik, gaya umumnya diberikan dalam pound atau newton, dan luas yang menahan dalam inch² atau mm². Akibatnya tegangan biasanya dinyatakan dalam pound/inch² yang sering disingkat psi atau Newton/mm² (Mpa). Tegangan yang dihasilkan pada keseluruhan benda tergantung dari gaya yang bekerja

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan :

- σ = Tegangan (pascal, N/m²)
- F = Beban yang diberikan (Newton, Dyne)
- A₀ = luas penampang (mm²)

- Regangan

Regangan (*strain*), e, adalah besar deformasi per satuan panjang. Regangan yang digunakan untuk kurva tegangan regangan rekayasa adalah regangan linear rata-rata, yang diperoleh dengan cara pembagian antara pertambahan panjang (ΔL) dengan panjang mula-mula.[1]

$$e = (L_u - L_0) / (L_0) \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan :

- L_u = panjang akhir (m, mm)
- L₀ = panjang mula-mula (m, mm)
- E = regangan

- Modulus Elastisitas

Modulus young menunjukkan ukuran kekakuan suatu bahan. Makin besar modulus, makin kecil regangan elastik yang dihasilkan akibat pemberian tegangan. Modulus Young adalah perbandingan antara tegangan dan regangan.[1]

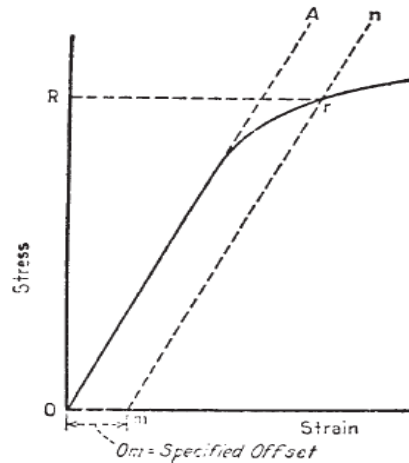
$$E = \sigma / e \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan :

- E = modulus elastisitas
- σ = tegangan (pascal, N/m²)
- e = regangan

- Yield Point

Jika beban yang bekerja pada batang uji diteruskan hingga diluar batas elastis akan terjadi perpanjangan permanen secara tiba-tiba. Ini disebut yield point atau batas luluh dimana regangan meningkat sekalipun tidak ada peningkatan tegangan. Setelah melewati titik ini, batang uji tidak akan kembali ke bentuk semula, atau batang uji sedang berada dalam daerah plastis. Gambar 6 dibawah ini menunjukkan *yield point*



Gambar 6. Diagram stress-strain untuk menentukan yield strength [1]

- *Ultimate Tensile Strength*

Tegangan nominal maksimum yang ditahan oleh batang uji sebelum patah disebut tegangan tarik maksimum yaitu merupakan perbandingan antara beban maksimum yang dicapai selama percobaan tarik dan penampang batang mula mula.

$$\sigma_u = F_m / (A_0) \dots\dots\dots(4)$$

Keterangan

σ_u = Tegangan maksimum (pascal, N/m²)

F_m = Beban maksimum (Newton, Dyne)

A_0 = luas penampang (mm²)

Alat yang digunakan pada pengujian tekan adalah *Universal Testing Machine*. Untuk dimensi spesimen yang digunakan pada pengujian tekan antara panjang dan diameternya memiliki perbandingan 2:1 atau dengan rasio L/D antara 1,5-2,0. Gambar 7 dibawah ini adalah gambar dari alat uji tekan yang digunakan.



Gambar 7. *Universal testing mechine*

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

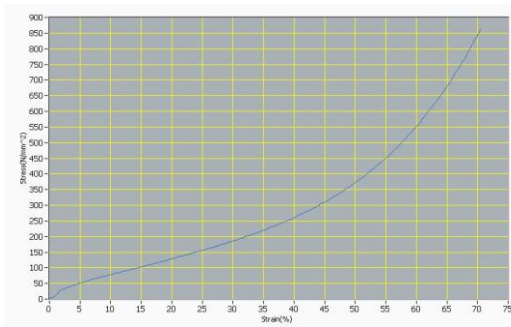
3.1 Pengujian Tekan

Pengujian ini dilakukan untuk mendapatkan nilai kekuatan dari aluminium batangan yang telah diberika perlakuan ECAP, setelah mendapatkan nilai elongation maka kita dapat mengetahui formabilitas dari aluminium tersebut semakin tinggi persen elongation maka semakin baik nilai formabilitasnya. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan *universal testing machine*.

Data yang di dapat dari pengujian tekan sebagai berikut :

- Non ECAP

Tabel 1 dibawah ini menunjukkan data hasil pengukuran dari uji tekan yang telah dilakukan, dan Gambar 8 menunjukkan grafik stress vs strain yang didapatkan dari pengujian tersebut.



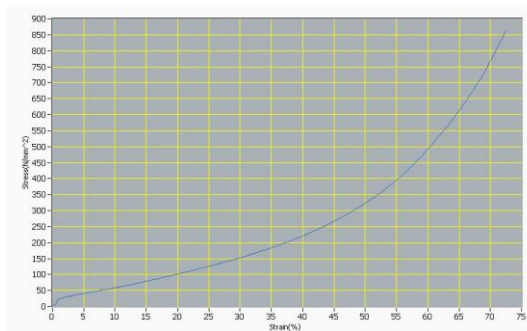
Gambar 8. Grafik stress vs strain non ECAP

Tabel 1. Data hasil pengujian non ECAP

OutDia. (mm)	GaugeLength (mm)	Force @ Peak (N)	Strength @ upper yield point (N/mm ²)	compression Strength (N/mm ²)	% EL
10.000	20.000	67756.498	862.701	862.701	14.096

- ECAP 1 kali

Data hasil pengujian tekan terhadap aluminium dengan perlakuan satu kali proses ECAP ditunjukkan pada tabel 2 dibawah ini. Untuk grafik stress vs strain ditunjukkan pada Gambar 9



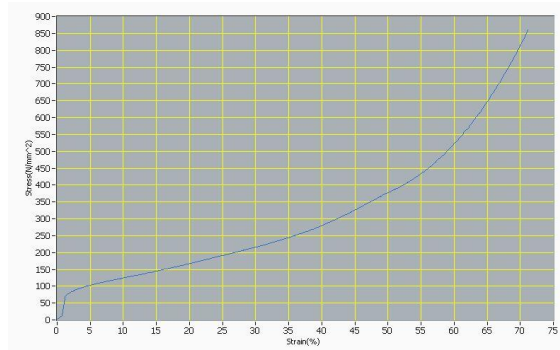
Gambar 9. Grafik stress vs strain 1 kali ECAP

Tabel 2. Data hasil pengujian 1 kali ECAP

OutDia. (mm)	GaugeLength (mm)	Force @ Peak (N)	Strength @ upper yield point (N/mm ²)	compression Strength (N/mm ²)	% EL
10.000	20.000	67671.573	861.619	861.619	14.483

- ECAP 3 kali

Tabel 3 dibawah ini menunjukkan data hasil dari pengujian tekan terhadap material dengan diberikan 3kali perlakuan ECAP, dengan grafik stress strain yang ditunjukkan oleh Gambar 10 dibawah ini.



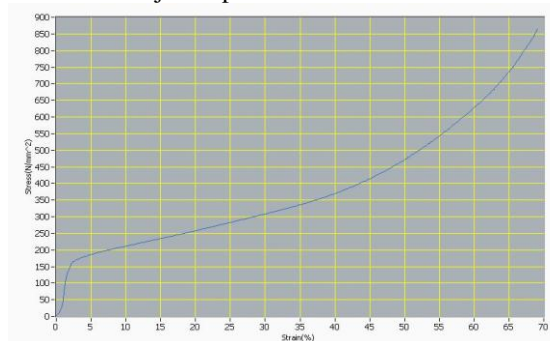
Gambar 10. Grafik stress vs strain 3 kali ECAP

Tabel 3. Data hasil pengujian 3 kali ECAP

OutDia. (mm)	GaugeLength (mm)	Force @ Peak (N)	Strength @ upper yield point (N/mm ²)	compression Strength (N/mm ²)	% EL
10.000	20.000	67599.984	860.708	860.708	14.235

- ECAP 5 kali

Tabel 4 merupakan data hasil pengukuran dari pengujian tekan pada material aluminium dengan perlakuan 5kali pengulangan. Untuk grafik stress vs strain ditunjukkan pada Gambar 11 dibawah ini.



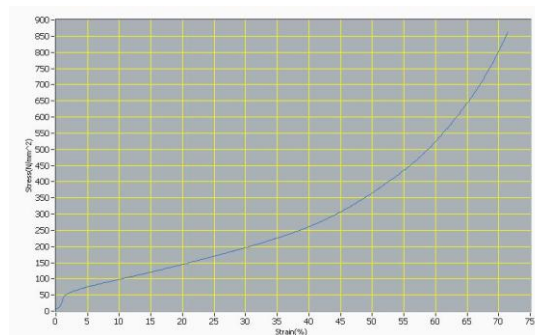
Gambar 11. Grafik stress vs strain 5 kali ECAP

Tabel 4. Data hasil pengujian 5 kali ECAP

OutDia. (mm)	GaugeLength (mm)	Force @ Peak (N)	Strength @ upper yield point (N/mm ²)	compression Strength (N/mm ²)	% EL
10.000	20.000	67654.313	861.399	861.399	14.375

- ECAP 7 kali

Tabel 5 menunjukkan data hasil hasil pengujian tekan dengan material aluminium 7kali perlakuan ECAP dan untuk grafik stress strain ditunjukkan pada Gambar 12.

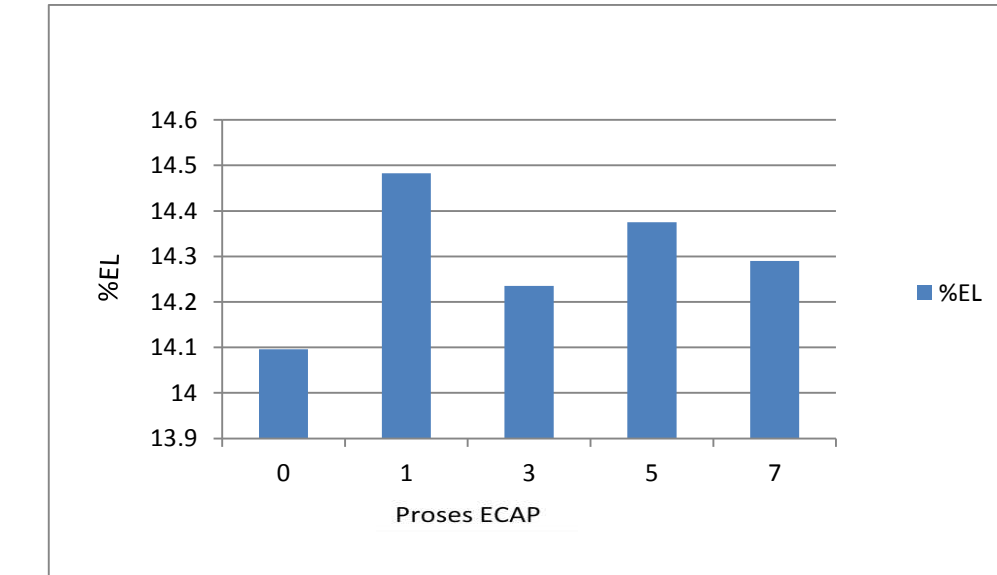


Gambar 12. Grafik stress vs strain 7 kali ECAP

Tabel 5. Data hasil pengujian 5 kali ECAP

OutDia. (mm)	GaugeLength (mm)	Force @ Peak (N)	Strength @ upper yield point (N/mm ²)	Compression Strength (N/mm ²)	% EL
10.000	20.000	67658.040	861.447	861.447	14.290

Penyusunan grafik disusun berdasarkan data-data yang telah didapatkan sebelumnya. Pada Gambar 4.13 dibawah ini grafik menunjukkan perkembangan naik dan turunnya nilai elongation dari aluminium tersebut..



Gambar 13. Grafik %EL vs jumlah ECAP

4. KESIMPULAN

- Setelah dilakukan pengujian tekan dan pengujian konduktivitas pada aluminium didapatkan data :
 Nilai % elongation pengujian tekan aluminium dengan pengulangan proses ECAP sebanyak 0, 1, 3, 5, dan 7kali sebesar 14.096%, 14.483, 14.235, 13.824, dan 14.29%.
- Dari data hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa :
 Banyaknya pengulangan proses ECAP pada aluminium berpengaruh terhadap kenaikan nilai formabilitas atau mampu bentuk. Hal ini disebabkan oleh peningkatan kekuatan dari aluminium setelah dilakukan proses ECAP.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Callister, Jr. William, D. 1994. *“Material Science and Engineering”*. 7rd edition, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- [2]. Setiawan, H. *“Pengaruh Proses Equal Channel Angular Pressing (ECAP) Terhadap Kekerasan Aluminium 1050”* ISSN : 1979-6870.
- [3]. Sklenica, Vaclav. *“Equal-Chanel Angular Pressing and Creep in Ultrafine Grained Aluminium and Its Alloys”* Chapter 1.
- [4]. <http://ardra.biz/sain-teknologi/metalurgi/besi-baja-iron-steel/pengujian-sifat-mekanik-bahan-logam/sifat-mampu-bentuk-bahan-logam-formability/>, diakses pada february 2014.
- [5]. Lawrence, H V V. 1995. *“Ilmu dan Teknologi Bahan”*.