

Pengaruh Kalsia Alumina (CaO.Al₂O₃) Pada Busa Aluminium AL-7000 Dengan Agen Pembusa Kalsium Karbonat (CaCO₃)

Sutarno, Syoni Soepriyanto, Akhmad A Korda dan Tatacipta Dirgantara

Abstrak

Penelitian ini mengevaluasi pengaruh kalsia alumina yang terbentuk sebagai produk samping dalam proses sintesa busa aluminium. Senyawa ini terbentuk dari penggunaan kalsium karbonat (CaCO₃) sebagai agen pembusa karbon dioksida (CO₂). Kalsium karbonat ini disamping berfungsi sebagai sumber pembusa juga untuk meningkatkan viskositas dan memperkuat dinding rongga pori busa aluminium. Salah satu hasil evaluasi pengaruh kehadiran kalsia alumina dalam proses pembentukan busa aluminium adalah kecenderungan membentuk pola tertentu sebagai "kurva Zetha" yang menunjukkan korelasi antara kadar kalsia alumina pada 2.70% berat diperoleh porositas busa aluminium terbaik yakni 85%.

Kata-kata kunci: Busa aluminium, kalsia alumina, porositas

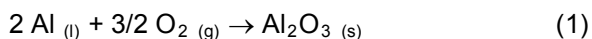
Pendahuluan

Salah satu upaya menurunkan laju konsumsi bahan bakar minyak yang kian langka dan mahal serta menekan emisi CO₂ yang efektif adalah mereduksi berat kendaraan dengan cara mengganti material komponen dengan yang lebih ringan seperti busa aluminium. Busa aluminium merupakan material baru yang menawarkan berbagai kelebihan seperti memiliki struktur rongga pori, kekakuan dan kekuatan tinggi serta densitas relatif rendah berpotensi menjadi material konstruksi ringan dan fungsional [1]. Busa aluminium ini dapat disintesa menggunakan bahan baku Al murni, paduan AlSi, AlSiCu dan jenis agen pembusa TiH₂ [2] udara, N₂ [3] dan CaCO₃ [4], jenis stabiliser SiC, serbuk aluminium, SiO₂, Al₂O₃ [2,3,4], dan metoda *direct casting*, *powder metallurgy* dan *precursor* [5,6]

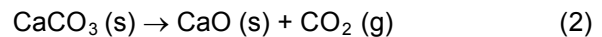
Dalam penelitian ini, busa aluminium disintesa menggunakan bahan baku Al-7000, agen pembusa CaCO₃ dan stabiliser serbuk aluminium.[7] Perbedaan dengan peneliti lain adalah berkaitan dengan bahan baku Al-7000, agen pembusa CaCO₃ dan stabiliser serbuk Al. Parameter proses sintesa disajikan dalam teori dan eksperimen sedangkan karakteristik produk disajikan pada hasil dan diskusi.

Teori dan Eksperimen

Selama proses peleburan aluminium terjadi reaksi lelehan aluminium dengan oksigen dan berlangsung menurut reaksi [4, 7]



Proses dekomposisi CaCO₃ berlangsung pada rentang suhu 650-860°C menurut reaksi



Selanjutnya, CaO dengan Al₂O₃ membentuk kalsia alumina menurut reaksi



Kalsia alumina berperan selain untuk meningkatkan viskositas juga menstabilkan rongga pori yang terbentuk oleh CO₂, yang terperangkap dalam lelehan aluminium selama proses solidifikasi. Morfologi busa yang direpresentasikan oleh bentuk dan ukuran serta distribusi rongga pori sangat tergantung dari ukuran dan distribusi CaCO₃ yang dipengaruhi oleh pengadukan dan suhu sintesa.

Produk busa Al-7000 dikarakterisasi melalui pengukuran/pengujian seperti densitas relatif, diameter pori, porositas dan *plateau stress*.

1. Densitas relatif

Densitas relatif (ρ_r) merupakan rasio antara densitas busa (ρ_b) dengan densitas aluminium padat (ρ_o), dituliskan dengan persamaan :

$$\rho_r = \frac{\rho_b}{\rho_o} \quad (4)$$

Pengukuran densitas dilakukan dengan menimbang berat spesimen lalu dibagi dengan volume spesimen. Perhitungan volume dilakukan dengan metode Archimedes.

2. Porositas

Porositas merupakan selisih dari volume busa dan volume padat yang dihitung menggunakan persamaan :

$$V_p = V_b - \frac{W_b}{\rho_o} \quad (5)$$

Berat busa, W_b ditimbang dan volume busa V_b diukur.

3. Diameter rongga pori

Pengukuran diameter dan luas permukaan rongga pori sesuai ASTM D14 dan analisis citra dengan menggunakan OPTIMAS 6.1 atau *Optical Microscopy dan Image Analysis*

4. Model korelasi

Untuk analisis korelasi antara parameter proses sintesa dan karakteristik busa digunakan model regresi multivariat, yang dinyatakan dengan persamaan

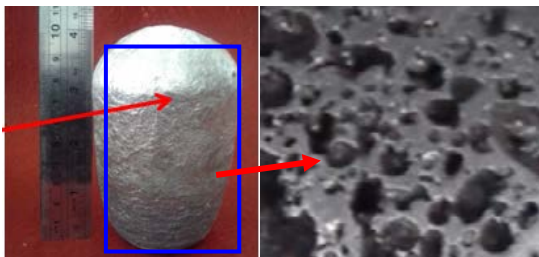
$$Y = X\beta + \varepsilon \quad (6)$$

Dimana Y : karakteristik busa; X parameter sintesa busa; β dan ε masing masing koefisien dan tetapan. Analisis dilakukan untuk mengetahui keberartian model regresi multivariat, korelasi antar parameter sintesa, korelasi antar karakteristik busa dan antar parameter sintesa dengan karakteristik busa. Analisis ini menjadi penting terutama untuk menentukan penentuan rentang parameter proses sintesa agar menghasilkan busa aluminium yang diinginkan.

Parameter proses sintesa mencakup suhu sintesa dipilih 700 °C, 725 °C dan 750 °C, CaCO_3 2, 3, 4, 5, dan 7 % berat, sedangkan berat serbuk aluminium merupakan rasio 1 : 3.3 terhadap CaCO_3 .

Hasil dan diskusi

Bentuk *bulk* busa aluminium sebagaimana ditunjukkan oleh Gambar 1., selanjutnya busa dipotong sesuai dengan ukuran spesimen uji karakterisasi. Hasil uji karakterisasi busa aluminium dikompilasi, diolah dalam bentuk grafik yang menunjukkan korelasi antar karakteristik berbasis densitas relatif dan karakteristik busa dengan parameter proses sintesa dan selanjutnya dianalisis.

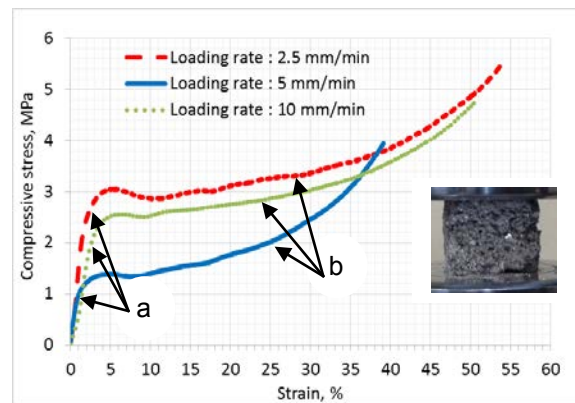


Gambar 1. (a) *bulk* busa aluminium; (b) spesimen busa aluminium. Pada Gambar 1. ditunjukkan morfologi busa aluminium yang direpresentasikan oleh bentuk, ukuran dan distribusi rongga pori yang dihasilkan masih bervariasi, yang berdampak kepada densitas relatif, porositas dan *plateau stress*. Dimensi

spesimen untuk densitas relatif, *stress-strain* dan porositas adalah $3 \times 3 \times 3 \text{ cm}^3$.

Kurva *stress-strain*

Kekuatan tekan diukur melalui uji kompresi pada tingkat regangan 0,01/detik dan suhu 25°C dengan menggunakan Instron Universal Testing Machine (Model-8805). Uji kompresi pada spesimen busa aluminium Al-7000 dilakukan dengan dengan *load cell* 10 KN dan laju 2,5 mm/menit dimana hasilnya ditunjukkan oleh Gambar 2. Perbedaan kurva dipengaruhi oleh bentuk dan ukuran serta distribusi rongga pori busa.



Gambar 2. Kurva *stress-strain*

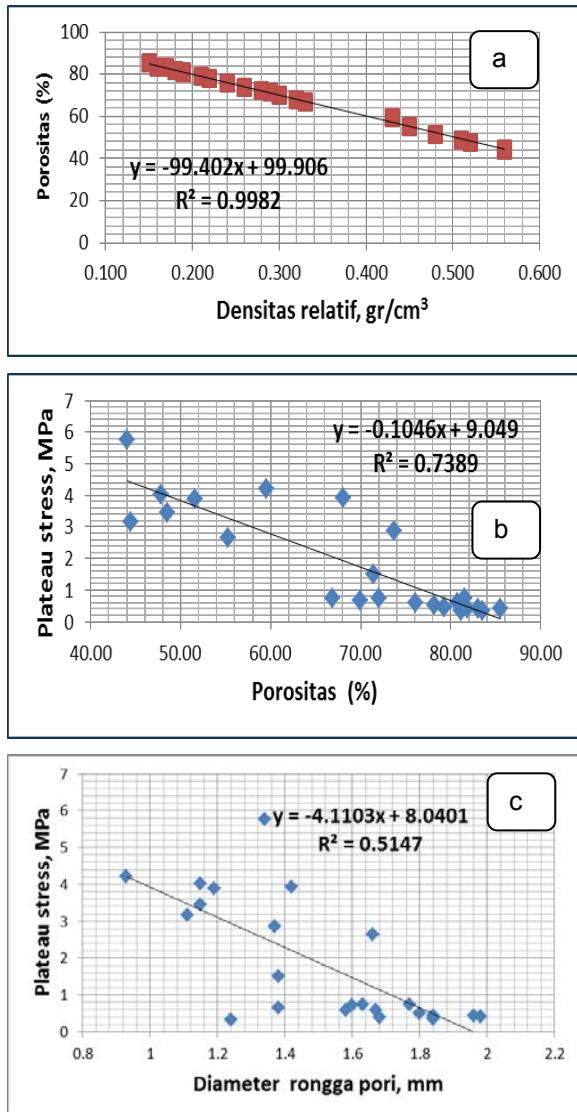
Ketinggian kurva (notasi a) yang menunjukkan *yield stress*. Semakin tinggi *yield stress* berarti kekakuan dan kekuatan busa semakin besar yang berperan penting menjadi material konstruksi. Sedangkan semakin panjang dan rata nilai *plateau stress* busa (notasi b) mempunyai absorpsi energi impact yang semakin besar. Kombinasi dari dari *yield stress* dan *plateau stress* busa memberikan sifat mekanik dan peredam getaran yang baik. Dengan kata lain, material busa seperti busa aluminium ini berpotensi menjadi material konstruksi ringan, absorpsi energi impact dan peredam getaran.

Karakterisasi busa

Uji karakteristik busa Al-7000 yang terdiri dari diameter pori, porositas dan *stress plateau* yang kesemuanya berbasis densitas relatif, sebagaimana ditunjukkan oleh Gambar 3.

Dari Gambar 3., terlihat bahwa porositas menurun dengan kenaikan densitas relatif dengan $R^2 = 0.9982$, *plateau stress* menurun dengan meningkatnya porositas ($R^2 = 0.7389$) dan diameter rongga pori ($R^2 = 0.5147$). Baik porositas dan diameter pori memainkan peran penting sebagai material konstruksi ringan dan sekaligus berfungsi sebagai penyerap energi impact dan peredam getaran sehingga mampu meningkatkan kenyamanan berkendara dan

menurunkan tingkat dampak kecelakaan akibat tabrakan atau benturan.



Gambar 3. Karakteristik busa aluminium

Korelasi antara porositas dan densitas relatif sangat baik, sedangkan *plateau stress* dan diameter rongga pori masih rendah. Hal ini terjadi distribusi rongga pori belum seragam sebagai dampak distribusi CaCO_3

Model Korelasi Multivariat

Korelasi karakteristik seperti densitas, diameter pori, porositas, *plateau stress* terhadap parameter proses sintesa seperti kadar serbuk aluminium (x_1), CaCO_3 (x_2), aluminium Al-7000 (x_3) dan suhu sintesa (x_4) dalam bentuk model persamaan regresi multivariat. Berdasarkan model regresi multivariat terlihat bahwa karakteristik busa dipengaruhi oleh serbuk aluminium dan CaCO_3 , sedangkan aluminium limbah sebagai bahan baku dan suhu sintesa tidak signifikan sebagaimana ditunjukkan oleh nilai koefisien x

Densitas relatif busa :

$$\hat{y}_1 = 15.542x_1 - 4.708x_2 + 0.0018x_3 + 0.0004x_4$$

Diameter pori rata-rata :

$$\hat{y}_2 = -15.974x_1 + 4.876x_2 + 0.0042x_3 + 0.0012x_4$$

Prosentase Porositas (%):

$$\hat{y}_3 = -2022.207x_1 + 609.0426x_2 + 0.304x_3 + 0.025x_4$$

Plateau stress (kgf/mm^2) :

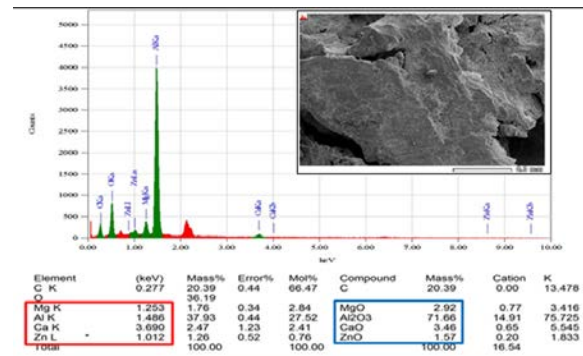
$$\hat{y}_4 = 148.580x_1 - 45.250x_2 + 0.074x_3 - 0.004x_4$$

Hasil uji regresi diperoleh bahwa : (1) regresi berarti pada taraf nyata 5%; (2) perbedaan suhu sintesa tidak memberi pengaruh berarti.

Dari analisis korelasi kanonik, diperoleh bahwa r_{yx} : 0.851 yang berarti karakteristik busa dipengaruhi oleh parameter proses sintesa.

Uji SEM/EDS

Hasil uji SEM/EDS memberikan unsur dan oksida yang merupakan berasal dari bahan baku sintesa busa aluminium.

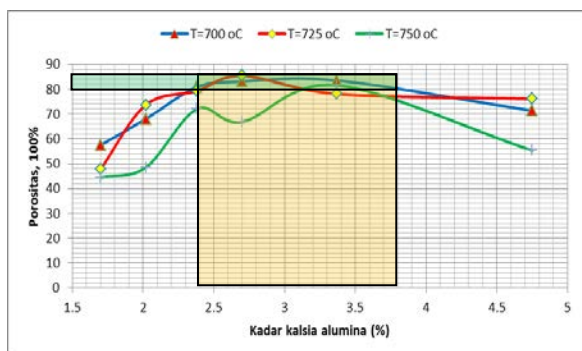


Gambar 4. Hasil uji SEM

Seperti diketahui bahwa unsur paduan utama aluminium seri 7000 adalah Zn. Reaksi udara dengan aluminium menghasilkan alumina, Al_2O_3 . Demikian pula reaksi dekomposisi CaCO_3 adalah kalsia, CaO yang akan bereaksi dengan alumina membentuk kalsia alumina. Kalsia alumina inilah yang membentuk dinding rongga pori yang menstabilkan pori.

Kurva Zeta

Berdasarkan hasil percobaan yang telah dilakukan, diperoleh fakta adanya pengaruh kadar kalsia alumina terhadap kinerja porositas busa aluminium sebagaimana ditunjukkan oleh Gambar 5.



Gambar 5. Kurva Zetha

Pada spesimen hasil sintesa pada 725°C, dampak kehadiran kalsia-alumina diamati dalam proses pembentukan busa aluminium adanya kecenderungan membentuk pola tertentu sebagai “kurva Zetha”, yang menunjukkan ketika kadar kalsia alumina mencapai 2.70% berat, aluminium busa menunjukkan porositas terbaik yakni 85%. Penambahan kadar CaCO_3 akan meningkatkan kalsia alumina yang berdampak kepada porositas yang terbentuk mencapai maksimum dan menurun dengan kenaikan kadar CaCO_3 . Berdasarkan “Kurva Zetha” diperoleh bahwa untuk menghasilkan busa dengan porositas 80-86% kadar kalsia alumina berada pada rentang 2.4-3.8% berat.

Kesimpulan

Sintesa busa aluminium dengan pembusa CaCO_3 sangat prospektif untuk dikembangkan sebagai diversifikasi produk dan meningkatkan nilai tambah bahan baku dalam negeri. Dampak kehadiran kalsia-alumina diamati dalam proses pembentukan busa aluminium membentuk kecenderungan membentuk pola tertentu sebagai “kurva Zetha” yang menunjukkan korelasi kadar kalsia-alumina mencapai 2.70% berat, aluminium busa menunjukkan porositas terbaik yakni 85%. Porositas busa aluminium berkorelasi terhadap densitas relatif, *plateau stress*, diameter rongga pori.

Ucapan terima kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Ir. Kusharjanto, MT, Ketua Laboratorium Karakterisasi Teknik Metalurgi Universitas Jenderal Achmad Yani, Laboratorium Pengujian Rekayasa Mineral dan Metalurgi FTTM ITB dan PT Dirgantara Indonesia. Terima kasih juga saya sampaikan kepada kolega saya, Dr. Suwanda Idris, MS yang telah bersedia memberikan masukan dan koreksi berkaitan dengan perancangan percobaan dan Model regresi multivariat dan Ir. H Subawi dalam memberikan

inspirasi, masukan, koreksi dan analisis hasil uji karakterisasi busa tanpa kenal waktu dan tempat.

Referensi

1. Micheael F Ashby, A Evan, L J Gibson, J W Hutchinson, 2000, *Metal Foams A design Guide*, Butterworth, 2000, Elsevier
2. S. Akiyama, H. Ueno, K. Imagawa, A. Kitahara, K. Morimoto, T. Nishikawa and M. Itoh, US Patent 4713277 (1987).
3. John Banhart, *Manufacture, characterisation and application of cellular metals and metal foams*, Progress in Materials Science 46 (2001) pp.559–632, 12, 28359 Bremen, Germany
4. V. Kevorkijan, *Association of Metallurgical Engineers of Serbia*, Maribor, Slovenia, UDC: 549.74:621.762, AMES (2010)
5. B. Kheradmand, S. Otraj, Z. Soleimanpour, M. Beigyfar, Comparison between methods used for manufacturing of aluminum foam, Life Science Journal, 10 (1), (2013)
6. Y. Hangai, K. Saito, T. Utsunomiya, S. Kitahara, O. Kuwazuru, and N. Yoshikawa, Compression Properties of Al/AlSiCu Alloy Functionally Graded Aluminum Foam Fabricated by Friction Stir Processing Route *Materials Transactions*, Vol. 54, No. 3 (2013) pp.405-408
7. Sutarno, S. Soepriyanto, A.A. Korda, and T. Dirgantara, *Advances in Materials Sciences Research*, Vol. 1, Issue 1 (2014).

Sutarno*

Bidang Studi Rekayasa Mineral dan Metalurgi,
Program Studi Rekayasa Pertambangan,
Fakultas Teknik Pertambangan dan
Perminyakan ITB,
Jl. Ganesha 10 Bandung 40132 Indonesia;
hartosuwarno@gmail.com

Syoni Soepriyanto

Bidang Studi Rekayasa Mineral dan Metalurgi,
Program Studi Rekayasa Pertambangan
Fakultas Teknik Pertambangan dan
Perminyakan ITB,
Jl. Ganesha 10 Bandung 40132 Indonesia

Akhmad A Korda

Bidang Studi Rekayasa Mineral dan Metalurgi,
Program Studi Rekayasa Pertambangan
Fakultas Teknik Pertambangan dan
Perminyakan ITB,
Jl. Ganesha 10 Bandung 40132 Indonesia

Tatacipta Dirgantara

Program Studi Aeronotika dan Astrofisika,
Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara ITB,
Jl. Ganesha 10 Bandung 40132 Indonesia.

*Corresponding author