

PENGARUH PENAMBAHAN MAGNESIUM TERHADAP DENSITAS, KEKERASAN (*HARDNESS*) DAN KEKUATAN TEKAN ALUMINIUM FOAM MENGGUNAKAN CaCO_3 SEBAGAI *BLOWING AGENT*

Wicahya Indra Agustian¹, Ikhwansyah Isranuri², Suprianto³

¹Mahasiswa Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara
Jl. Almamater Kampus USU Medan

^{2,3}Staf Pengajar Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas
Sumatera Utara

Jl. Almamater Kampus USU Medan

Email : suprianto.t@gmail.com

ABSTRAK

Produksi aluminium foam dengan menggunakan kalsium karbonat sebagai *blowing agent* melalui metode *melt based process* menjanjikan pembuatan aluminium dengan skala besar yang murah. Kalsium karbonat sangat berpotensi untuk menggantikan titanium hidrida karena terbukti memiliki kesesuaian, karakteristik deformasi tekan dari aluminium foam dengan magnesium sebagai *alloying agent* dijelaskan dalam konteks sebagai material peredam impact. Penelitian ini bertujuan untuk meneliti bagaimana magnesium yang terkandung pada paduan *aluminium foam* yang menggunakan *blowing agent* CaCO_3 mempengaruhi kekuatan mekanik dan sifat fisis, menggunakan beberapa variasi kadar Mg. Dari hasil pengujian diketahui gaya tekan untuk aluminium dengan 4% Mg, 6% dan 8% adalah 38.95 MPa, 45.19 MPa dan 50.82 MPa. Sedangkan densitas untuk setiap komposisi adalah 2.62 gr/cm^3 , 1.94 gr/cm^3 and 3.44 gr/cm^3 . Dari produk yang dihasilkan diketahui bahwa aluminium dengan kadar Mg 4% memiliki sel yang lebih baik apabila dibandingkan dengan aluminium dengan kadar Mg 6% dan 8%.

Kata Kunci : Al-Mg foam, CaCO_3 , densitas, Kekerasan

1. Pendahuluan

Aluminium merupakan logam ringan yang mempunyai ketahanan korosi yang baik dan hantaran listrik yang baik. Penggunaan aluminium di dunia permesinan dan industri untuk menunjang proses fabrikasi telah banyak diterapkan oleh berbagai perusahaan material. Aluminium digunakan dalam bidang yang luas, bukan hanya untuk peralatan rumah tangga tapi juga dipakai untuk keperluan material pesawat terbang, mobil, kapal laut dan konstruksi-konstruksi yang lain. Untuk mendapatkan peningkatan kekuatan mekanik, biasanya logam aluminium dipadukan dengan unsur Cu, Si, Mg, Ti, Mn, Cr, Ni, dan sebagainya.

Aluminium foam hasil rekayasa material yang menjanjikan karena di samping ringan ($1/5$ kali berat aluminium padat), memiliki kekuatan (*strength*) dan kekakuan (*stiffness*) yang tinggi, karakteristik khusus dari material ini adalah mempunyai kemampuan menyerap energi (*dump energy*) yang tinggi dari berbagai arah pembebanan. Secara umum, karakteristik *aluminium foam* adalah sebagai berikut :

1. Memiliki kombinasi antara nilai density yang rendah dengan kestabilan proses yang tinggi. Densitas *aluminium foam* didefinisikan sebagai fraksi berat dari aluminium foam terhadap aluminium pejal ketika mengisi volume yang sama. Densitas

- aluminium foam* sekitar $\frac{1}{5}$ dari aluminium padat [1].
2. Kekakuan yang tinggi pada berat jenis yang rendah (*high strength* 10 MPa, *stiffness* 1 GPa)
 3. Penyerapan energi impak yang tinggi, tanpa menghiraukan arah datangnya impak
 4. Insulasi panas yang baik
 5. Efisiensi yang tinggi dalam menyerap suara
 6. Ketahanan terhadap panas dan tidak mudah terbakar
 7. Dapat didaur ulang sepenuhnya

Pembuatan aluminium busa (*aluminium foam*) dapat dilakukan dengan banyak cara. Injeksi gas Argon pada temperatur 630-680°C ke dalam aluminium cair dengan penambahan serbuk alumina sebagai penstabil hasil dari pengamatan struktur memperlihatkan *Aluminium foam* memiliki pori relatif bulat yang tersebar didalam logam dengan densitas sebesar 1,98 gr/cm³ [2]. Selain cara tersebut diatas *Aluminium foam* yang diproduksi dengan mencairkan serbuk yang mengandung *blowing agent* biasanya hasilnya kurang seragam sehingga sifat mekanisnya kurang baik, penggunaan *blow agent* dengan menggunakan TiH₂ sebagai perlakuan awal bisa diperoleh hasil yang lebih baik [3]. Penggunaan TiH₂ dapat dilakukan dengan metode ALPORAS dimana cara ini menghasilkan type *cell aluminium foam*, dengan produksi menggunakan batch casting dimana Al dicampur bersama Ca dan dihembuskan kedalamnya TiH₂. Densitas umumnya berkisar 0.18±0.24 g/cm³ dan diameter cell 4.5 mm. Material jenis ini akan memiliki kemampuan penyerapan suara yang sangat baik [4].

Penelitian ini bertujuan untuk membuat *aluminium foam* dengan CaCO₃ sebagai *blowing agent* serta mengamati pengaruh kadar magnesium terhadap kekuatan dan sifat mekanik nya.

2. Metode Penelitian

Bahan yang digunakan untuk proses pembuatan aluminium foam pada eksperimen ini terdiri dari paduan aluminium magnesium, CaCO₃ light buatan taiwan, dan aluminium serbuk produk Merck. Pencampuran CaCO₃ dengan serbuk aluminium menggunakan metode *dry powder mixing* via difusi. *Dry powder mixing* menggunakan alat *drum mixer* yang diputar dengan bantuan mesin bubut (*turning machine*) dengan rotasi rata-rata sebesar 125 rpm, selama 30 menit. Sebelum melakukan pembuatan aluminium foam, maka terlebih dahulu aluminium dan magnesium dilebur untuk mendapatkan produk alloy Al-Mg [5], pembuatan aluminium foam yang dilakukan menggunakan proses *direct foaming*, dengan menggunakan *blowing agent*. proses akan dimulai dengan peleburan hingga aluminium menjadi cair, pengukuran temperatur, penuangan campuran *blowing agent*, pengadukan, proses *foaming*, lalu pelepasan produk aluminium foam dari *crucible*.

Pengujian densitas dilakukan dengan menggunakan prinsip Archimedes. Densitas merupakan pengukuran massa suatu benda per unit volume dengan satuan gram/cm³. Standar pengujian yang digunakan adalah ASTM 373-88. Nilai densitas aluminium foam dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan.

$$\rho_{Al\ foam} = \left(\frac{m_s}{m_b - (m_g - m_k)} \right) \times \rho_{air}$$

Dimana :

$\rho_{Al\ foam}$ = densitas (massa jenis) aluminium pfoam (gr/cm³)

ρ_{air} = densitas (massa jenis) air (1 gr/cm³)

m_s = massa sampel kering (gr)

m_b = massa sample setelah direndam (gr)

m_k = massa penggantung (gr)

m_g = massa sampel dalam air (gr)

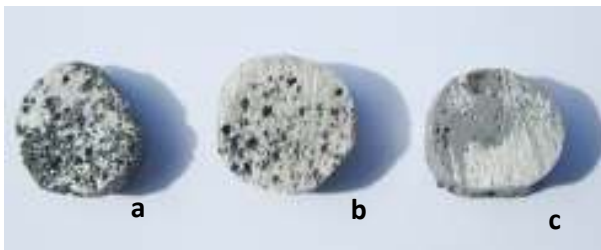
Pengujian kuat tekan yang dilakukan pada penelitian ini mengacu

pada standar ASTM E9-89a, dimana bentuk spesimen yang digunakan berbentuk silinder dengan diameter ± 3 cm dan ketebalan ± 1 cm.

3. Hasil dan Pembahasan

Analisa Proses Foaming Produk Aluminium Magnesium Foam Dengan Blowing Agent CaCO₃

Hasil penelitian ini memperlihatkan bahwa kalsium karbonat dapat digunakan sebagai blowing agent untuk membuat aluminium foam dari bahan Al-Mg (gambar 1).



Gambar 1. Produk Aluminium foam (a. 4 % Mg ; b.6 % Mg ; c. 8 % Mg)

Gambar 1 memperlihatkan produk dengan kadar magnesium 4 % memiliki pori yang tersebar merata, berbeda dengan specimen b dan c yang memiliki pori tidak merata dan hanya tampak pada beberapa bagian sementara masih terdapat bagian yang tidak memiliki pori. Dalam penelitian ini persentase kadar kalsium karbonat sebagai blowing agent sebesar 3% dari berat aluminium alloy. Nilai ini merupakan nilai optimal untuk campuran *blowing agent* yang pernah diteliti [6]. Penambahan magnesium pada campuran aluminium juga mempengaruhi titik lebur, dalam hal ini, temperatur juga sangat mempengaruhi pendispersian kalsium karbonat terhadap aluminium cair.

Analisa Kadar Mg pada Aluminium Foam Terhadap Densitas Produk

Pengujian densitas (*bulk density*) terdiri dari tiga buah sampel, diamati dan diukur dengan menggunakan prinsip Archimedes dengan menggunakan neraca dan mengacu pada standar ASTM 373-88.

Pada proses awal dilakukan penimbangan massa benda di udara (massa sample kering) seperti penimbangan biasa sedangkan berikutnya adalah penimbangan massa benda di dalam air. Dari hasil pengujian maka diperoleh data seperti pada tabel 1.

Tabel 1 : Data hasil pengujian densitas

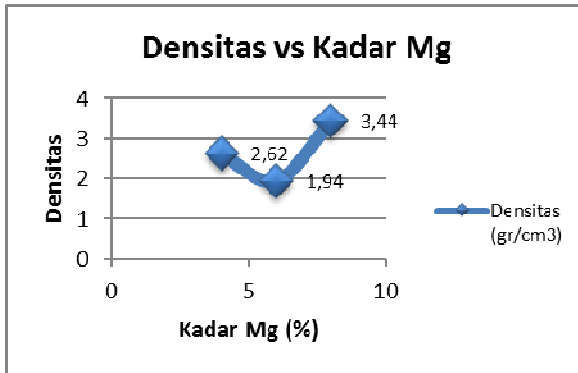
No.	Massa Kering (m _s) (gr)	Massa setelah di rendam (m _b) (gr)	Massa digantung (m _g) (gr)	Massa tali penggantung (m _k) (gr)
1	190	200	130	2.3
2	170	175	90	2.3
3	180	190	140	2.3

Tabel 2 : Analisa kadar Mg pada Aluminium Foam terhadap densitas produk

Tahap I : Analisa Kadar Mg pada Aluminium Foam Terhadap Densitas Produk

No.	W Aluminium (gr)	Magnesium (% wt Al)	W CaCO ₃ 3% wt Al (gr)	W Al-Powder (gr)	Rasio CaCO ₃ : Al-Powder	Densitas (gr/cm ³)
1	190	4	5,7	1,71	10 : 3	2,62
2	170	6	5,1	1,53	10 : 3	1,94
3	180	8	5,4	1,62	10 : 3	3,44

Dari data hasil analisa pada tabel 2 dapat dilihat bahwa nilai densitas untuk aluminium foam dengan kadar 4 % magnesium sebesar 2,62, untuk aluminium foam dengan kadar magnesium 6 % sebesar 1,94 dan aluminium foam dengan kadar magnesium 8 % memiliki nilai densitas sebesar 3.44. hasil pengujian densitas apabila di plot ke dalam grafik maka akan tampak seperti pada gambar 2



Gambar 2. Grafik hasil pengujian densitas

Berdasarkan grafik pada gambar 2 Maka dapat dilihat bahwa pada aluminium foam dengan kadar Mg 8 % nilainya lebih tinggi dari Al-alloy foam dengan kadar Mg 4% dan 6%. Hal ini dapat dikarenakan pori yang terbentuk pada aluminium foam Mg 8 % tidak merata, masih terdapat bagian yang berupa aluminium tanpa pori (pejal). Bagian yang tidak berpori ini memiliki nilai berat yang lebih tinggi dibanding dengan Al foam 4% Mg dan 6% Mg, sehingga mempengaruhi nilai densitas pada produknya.

Kekuatan Tekan (Compressive Strength) Pada Paduan Al-Mg Foam.

Kekukatan tekan aluminium foam, dilakukan pengujian menggunakan mesin UTM, dimana Pengujian tekan dilakukan dengan meletakkan spesimen pada load cell dengan posisi horisontal, lalu diberikan beban hingga terjadi patahan di daerah pinggang spesimen akibat dari pembebanan seperti tampak pada gambar 3. Apabila telah tampak maka pengujian dihentikan dan dicatat beban maksimum yang diterima. Namun apabila patahan belum terlalu tampak, maka pembebanan diteruskan sampai kemampuan maksimum mesin mendekati 2000 kgf. Pembebanan yang diberikan dengan kecepatan 10 mm / menit.



Gambar 3. Spesimen aluminium foam yang diberikan beban

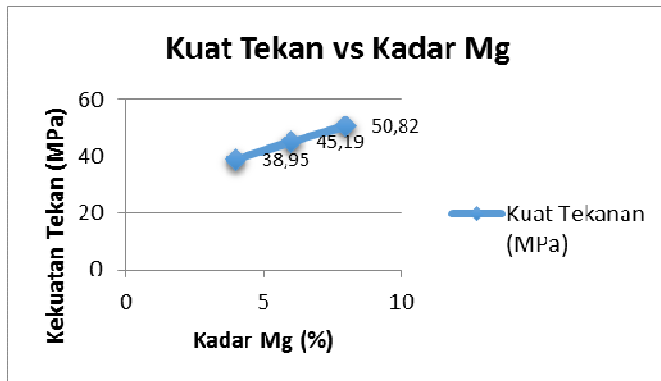
Selanjutnya tabel 3 merupakan data hasil perhitungan nilai kekuatan tekan pada aluminium foam setelah diuji dengan *Universal Testing Machine*.

Tabel 3 : Analisa kuat tekan Aluminium Foam

Tahap II : Analisa Kadar Mg pada Aluminium Foam Terhadap Kekuatan Tekan (*Compressive Strength*)

No	Magnesium (% wt Aluminium)	Luas (mm ²)	Δ L (mm)	Gaya (N)	Kuat Tekanan (MPa)	Strain (%)
1.	4	322.21	1.16	12552,51	38.95	9.12
2.	6	373.40	1.05	16877,24	45.19	10.78
3.	8	367.94	1.00	18701,28	50.82	11.36

Berdasarkan data pada table 3 dapat dilihat bahwa tegangan pada aluminium foam dengan kadar magnesium 4% memiliki kekuatan tekan sebesar 38.95 MPa, apabila dilihat dari bentuk pori, spesimen dengan kadar Mg 4 % mempunyai pori yang merata. Jumlah pori ini sangat mempengaruhi kekuatan mekanis pada produk. Berikut grafik yang menunjukkan nilai kekuatan tekan dan kadar magnesium pada aluminium foam.



Gambar 4. Grafik kekuatan tekan aluminium foam

Produk aluminium foam 6 % dan 8 % persebaran pori pada produk kurang begitu baik sehingga masih terdapat bagian yang padat, persebaran yang tidak merata ini dapat di akibatkan karena tidak terdekomposisinya CaCO_3 secara merata pada saat melebur, dekomposisi yang tidak merata dapat terjadi karena proses pengadukan yang kurang merata dan viskositas aluminium cair yang kurang baik sehingga CaCO_3 tidak terdispersi secara homogen pada aluminium cair.

Analisa Patahan pada Sel Aluminium Foam Akibat Pembebanan Tekan

Pada tahap pertama saat pembebanan tekan, yaitu ketika regangan dapat kembali ke awal, deformasi elastis lazimnya terlokalisasi pada satu atau lebih pita sel yang tegak lurus pada arah penekanan, Saat permulaan deformasi plastis, diperlukan kegagalan yang terjadi pada seluruh bidang sel spesimen secara melintang. Penekukan (*buckling*) pada permukaan sel, dan sisi datar pita sel, permulaan gagal karena penekukan (*buckling*) yang simultan di sepanjang penampang area spesimen akan mengurangi pembebanan yang ditahan oleh foam[7]. Pada penekanan dengan laju konstan, maka yang terlihat di kurva tegangan regangan adalah penurunan yang tajam. Kegagalan yang berkelanjutan setelah tahapan ini dapat dilanjutkan dengan perpatahan getas, atau dengan penekukan (*buckling*), Jika

tidak dengan mekanisme kegagalan, sisi yang berlawanan dari pita yang telah rusak, pada saat tertentu akan saling bertemu. Hal ini seperti tampak pada patahan yang terjadi pada spesimen 6% Mg, dimana patahan seperti yang ditunjukkan gambar 5 membentuk daerah patahan.



Gambar 5. Spesimen Al Foam yang mengalami patah getas

Secara alami, tipe struktur sel yang seperti ini, kontakannya akan bermula secara lokal. Hampir semua pembebanan eksternal yang diaplikasikan pada spesimen akan disangga oleh bagian penampang melintang dari spesimen. Hal, ini menyebabkan peluluhan yang terlokalisasi pada daerah dimana tegangan terkonsentrasikan. Yaitu, pada daerah dimana pembebanannya lebih rendah daripada yang dibutuhkan untuk menyebabkan peluluhan yang simultan pada sebuah pita sel sepanjang penampang melintang spesimen. Gambar 6 Menunjukkan daerah patahan akibat beban yang terkonsentrasi pada spesimen Al-Mg foam dengan 4% Mg.



Gambar 6. Daerah yang mendapatkan beban terkonsentrasi

Dari sini, akan dijelaskan bahwa bila hanya terdapat satu pita sel yang rusak sehingga terbentuk gerigi pertama, maka gerigi itu diperkirakan yang paling menonjol. Untuk semua tahapan selanjutnya, terutama untuk foam yang mempunyai keragaman sel pada penampang melintang, maka beragam pita sel lokal juga akan mengalami kegagalan pada derajat regangan yang berbeda.

Analisa Kadar Mg Terhadap Kekerasan (Hardness) Aluminium Foam

Pengujian kekerasan terhadap spesimen dilakukan dengan metode Brinnel, dimana spesimen diberikan pembebanan sebesar 500 kg dengan bola indenter berdiameter 5 mm, Tabel 4 menunjukkan hasil pengujian kekerasan yang dari spesimen aluminium foam.

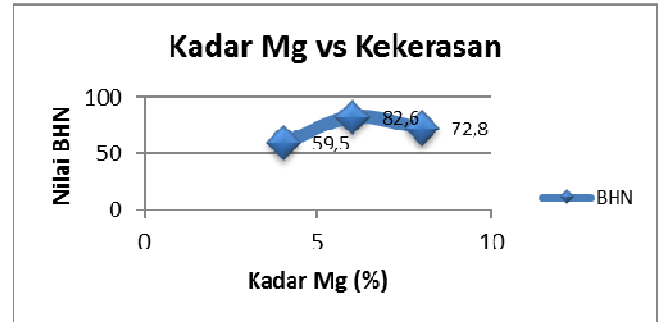
Tabel 4 : Analisa nilai kekerasan aluminium foam

Tahap III : Analisa Kadar Mg pada Aluminium Foam Terhadap Kekerasan (Hardness)

Sampel Aluminium Foam (% Mg)	Diameter Indentasi (mm)	BHN
4	3.20	60.5
	3.20	60.5
	3.20	60.5
	3.30	56.8
Rata-rata		59.5
6	2.80	79.6
	2.80	79.6
	2.70	85.7
	2.70	85.7
Rata-rata		82.6
8	3.00	69.1
	2.90	74.1
	2.90	74.1
	2.90	74.1
Rata-rata		72.8

Dari data pada table 4 diperoleh nilai *brinell hardness number* (BHN) untuk aluminium foam dengan kadar Mg 4 % sebesar 59.5, alumunium foam 6 % Mg

sebesar 82.6 dan aluminium foam dengan kadar Mg 8% sebesar 72.8. Grafik untuk nilai BHN vs Kadar Mg pada aluminium foam seperti tampak pada gambar 7.



Gambar 7. Grafik Nilai Kadar Mg vs Nilai BHN untuk kekerasan Aluminium Foam

Dilihat dari grafik pada gambar 18, menunjukkan bahwa nilai BHN untuk aluminium foam dengan kadar magnesium dengan kadar 6 % memiliki nilai 82.6 yang berarti memiliki kekerasan paling tinggi.

4. Kesimpulan

1. Pembuatan aluminium foam dengan *foaming agent / blowing agent* dapat dibuat melalui beberapa metode, salah satunya yaitu dengan metode *direct foaming* melalui *melt based process*. Pada metode ini *blowing agent* dituang ke aluminium yang telah mencair dan kemudian dia aduk agar *blowing agent* dalam hal ini $CaCO_3$ dapat terdispersi secara homogen pada aluminium cair. Suhu penguangan dan pengadukan merupakan hal yang sangat penting untuk diperhatikan dalam pembuatan aluminium melalui metode ini.
2. Proses foaming sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor. Diantaranya adalah temperatur penguangan, proses pengadukan dan *wettability* dari *blowing agent*. $CaCO_3$ sebagai

blowing agent memiliki sifat *wettability* yang kurang baik terhadap aluminium cair, maka dari itu diperlukan katalis agar kalsium karbonat dapat tercampur secara merata dan homogen dengan aluminium sehingga dapat membentuk *foam*.

3. Hasil pengujian yang dilakukan terhadap *aluminium foam*, diperoleh *density* paling ringan pada 6%Mg sebesar 1,94 gr/cm³ dengan kekuatan tekan 45,19 MPa dan kekerasan 82,6 BHN.

- [7] Curran, David C. "*Aluminium Foam Production using Calcium Carbonate as a Foaming Agent*". Cambridge : University of Cambridge, (2003).

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Srikanth Arisetty, Ajay K. Prasad, Suresh F. Advani, Metal foam as flow field and gas diffusion layer in direct methanol fuel cells. University of Delaware, New York, (2006).
- [2] Harjanto,S., Yulianto,E. and Suharno,B., Proses pembuatan Logam Busa Aluminium Melalui Fasa Cair, Laboratorium Metalurgi Proses, Departemen Metalurgi dan Material, Fakultas Teknik, UI
- [3] Matijasevic,B. dan Banhart,J., Improvement of aluminium foam technology by tailoring of blowing agent, Technical University Berlin and Hahn-Meitner-Institute Berlin, (2011).
- [4] Miyoshi,T., Itoh,M., Akiyama,S. and Kitahara,A., Alporas Aluminium Foam ; production process, properties, and application, Advanced Engineering Material,No.4 (2000).
- [5] Degischer, Hans-Peter; Brigitte Krizt, "*Handbook of Cellular Metal*" Weinheim : Willey-VCH, (2002).
- [6] Kevorkijan, Varužan."Low Cost Aluminium Foams Made by CaCO₃ Particulates". Maribor, Slovenia : Association of Metallurgical Engineers of Serbia (AMES), (2010).