

Morfologi dan Kuat Tekan Aluminium Berpori yang Diproduksi dengan Teknik Metalurgi Serbuk Menggunakan Urea sebagai *Space Holder*

Aris Widyo Nugroho

Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
Jl. Lingkar Selatan, Kasihan Bantul DIY 55183 Telp +62 274 387656 psw 209
E-mail : ariswidyo.nugroho@umy.ac.id

ABSTRAK

Penelitian untuk mengembangkan proses fabrikasi aluminium berpori dengan metalurgi serbuk dengan urea sebagai *space holder* telah dilakukan. Serbuk aluminium berbentuk flake dicampur dengan empat variasi fraksi massa urea sebagai *space holder*. Campuran tersebut kemudian dikompaksi dengan tekanan 300 kg/cm² sehingga membentuk *green body*. Spesimen diperoleh setelah sintering dua tahap dilakukan atas *green body* yaitu sintering suhu rendah (200°C), dan dilanjutkan dengan sintering pada suhu 650°C. Spesimen diuji struktur mikro dan ditentukan porositasnya dengan penimbangan dan pengukuran dimensinya. Sedangkan kuat tekan diperoleh dari uji tekan menggunakan UTM. Hasil penelitian menunjukkan bahwa morfologi dari pori-pori ditentukan oleh morfologi dari *space holdernya*. Sebagian besar pori-pori berbentuk *closed cell*. Porositas yang diperoleh mencapai 88.7% pada fraksi massa *space holder* sebesar 80%. Nilai kuat tekan menurun seiring dengan peningkatan porositas material.

Kata kunci : aluminium foam, material berpori, metalurgi serbuk

PENDAHULUAN

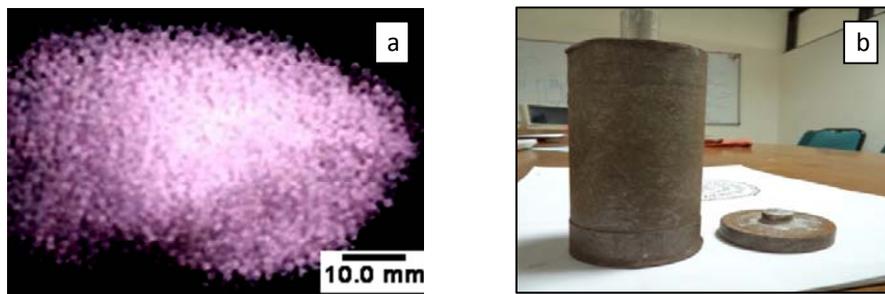
Aluminium berpori atau sering dikenal dengan *aluminium foam* merupakan salah satu jenis material teknik yang banyak digunakan di dunia industri karena sifat-sifatnya, seperti : kekuatan spesifik yang tinggi, kapasitas menyerap energi, sifat termal, bobot dan sifat peredaman suara yang unik (Tang dkk., 2008). Sifat-sifat ini sangat menarik dalam aplikasi di industri transportasi (Baumeister dkk., 1997), industri mobil (Ito and Kobayashi, 2006), pesawat terbang dan kereta api (Rausch dan Stöbener, 2005). Beberapa teknik telah digunakan untuk memproduksi material berpori, yaitu : teknik logam cair, teknik metalurgi serbuk, teknik deposisi elektrokimia dan teknik deposisi uap. Saat ini, umumnya aluminium foam diproduksi dengan teknik logam cair (Ashby, 2000). Namun teknik ini mempunyai kelemahan yaitu: (a) harga foaming agent seperti TiH₂ dan ZrH₂ beberapa kali lipat dari harga logam dasarnya (aluminium), dan (b) proses pencairan aluminium yang mencapai temperatur 850°C akan menambah biaya produksi. Sebagai alternatif, produksi aluminium berpori dengan menggunakan teknik metalurgi serbuk lebih *cost effective*, karena temperatur yang dibutuhkan selama proses fabrikasi lebih rendah dibanding dengan proses logam cair dan tidak membutuhkan *foaming agent*. Selain itu proses ini fleksible dan lebih mendekati ke bentuk pori-pori yang diinginkan (Bafti, H. dan Habibolahzahdeh, 2010). Teknik metalurgi serbuk ini pada awalnya digunakan dalam fabrikasi titanium berpori (Bram dkk., 2000, Niu dkk., 2009).

Pada artikel ini selain dibahas tentang proses pembuatan aluminium berpori menggunakan metode metalurgi serbuk dengan urea sebagai *space holder*, pengaruh dari

parameter proses yaitu fraksi massa *space holder* terhadap porositas dan sifat kuat tekan *aluminium* berpori yang dihasilkan juga disampaikan.

METODE PENELITIAN

Pupuk urea sebagai bahan *space holder* diperoleh dari toko pertanian dengan ukuran diameter 0,2- 2 mm (gambar 1a). Proses diawali dengan pengayakan urea menggunakan ukuran mesh 16/18 untuk mendapatkan ukuran diameter yang relatif sama (± 1 mm). Setelah pengayakan urea, dilakukan penimbangan serbuk aluminium dan urea dengan 4 fraksi massa urea yaitu 50%, 60%, 70% dan 80%. Selanjutnya dilakukan pencampuran serbuk di tiap fraksi massa di dalam tabung pencampur. Campuran tersebut kemudian di masukkan ke dalam cetakan (dies) berbentuk silinder berlubang berukuran diameter dalam 12 mm dan tinggi 50 mm untuk kompaksi (gambar 1(b)).



Gambar 1. Urea sebagai bahan *space holder* (a) dan cetakan (b)

Proses kompaksi dilakukan dengan menggunakan mesin cetak briket dengan penekanan satu arah (*single end compaction*) dan *punch* berada pada bagian atas dan bergerak dari atas ke bawah dari bahan baja yang telah diharden. Spesimen yang berjumlah 3 buah untuk masing-masing variasi massa, dikompaksi dengan tekanan sebesar 300 kg/cm^2 dan ditahan selama 3 menit menjadi spesimen kompaksi (*green body*) dan ditimbang serta diukur dimensinya. Selanjutnya *green body* disinter di *Naberthem furnace*. Tahap pertama temperatur dinaikan sampai sekitar 200°C dan ditahan selama 60 menit lalu temperatur dinaikkan lagi sampai dengan 650°C dengan waktu tahan 120 menit. Pendinginan dilakukan dengan menonaktifkan pemanas dan membiarkan spesimen tetap di dalam dapur pemanas sampai temperatur kamar.

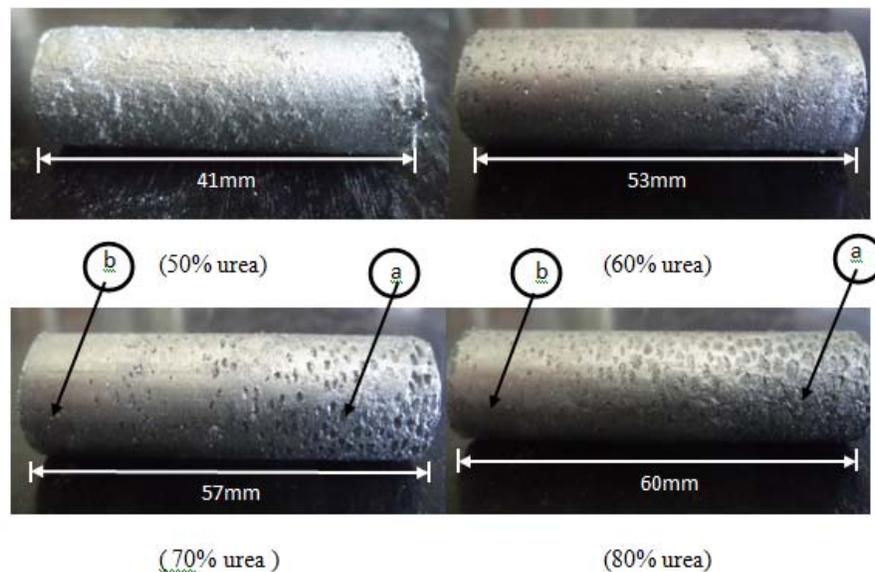
Hasil dari proses sinter dilakukan pengamatan makro dan mikro struktur dengan menggunakan mikroskop optik dan SEM. Pengukuran densitas relatif dilakukan dengan mengukur dimensi dan menimbang spesimen. Dari densitas masing-masing spesimen maka diperoleh densitas relatif, dimana hasil tersebut kemudian digunakan untuk menghitung porositas. Selanjutnya dilakukan pengujian kuat tekan menggunakan *universal testing machine* (UTM) untuk mengetahui sifat mekanis yang dihasilkan dengan kecepatan pembebanan sebesar 1 mm/menit.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Serbuk aluminium yang diperoleh dari Merck, German, dipakai sebagai bahan utama. Serbuk aluminium yang digunakan dalam penelitian ini adalah bentuk *flake* dengan ukuran rata-rata serbuk aluminium adalah $\leq 100 \mu\text{m}$ dengan kandungan % mol atomnya akan terlihat didominasi oleh Al (97,37%), Cu (0,88%) dan Zn (0,65%). Sedangkan unsur-unsur lain seperti Pb, Fe, Sn, dan Mn terdapat dalam jumlah kecil ($<0,5\%$ mol). Bentuk dan kandungan unsurnya telah dijelaskan di artikel terdahulu (Nugroho, 2014).

3.1 *Green Body* (Serbuk setelah Dikompaksi)

Setelah campuran aluminium serbuk dan urea dengan beberapa variasi fraksi masa urea dimixer, campuran tersebut dimasukkan dalam cetakan untuk dikompaksi. Tekanan kompaksi merupakan faktor yang sangat berpengaruh terhadap kekuatan ikatan diantara partikel aluminium pada *green body*. Keberadaan dari lapisan oksida dari partikel aluminium akan mengurangi kekuatan ikatan antar partikel aluminium. Oleh karena itu lapisan film harus dipecah dengan memberikan tekanan kompaksi yang cukup. Hal ini akan memberikan kemungkinan kontak antar partikel aluminium secara langsung yang sangat bermanfaat untuk langkah selanjutnya yaitu sintering. Tekanana kompaksi diberikan secara bertahap hingga mencapai tekanan yang diinginkan. Proses ini akan memberikan kesempatan kepada partikel-partikel untuk mengisi rongga kosong atau pori yang masih tersisa sehingga dihasilkan bakalan yang memiliki komposisi yang padat dan homogen. Tekanan kompaksi yang diberikan pada aluminium dengan campuran urea sebesar 300kg/cm^2 menghasilkan kekuatan *green body* yang cukup untuk proses dan perlakuan berikutnya dan bentuk dari *space holder* tetap terjaga. Untuk tekanan yang lebih rendah akan menyebabkan rendahnya kekuatan *green body*, sedangkan untuk tekanan yang terlalu tinggi akan mengakibatkan *space holder* rusak. Hasil dari proses kompaksi untuk semua variabel memiliki diameter yang sama yaitu 12mm, sedangkan untuk dimensi tingginya berbeda pada spesimen 50% urea (41mm), 60% urea(53mm),70% urea(57mm), 80% urea(60mm). Hal ini menunjukkan bahwa tekanan kompaksi yang diterapkan belum membuat *space holder* kolap (hancur)



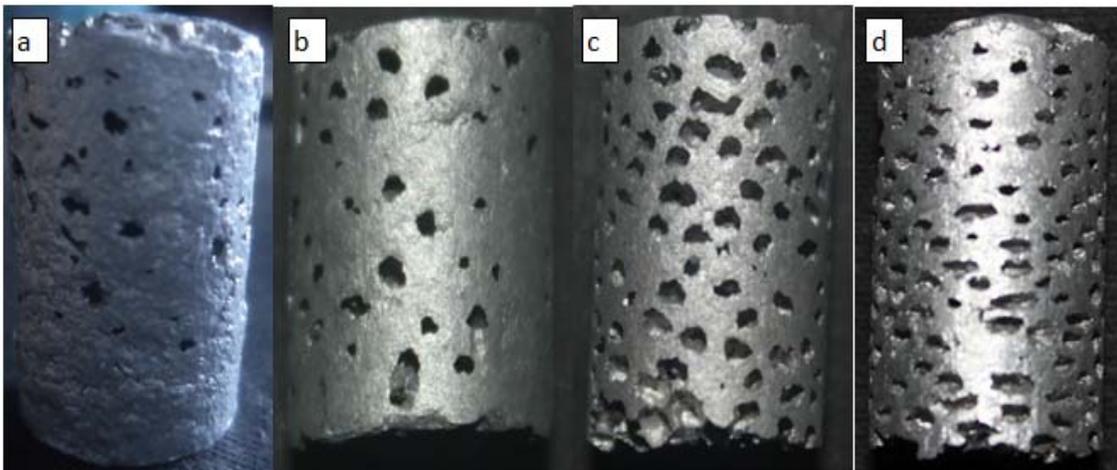
Gambar 2 *Green body* beberapa fraksi massa hasil kompaksi

Pada gambar 2 dapat dilihat hasil kompaksi yang diperoleh dalam penelitian ini. Tampak seolah-olah urea dalam aluminium tidak merata. Pada gambar tersebut terlihat butiran urea lebih banyak pada bagian yang terkena penekan (lihat panah (a)) dari pada bagian bawah specimen (lihat panah (b)) yang tidak terkena penekanan secara langsung pada saat kompaksi. Hal ini disebabkan oleh perbedaan berat jenis serbuk antara urea dengan aluminium sehingga dalam proses penuangan campuran serbuk ke dalam dies sebagian serbuk aluminium dengan berat jenis lebih besar dan ukuran butiran lebih kecil turun lebih cepat kemudian mengisi ruang di bagian bawah dibandingkan dengan serbuk urea .

3.2 Sintering

Sintering pada proses ini dilakukan dalam dua tahap. Pertama, sintering pada suhu rendah (200°C) dan ditahan selama 1 jam. Sintering suhu rendah ini dimaksudkan untuk menguapkan urea dan keluar melalui pori-pori yang masih ada setelah proses kompaksi meninggalkan ruang-ruang kosong/ pori-pori makro, karena urea terdekomposisi pada suhu 133°C . Kedua, sintering pada suhu tinggi (650°C) selama 2 jam untuk meningkatkan kekuatan ikat dari masing-masing butir aluminium. Pada suhu ini diharapkan terjadi ikatan antar partikel pada kondisi temperature di bawah temperature titik lebur. Pada peristiwa tersebut terjadi difusi antar permukaan atom sehingga atom-atom yang berikatan mengalami *necking* dan pada akhirnya batas dinding antar partikel akan hilang dan terjadi homogenisasi antar partikel. Hasil penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa pada sintering pada temperatur 550°C selama dua jam ikatan butir-butir aluminium masih sangat rendah (Nugroho, 2014).

Pada hasil sinter terlihat adanya rongga atau pori di sisi samping specimen dikarenakan pada saat proses kompaksi urea tertekan kearah luar dan bersentuhan dengan dinding cetakan yang menyebabkan adanya jalur keluar space holder yang menguap, hasil foto dapat di lihat pada Gambar 3.



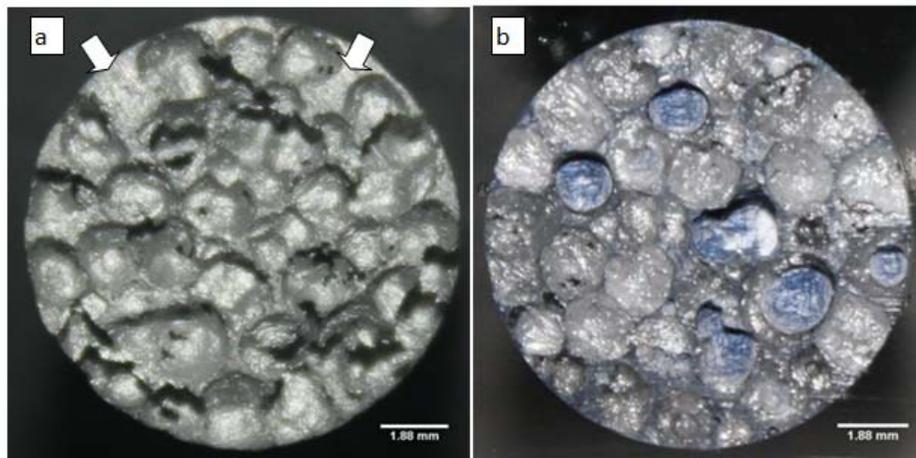
Gambar 3. Spesimen tampak samping dengan fraksi massa : (a) 50% (b) 60% (c)70% dan (d) 80%

Spesimen dengan kandungan urea lebih tinggi seperti specimen 80% urea mempunyai bentuk pori yang lebih pipih dengan dinding jarak antar pori-pori yang lebih pendek. Semakin tinggi kadar urea maka tegangan tekan unidirection lebih terkonsentrasi ke space holder sehingga tegangan yang semakin tinggi tegangan diterima oleh space holder, sedangkan pada specimen dengan kandungan lebih rendah 50 dan 60% urea bentuk pori-pori lebih membulat karena tegangan yang diterima space holder lebih terdistribusi ke aluminium. Pori-

pori akan cenderung saling terhubung ke horisontal (menyamping) dibanding vertikal (ke atas-bawah).

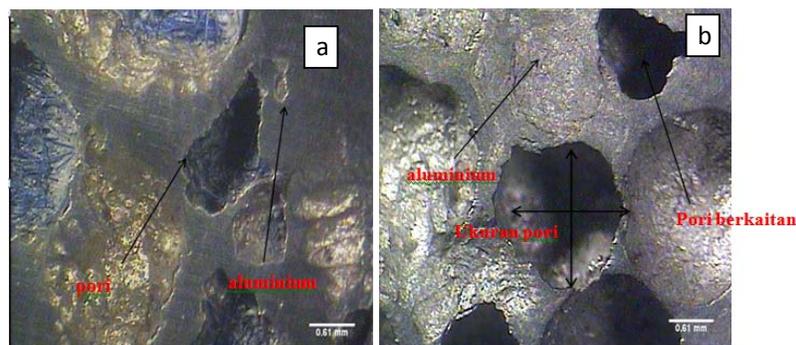
3.3 Morfologi dan struktur mikro

Pengamatan struktur makro pada penampang melintang menunjukkan perbedaan morfologi dari pori-pori yang terbentuk. Pada fraksi masa *space holder* yang lebih rendah (60%) menunjukkan masih terlihat jelas adanya daerah-daerah aluminium yang tidak berongga (ditunjukkan dengan tanda panah) dan bentuk pori-pori cenderung berbentuk granular (berbentuk tidak beraturan dan hampir bulat dengan kecekungan yang dalam), dinding pori-pori lebih tebal. Sedangkan untuk spesimen dengan fraksi massa *space holder* 80% daerah yang sama tidak terlihat secara jelas (Gambar 4 (a) dan (b)) dengan bentuk pori-porinya lebih uniform dengan kecekungan yang dangkal dan dinding yang tipis. Hal lain terjadi karena untuk fraksi masa *space holder* yang tinggi ruangan lebih banyak diisi oleh *space holder* dan deformasi arah vertikal- memendek dan arah horisontal-melebar akibat kompaksi *unidirectional* lebih besar.



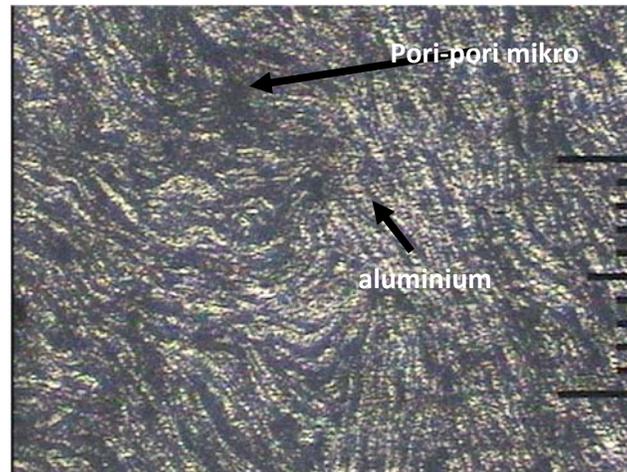
Gambar 4 Penampang melintang morfologi pori-pori spesimen fraksi masa (a) 60% dan (b) 80%

Pada perbesaran yang lebih tinggi maka semakin jelas teramati bahwa pada fraksi masa lebih tinggi pori-pori cenderung lebih banyak yang saling berhubungan baik secara vertikal maupun horisontal sehingga dapat membentuk lorong (*chanel*) dan dinding pori terlihat lebih tipis (Gambar 5). Morfologi seperti ini akan bermanfaat untuk penggunaan sebagai filter.



Gambar 5 Morfologi pori-pori saling berhubungan pada spesimen fraksi masa : (a) 50% dan (b) 60%

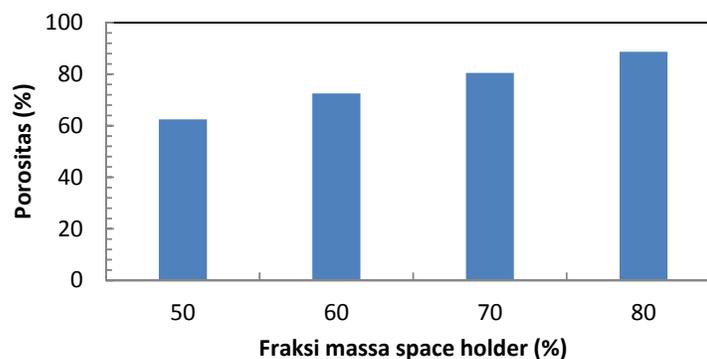
Selain adanya pori-pori makro seperti yang telah dijelaskan, dari pengamatan struktur mikro dengan menggunakan mikroskop optik teramati adanya pori-pori mikro (Gambar 6). Pori-pori ini terbentuk akibat sintering yang tidak sempurna antara butiran aluminium. Homogenisasi dari proses sintering dapat dilihat dari hasil pengamatan struktur mikro ini. Hasil sintering belum sepenuhnya homogen, dengan teramatinya seperti jalur-jalur aliran. Serbuk aluminium yang berbentuk *flake* (serpih) yang terdorong memadat mengalir ke daerah-daerah yang termudah untuk dilewati sewaktu proses pemadatan akibat. Pada waktu sintering bagian antar serbuk itu tidak seluruhnya berdifusi dengan sempurna sehingga terlihat seperti jalur-jalur aliran.



Gambar 6 Struktur mikro spesimen fraksi masa 60%

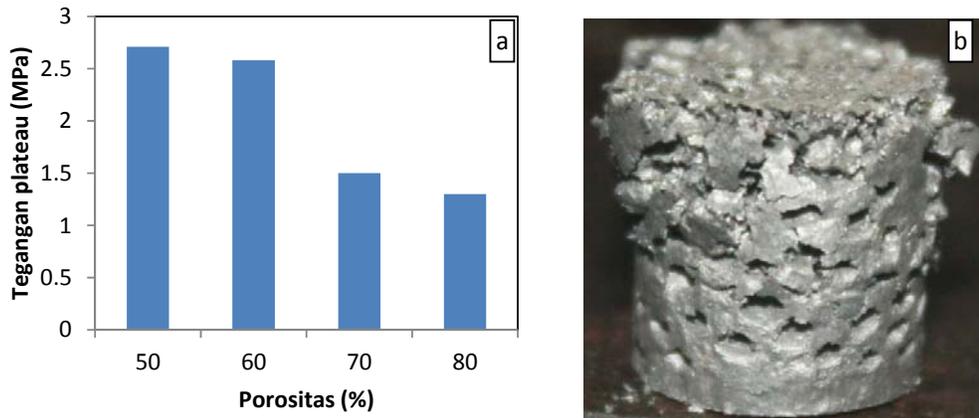
3.4 Porositas dan Kuat Tekan

Dengan menggunakan metode penimbangan dan perhitungan maka diperoleh porositas aluminium foam yang terbentuk seperti ditunjukkan gambar 7. Kenaikan fraksi massa urea akan meningkatkan porositas. Hal itu dapat dijelaskan sebagai berikut. Pori-pori aluminium foam terbentuk dari ruang atau void yang terjadi pada waktu proses campuran aluminium dan urea dikompaksi kemudian urea diuapkan pada waktu proses sintering tahap pertama (200°C). Didasarkan pada hal ini maka porositas dari *aluminium foam* akan sangat ditentukan oleh fraksi massa urea.



Gambar 7 Hubungan fraksi massa *space holder* terhadap porositas aluminium berpori

Kuat tekan dari aluminium berpori ini diuji menggunakan pengujian kompresi dengan menggunakan UTM. Tipikal kurve kompresi tegangan–regangan logam berpori terdiri dari tiga daerah yaitu (i) daerah elastis, dimana dinding pori-pori berdeformasi elastis (ii) daerah plateau, daerah dimana dinding pori-pori kolaps dan (iii) daerah densifikasi dimana antar dinding lubang pori sudah bertemu mengakibatkan terjadinya melonjaknya aliran tegangan tekan. Hasil uji kuat tekan menunjukkan bahwa kuat tekan aluminium berpori berbanding terbalik porositas (gambar 8(a)). Tegangan plateau ini masih terhitung rendah jika dibandingkan dengan hasil peneliti lain (Bafti, H. & Habibolahzahdeh, 2010). Pengujian kuat tekan dihentikan sewaktu daerah plateau tercapai, dan spesimen setelah diuji kuat tekan menunjukkan dinding pori yang kolaps (gambar 8(b)).



Gambar 8 (a) Kuat tekan aluminium berpori, dan (b) spesimen setelah diuji tekan

KESIMPULAN

1. *Aluminium foam* dengan urea sebagai *space holder* telah berhasil dibuat dengan metode metalurgi serbuk.
2. Morfologi dari pori-pori menunjukkan sebagian besar pori-pori berbentuk *closed cell* dengan variasi kecekungan pori-pori sedangkan sebagian lainnya berbentuk pori-pori yang saling berhubungan (*interconnected pores*).
3. Porositas yang dicapai pada fraksi massa *space holder* 50,60, 70 dan 80% berturut-turut adalah 62.6, 72.5, 80.1 dan 88.7%.
4. Kuat tekan *aluminium foam* masih rendah (tertinggi 2,71 MPa pada porositas 50%) dan berbanding terbalik dengan dengan porositasnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih yang sebesar-besarnya penulis sampaikan kepada Universitas Muhammadiyah Yogyakarta atas semua pembiayaan pada penelitian ini (Research Grant) dan kepada saudara Arif Prasetyo dan Bapak Muhamad Budi Nur Rahman yang telah membantu dalam pengumpulan data dan tulisan ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Ashby Y, M. F., Evans, A., Fleck, N. A., Gibson, L. J., Hutchinson, J. W. & Wadley, H. N. G. 2000. *Metal foams : A design guide*, Butterworth-Heinemann: Burlington.
- Asholt, P., Banhart, J & Fleck, N.A. 1999 *Metal Foam and Porous Metal Structure*.
- Bafti, H. & Habibolahzahdeh, 2010, Production of aluminium foam by spherical carbamide space holder technique-processing parameters, *Materials and Design*, 31, 4122-4129
- Baumeister, J., Banhart, J. and Weber, M. 1997, Aluminium foams for transport industry. *Materials & Design*, 18(4), 217-220.
- Bram, M., Stiller, C., Buchkremer, H.P., Stover, D. and Baur, H. 2000, High-porosity Titanium, stainless steel, and superalloy parts. *Advanced engineering materials*, 2(4), 196-199.
- Ito, K. & Kobayashi, H. 2006. Production and fabrication technology development of aluminum useful for automobile lightweighting. *Advanced engineering materials*, 8, 828-835.
- Niu, W., Bai, C., Qiu, G.B. and Wang, Q., 2009, Processing and properties of porous titanium using space holder technique. *Materials Science and Engineering: A*, 506(1-2), 148-151.
- Nugroho, A., W., 2014, Pengembangan material porous aluminum menggunakan teknik metalurgi serbuk dengan space holder paduan Pb-Sn, Prosiding Seminar Nasional Teknologi Terapan (SNTT) V, FGDT, Riau
- Rausch, G., Stöbener, K. and Bassan, D. , 2005, Improving Structural Crashworthiness Using Metallic Foams. In Nakajima, H. and Kanetake, N., eds. *Porous Metals and Metal Foaming Technology*, pp. 1-4 (The Japan Institute of Metals, Tokyo).
- Tang, H. P., Zhu, J. L., Wang, J. Y., Ge, Y. & Li, C., 2008, *Sound Absorption Characters of Metal Fibrous Porous Material*. In: Lefebvre, L. P., Banhart, J. & Dunand, D. C., eds. *Proceedings of the Fifth International Conference on Porous Metals and Metallic Foams*, 2008 Montreal Canada. DEStech Publication, Inc, p.181.