

Pengaruh Penurunan Ukuran Void Melalui Proses Pemampatan Buntu terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Aluminium Murni Komersil

Gunawarman

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Andalas
Kampus Limau Manis, Padang 25163
E-mail : gunawarman@ft.unand.ac.id

Abstrak

Salah satu metoda penguat logam yang secara luas dikembangkan saat ini adalah metoda deformasi plastis menyeluruh (*severe plastic deformation, SPD*) yaitu pemberian deformed plastis yang tinggi sehingga menghasilkan material dengan ukuran butir yang sangat halus (*ultrafine grain*). Proses ECAP (*equal channel angular pressure*) merupakan salah proses yang menggunakan prinsip *SPD* yang terbukti dapat meningkatkan kekuatan logam secara signifikan. Pada proses ECAP material dipaksa melewati alur cetakan berbentuk huruf L.. Selain dari penghalusan butir, selama proses ECAP terjadi perubahan ukuran void (*porositas*) dari material uji. Akan tetapi, sejauh ini belum diketahui dengan persis kontribusi pengurangan volume void ini terhadap penguatannya tersebut. Karena itu penelitian tentang pengaruh volume void terhadap kekuatan perlu dilakukan. Salah satu proses yang dapat menghasilkan variasi ukuran void adalah pemampatan buntu pada berbagai pembebanan. Dengan memvariasikan tingkat pembebanan dari 0 sampai dengan 11000 kgf menggunakan mesin pres diperoleh pemampatan atau pengecilan volume sampel yang sekaligus juga mengecilkan volume void yang terdapat dalam material uji yang dalam hal ini dipilih Alumunium murni komersil. Pengujian tarik dan pemeriksaan struktur mikro kemudian dilakukan terhadap sampel yang dimampatkan untuk mengetahui terutama kekuatan tarik dan fraksi volume void dalam sampel.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin besar pembebanan yang diberikan jumlah void semakin kecil, yaitu 2.16, 1.40, 0.72, 0.35% untuk masing-masing pembebanan 0, 5500, 7500, 11000 kgf. Korelasi antara kekuatan dan ukuran void menunjukkan bahwa pengurangan void tidak signifikan meningkatkan kekuatan sampel Al, terutama bila dibandingkan dengan proses ECAP. Peningkatan hanya sekitar 2.5 % dari kekuatan awal. Disamping itu tidak ada perubahan struktur mikro seperti ukuran butir yang dihasilkan oleh proses pemampatan buntu Berdasarkan penelitian ini disimpulkan bahwa penurunan jumlah void hampir tidak mempengaruhi kekuatan loga..

Kata kunci: Void, Aluminium, Sifat Mekanik, ECAP, Kekuatan, StrukturMikro

Pendahuluan

Kemajuan industri telah memicu penggunaan logam dalam jumlah yang sangat besar. Hal ini menyebabkan kenaikan harga logam secara drastis, karena tingginya permintaan dibandingkan dengan persediaan. Pemakaian logam secara berlebihan menyebabkan persediaannya di alam terus menurun, karena logam termasuk bahan tambang yang tidak bisa diperbaharui. Oleh karena itu, perlu dilakukan penghematan, yang salah satu caranya adalah dengan meningkatkan kekuatan material sehingga volume penggunaannya dapat lebih ditekan.

Berbagai usaha telah dilakukan peneliti untuk meningkatkan kekuatan logam. Metoda terbaru yang banyak diteliti belakangan ini adalah penguat logam melalui pemberian deformed plastis menyeluruh (*severe plastic deformation*). Metoda deformed plastis menyeluruh yang paling menjanjikan untuk diterapkan di dunia industri adalah proses equal channel angular pressing (ECAP). Deformasi yang besar diperoleh dengan memaksa material melewati alur (lorong) cetakan berbentuk huruf L. Proses ini dapat menghasilkan peningkatan kekuatan mencapai 200% sebagai akibat pembentukan butir (grain) yang halus dengan orde sub-mikrometer dan bahkan nanometer [1-7].

Namun demikian sejauh ini penelitian tentang ECAP hanya difokuskan pada pengaruh penghalusan butir terhadap sifat mekanik, tanpa menyelidiki pengaruh penurunan ukuran void (*porositas*) yang menyertai proses ECAP [3]. Padahal, keberadaan void juga berpengaruh terhadap sifat mekanik material, terutama pada logam Al, yang dikenal memiliki banyak void dan inklusi. Sebuah penelitian tersendiri untuk mengetahui kontribusi void terhadap kekuatan material utuh perlu dilakukan. Oleh sebab itu, penulis mencoba melakukan penelitian dengan topik *pengaruh penurunan*

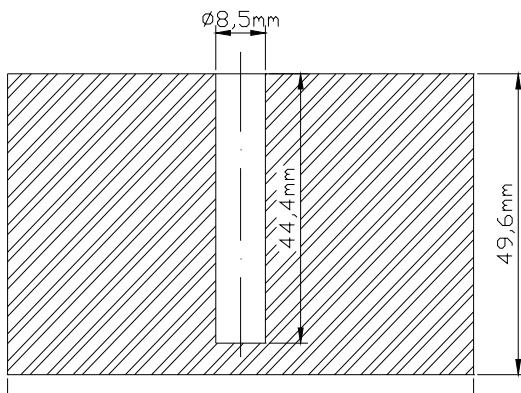
ukuran void melalui proses pemampatan buntu terhadap kekuatan aluminium murni komersil. Lebih rinci, penelitian ini menyelidiki; (1) pengaruh pembebanan pemampatan buntu terhadap massa jenis (densitas) sampel, (2) mengetahui pengaruh pembebanan terhadap kekuatan dan kekerasan, dan (3) mengetahui korelasi penurunan jumlah void terhadap peningkatan sifat mekanik material (terutama kekuatan). Untuk lebih memudahkan penyelidikan, maka penelitian ini dibatasi oleh beberapa hal, seperti: (1) material uji adalah Aluminium murni yang terdapat di pasaran, pengujian adalah pada temperatur kamar, spesimen uji berbentuk silinder, dan rentang pembebanan ditetapkan maksimum 1000 kgf, sesuai dengan kemampuan mesin press.

Bahan dan Metodologi Penelitian

Penelitian ini dimulai dengan pembuatan cetakan untuk proses pemampatan buntu dan pembuatan sampel uji Aluminium murni komersil. Sampel uji dibagi dua kelompok yaitu sampel uji awal (as received) dan sampel uji pemampatan buntu (as proceed). Sampel uji kemudian dibentuk menjadi beberapa spesimen uji tarik, uji keras dan metalografi. Setelah itu dilakukan pengukuran volume dan densitas sampel. Struktur mikro untuk melihat void dan butir menggunakan mikroskop optik dan SEM. Terakhir dilakukan pengujian mekanik yakni uji tarik dan kekerasan.

Pembuatan Cetakan

Cetakan (die) proses pemampatan buntu dibuat berbentuk silinder dari baja ASSAB 760 dengan panjang cetakan 49,6 mm. Sebuah lubang tirus dengan diameter luar 80 mm dan diameter



Gambar 1. Geometri cetakan pemampatan buntu

dalam 8,5 mm dibuat dengan proses pemesinan (Gambar 1). Cetakan dilengkapi dengan penekan (plunger) berdiameter 8,5 mm dan panjang 79 mm terbuat dari material yang sama dengan cetakan. Penekan ini dikeraskan dengan cara dipanaskan sampai suhu 950°C selama 4 jam kemudian ditahan selama 30 menit dan terakhir dicelup cepat pada media air.

Pembuatan Sampel Uji

Material yang digunakan dalam pengujian pemampatan buntu ini adalah Aluminium batangan yang umum dijual di pasaran. Pemeriksaan komposisi kimia dengan EDAX menunjukkan bahwa komposisi kimia bahan adalah 98,35% Al dan 1,65 % Mg. Sampel uji proses pemampatan buntu berdiameter 8,5 mm dan panjang 44,2 mm. Jumlah sampel yang disiapkan adalah 4 buah dimana 3 untuk pemampatan buntu dan yang 1 sebagai spesimen tanpa perlakuan (as-received).

Proses Pemampatan Buntu

Pemampatan buntu adalah suatu bentuk proses pemasukan material ke dalam rongga buntu. Proses pemampatan buntu pada pengujian ini dilakukan dengan memanfaatkan tekanan mesin uji

jenis *universal testing machine*. Langkah awal pengujian adalah mempersiapkan segala kelengkapan seperti *plunger*, cetakan, dan spesimen. Kemudian sebelum pemampatan dilakukan spesimen maupun *plunger* diberi pelumas. Setelah itu spesimen dimasukkan kedalam cetakan dan *plunger* ditekan dengan beban bervariasi yaitu mulai dari 5500 kgf, 7500 kgf dan 11000 kgf. Untuk lebih jelasnya tentang proses pemampatan buntu ini dapat dilihat pada Gambar 2.

Pengukuran Densitas

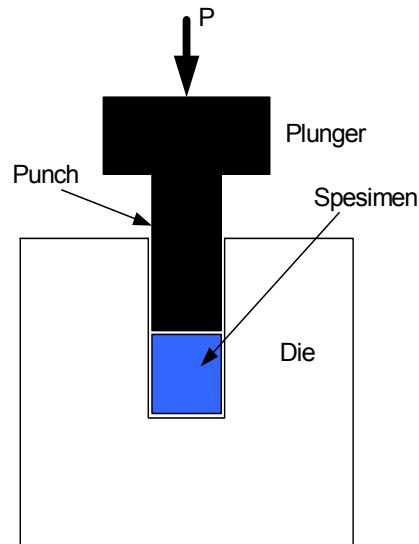
Sebelum dan setelah proses pemampatan buntu, dilakukan pengukuran volume sampel dengan gelas ukur. Volume sampel adalah pertambahan volume air dalam gelas setelah sampel dimasukkan ke dalam gelas.

Pengamatan Void dengan Mikroskop Optik.

Pengamatan void ini dilakukan pada spesimen as received dan spesimen setelah pemampatan buntu (as proceed). Void diamati dengan mikroskop optik dan SEM pada spesimen metalografi tanpa dietsa.

Pengujian Tarik

Pengujian tarik yang dilakukan pada penelitian ini bertujuan terutama untuk mengetahui kekuatan aluminium sebelum dan sesudah proses pemampatan buntu. Pengujian tarik dilakukan dengan *Com-Ten testing machine* dengan kecepatan 5 mm/menit. Spesimen uji tarik adalah tipe bulat (round type) dengan diameter uji 4 mm dan panjang uji 16 mm.



Gambar 2 Skematik Proses Pemampatan Buntu

HASIL DAN PEMBAHASAN

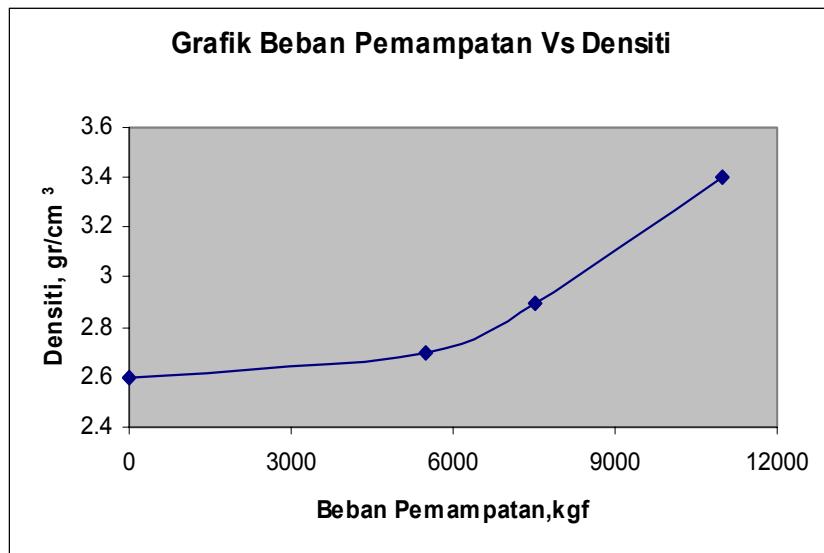
Pengaruh Pembebanan terhadap Volume dan Densitas Sampel

Pengaruh proses pemampatan buntu terhadap volume dan densitas tiap sampel diperlihatkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Pengaruh pembebanan terhadap volume dan densitas Sampel

Spesimen Uji	V ₁ (ml)	V ₂ (ml)	ΔV	m (gr)	Densitas (gr/cm ³)
As-received	5	7,5	2,5	6,55	2.6
5500 kgf	5	7,4	2,4	6,55	2.7
7500 kgf	5	7,2	2,2	6,55	2.9
11000 kgf	5	6,9	1,9	6,55	3.4

Dari Tabel 1 terlihat bahwa proses pemampatan buntu menyebabkan pengecilan volume sampel, dimana semakin besar pembebanan maka volumenya akan semakin berkurang. Selanjutnya penurunan volume meningkatkan densitas sampel karena massa sampel tetap. Lebih jelas, hubungan antara besar pembebanan terhadap densitas diperlihatkan pada Gambar 3. Pada Gambar terlihat bahwa kenaikan secara signifikan terjadi pada pembebanan 7500 kgf sampai 11000 kgf. Berdasarkan pengamatan, hal ini terjadi karena deformasi lebih seragam pada beban tinggi, sehingga sampel mengalami perubahan volume lebih merata.



Gambar 3 Kurva Hubungan Pembelahan terhadap Densitas

Pengaruh Pembelahan Terhadap Ukuran Void

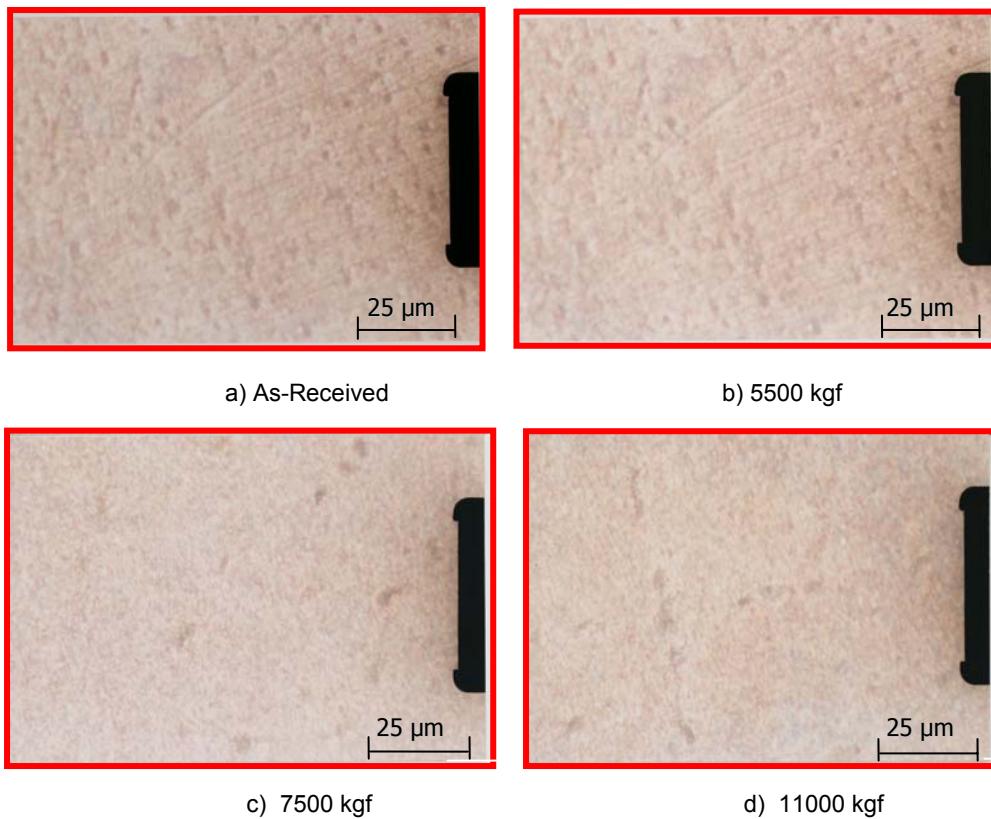
Pengamatan void (porositas) dilakukan pada foto struktur mikro bahan seperti tampak pada Gambar 4. Void adalah bagian yang relatif gelap pada foto. Terlihat bahwa ukuran void berkurang seiring dengan meningkatnya pembelahan yang diberikan. Kuantitas void untuk tiap pembelahan ditampilkan pada Tabel 2. Pada spesimen *as received* atau tanpa beban jumlah void adalah 2.16%, dan seiring dengan penambahan beban menjadi 1.40% pada 5500 kgf, 0.72% untuk pembelahan 7500 kgf, dan 0.35% untuk beban 11000 kgf. Penurunan ini disebabkan oleh terisinya void oleh material ketika proses pemampatan.

Tabel 2 Hasil Perhitungan Fraksi Luas Void

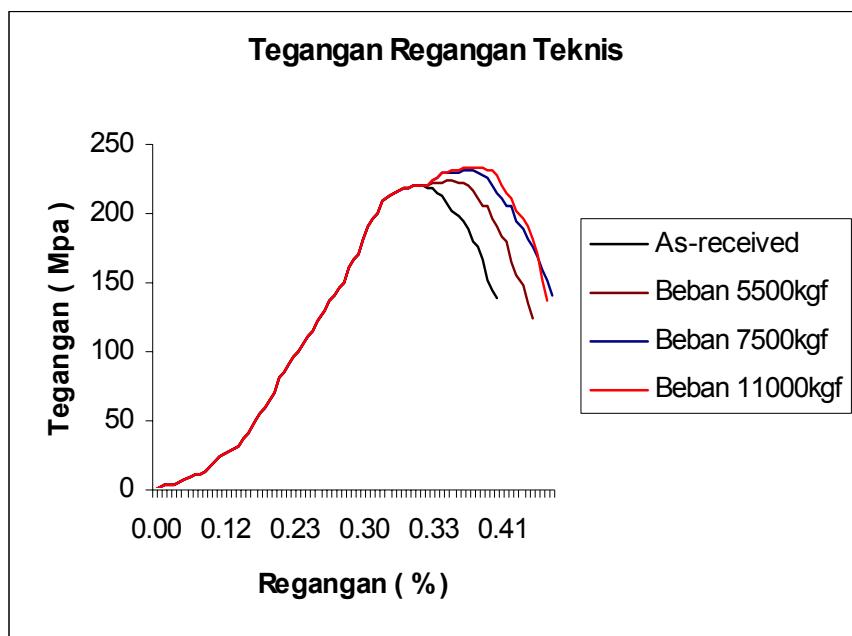
Spesimen	Fraksi Luas Void / Luas Total (%)
As received	2,16
5500 kgf	1,4
7500 kgf	0,72
11000 kgf	0,35

Pengaruh Pembelahan terhadap Sifat Mekanik

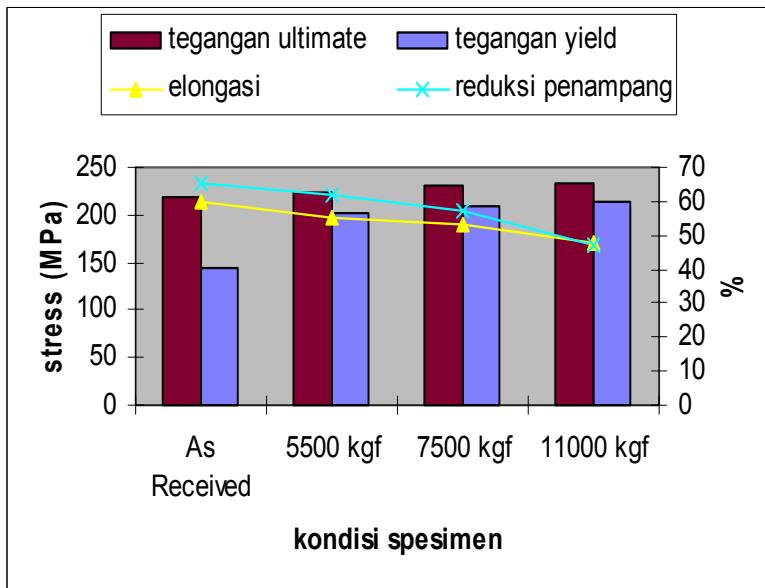
Bentuk kurva uji tarik spesimen uji tarik untuk tiap kondisi pembelahan diperlihatkan pada Gambar 5. Terlihat bahwa kekuatan Al setelah dilakukan proses pemampatan buntu meningkat dengan seiring dengan peningkatan beban. Tetapi peningkatan kekuatan tidak terlalu signifikan yakni hanya sekitar 3-5 MPa. Lebih jelas perbandingan sifat tarik yakni tegangan luluh, tegangan tarik (ultimate), elongation dan reduksi penampang sebagai fungsi pembelahan pada proses pemampatan buntu diperlihatkan pada Gambar 6. Pada Gambar terlihat bahwa kekuatan luluh dan tarik meningkat seiring dengan penambahan beban. Sementara itu elongasi dan reduksi penampang menurun dengan bertambahnya pembelahan. Hal ini sudah umum dalam proses penggeraan dingin logam dimana kekuatan meningkat maka keuletan bahan akan menurun.



Gambar 4 Bentuk Void Setelah Pemampatan Buntu (a) Tanpa beban (kondisi as-received) (b) Beban 5500 kgf
(c) Beban 7500 kgf (d) Beban 11000 kgf.



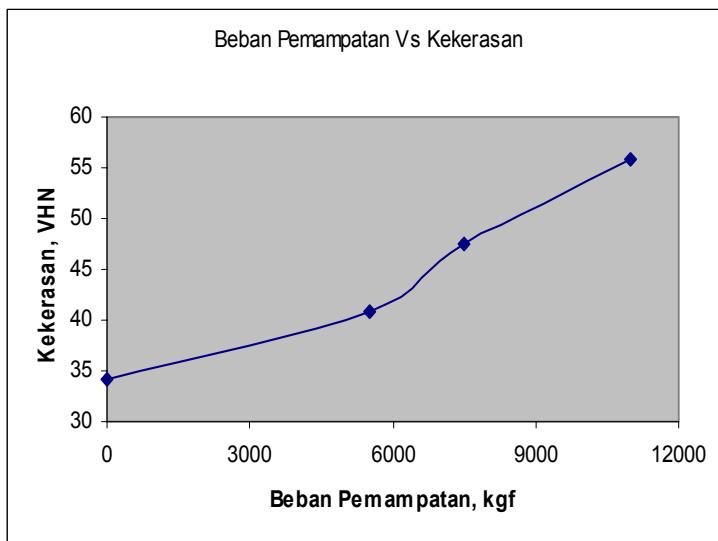
Gambar 5 Kurva Tegangan Regangan Teknis



Gambar 6 Kurva Perbandingan Tegangan Luluh, Tegangan Tarik, Elongation dan Reduksi Penampang pada Proses Pemampatan Buntu dengan Beberapa Tingkat Pembebanan

Pengaruh Pembebanan Terhadap Kekerasan

Pengaruh besar pembebanan pada proses pemampatan buntuk terhadap kekerasan material diperlihatkan pada Gambar 7. Terlihat jelas bahwa harga kekerasan meningkat dengan peningkatan pembebanan. Ini tentu berhubungan dengan terjadinya pengurangan ukuran void, dimana posibilitas indentor mengenai void pada sampel semakin kecil dengan semakin termampatnya sampel.



Gambar 7 Hubungan Pembebanan terhadap Kekerasan Aluminium

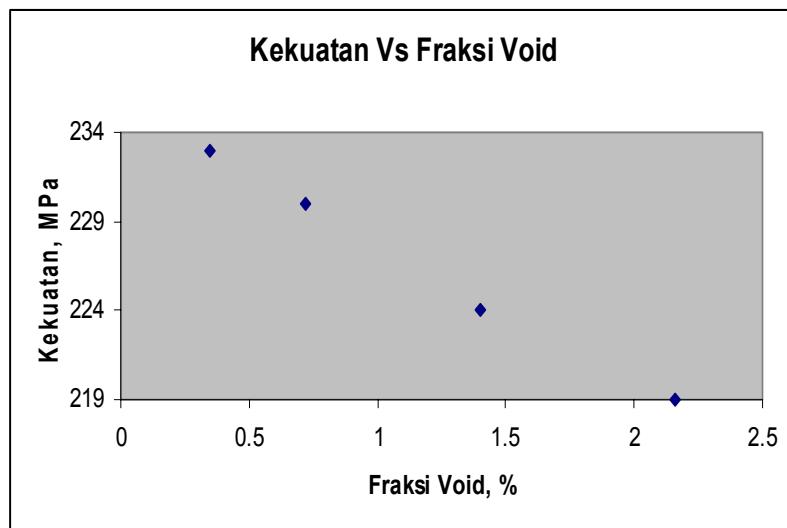
Pengaruh Pembebanan Terhadap Struktur Mikro

Pengamatan struktur mikro sampel di bawah mikroskop optik menunjukkan bahwa tidak terjadi perubahan bentuk dan ukuran butir akibat pemampatan buntu. Ini terjadi karena selama proses tidak timbul geseran pada butir atau batas butir. Geseran ini tidak terjadi karena tegangan yang bekerja bersifat hidrostatik sehingga yang terjadi hanya tekanan terhadap sampel. Lain halnya dengan

proses ECAP dimana akibat regangan plastis yang berulang-ulang diberikan dan adanya sudut cetakan menimbulkan geseran pada butir sehingga butir pecah. Seiring dengan penambahan laluan butir menjadi halus dan bentuknya berubah dari equiaksial menjadi memanjang (elongated) [5]. Akibat penghalusan butir maka terjadi peningkatan kekuatan sesuai dengan rumusan Hall-Petch. Jadi dapat disimpulkan bahwa pemampatan buntu hanya menyebabkan perubahan pada void bukan pada butir, sedangkan ECAP disamping perubahan butir juga terjadi pengurangan ukuran dan jumlah void seiring dengan penambahan laluan.

Hubungan Fraksi Void dan Kekuatan Tarik

Korelasi antara jumlah void dan kekuatan tarik bahan diperlihatkan pada Gambar 8. Terlihat jelas pada kurva ini bahwa kekuatan berbanding terbalik dengan jumlah void. Kekuatan menurun dengan peningkatan jumlah void, atau kekuatan menurun dengan meningkatnya jumlah void. Namun begitu, peningkatan kekuatan yang terjadi tidak signifikan. Dengan penurunan jumlah void yang cukup besar yakni dari sekitar 2% menjadi sekitar 0.4% (atau berkurang sekitar 80%) hanya menghasilkan peningkatan kekuatan sekitar 5 MPa (atau hanya sekitar 2.5% dari kekuatan awal bahan). Hal ini menunjukkan dengan jelas bahwa penurunan jumlah void pada proses pemampatan buntu ini tidak meningkatkan kekuatan bahan secara signifikan. Sebagai perbandingan, pada proses ECAP, dengan tingkat pembebanan dan deformasi yang sama dapat meningkatkan kekuatan lebih dari 200% [6,7]. Peningkatan ini terjadi terutama akibat penghalusan butir. Dengan demikian, berdasarkan penelitian ini, disimpulkan bahwa penurunan void tidak terlalu berpengaruh terhadap kekuatan. Penurunan void pada proses ECAP, dengan demikian, tidak juga berpengaruh signifikan terhadap peningkatan kekuatan pada proses ECAP.



Gambar 8 Korelasi antara Kekuatan dan Fraksi Void

KESIMPULAN

Proses pemampatan buntu dengan variasi pembebanan dari 0 (tanpa beban) sampai dengan 11000 kgf untuk melihat pengaruh penurunan ukuran void terhadap kekuatan Al murni komersil telah dilakukan. Beberapa kesimpulan yang dapat ditarik adalah sbb :

1. Massa jenis (densitas) material meningkat dengan meningkatnya beban. Peningkatan densitas untuk tiap pembebanan dari kondisi awal (as-received) 2.6 g/cm³ adalah 2.7 g/cm³, 2.9 g/cm³ dan 3.4 g/cm³ untuk beban masing-masing 5500 kgf, 7500 kgf dan 11000 kgf.

2. Proses pemampatan menurunkan jumlah (fraksi) void yang terdapat spesimen. Pengurangan fraksi void pada tiap pembebanan dari kondisi as-received 2.16 % adalah 1.4 %, 0.72 % dan 0.35 % untuk masing-masing beban 5500 kgf, 7500 kgf, dan 11000 kgf.
3. Pemampatan meningkatkan sedikit kekuatan tarik sampel. Peningkatan kekuatan masing-masing pembebanan dari kondisi as-received 219 MPa adalah 224, 230 dan 233 MPa untuk beban 5500 kgf, 7500 kgf dan 11000 kgf.
4. Seperti halnya kekuatan, proses pemampatan juga meningkatkan kekerasan. Peningkatan kekerasan masing-masing pembebanan dari kondisi as-received 34 VHN adalah 41, 47 dan 60 VHN untuk beban 5500 kgf, 7500 kgf dan 11000 kgf.
5. Proses pemampatan tidak mengubah struktur mikro sampel.
6. Penurunan jumlah void tidak meningkatkan secara signifikan kekuatan Al komersil.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih banyak kepada Direktorat Pembinaan Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (DP2M), Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi (DIKTI) yang telah membiayai penelitian ini melalui Hibah Penelitian Hibah Bersaing dengan nomor kontrak 023/SP2H/PP/DP2M/III/2007 tanggal 29 Maret 2007. Terima kasih kepada sdr Adia Putra dan Ausil Maksudina yang telah membantu pelaksanaan penelitian. Terima kasih juga kepada Prof. Mitsuo Niinomi dari Institute of Metal Research (IMR), Sendai, dan Prof. Hiroyuki Toda dari Toyohashi University of Technology, Jepang yang memberikan advokasi dan bantuan teknis.

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 Zehedbauwer, M, Valiev, R. Z. Wiley-Vch, Weinheim, 2004
- [3] Aibin Ma, K. Suzuki, N. Saito, Y. Nishida, M. Takagi, I. Sigematsu, H. Iwata, *Impact Toughness of an Ingot Hypereutectic Al-23 Mass% Si Alloy Improved by rotary-Die Equal-Channel Angular Pressing*, Material Science and Engineering A 399 (2005) 181- 189.
- [4] Hyunjo Jeong, *Estimation of creep voids using a progressive damage model and neural network*, Division of Mechanical Engineering, Wonkwang University, 344-2 Shinyong-dong, Jeonbuk 570-749, South Korea
- [5] Joni Syafutra Utama, *Pengaruh Rute Equal Channel Pressing (ECAP) terhadap Kekuatan, Kekerasan, dan Strukturmikro Aluminium Komersil*, Skripsi, Jurusan Teknik Mesin. Universitas Andalas, 2005,
- [6] S.J. Oh, S.B. Kang *Process Modeling of Equal Channel Angular Pressing*, Nanomaterials by Severe Plastic Deformation, Edited by Zehedbauwer, M, Valiev, R. Z. Wiley-Vch, Weinheim, 2004
- [7] Ilhamdi, *Pengaruh Jumlah Laluan pada proses Equal Channel Pressing (ECAP) terhadap Kekuatan, Kekerasan, dan Strukturmikro Aluminium Komersil*, Skripsi, Jurusan Teknik Mesin. Universitas Andalas, 2005.
- [8] Gunawarman dan Ilhamdi, *Pengaruh Jumlah Laluan pada Proses ECAP terhadap Sifat Mekanik Dan Struktur Mikro Aluminium Komersil*, Proseding SNTTM V, Kampus UI Depok, 21-23 November 2006.