

# FABRIKASI ALUMINIUM BERPORI MEMANJANG (*ELONGATED PORE*) MENGUNAKAN METODE METALURGI SERBUK DENGAN MEMANFAATKAN UREA SEBAGAI *SPACE HOLDER*

Aris Wiro Nugroho

Jurusan Teknik Mesin fakultas Teknik  
Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

## Abstrak

*Penelitian untuk mengembangkan proses fabrikasi aluminium berpori dengan metalurgi serbuk dengan urea sebagai space holder telah dilakukan. Serbuk aluminium berbentuk flake dicampur dengan enam variasi fraksi massa urea sebagai space holder. Campuran tersebut kemudian di kompakasi dengan tekanan 300 kg/cm<sup>2</sup> sehingga membentuk green body. Spesimen diperoleh setelah sintreting dua tahap dilakukan atas green body yaitu sinteering suhu rendah, dan dilanjutkan dengan sinteering pada suhu mendekati titik leleh aluminium. Spesimen diuji struktur mikro dengan mikroskop optik dan ditentukan porositasnya dengan penimbangan dan pengukuran dimensinya. Sedangkan kekuatan tarik dan Modulus Youn's diperoleh dari uji tekan menggunakan UTM. Hasil penelitian menunjukkan bahwa aluminium berpori saling berhubungan dapat diproduksi, dengan porositas mencapai 49.662% pada fraksi massa space holder sebesar 0.6. Kurva-kurva berbentuk plateau yang dihasilkan dari pengujian kuat tekan menunjukkan bahwa nilai kekuatan menurun seiring dengan peningkatan porositas material.*

## 1. PENDAHULUAN

Material berpori (porous materials atau metals foam atau cellular materials) telah dikenal sebagai salah satu jenis material teknik yang memiliki kerapatan jauh lebih rendah dari material padat (solid materials). Dengan struktur berpori ini material tersebut dapat menampilkan banyak fitur, seperti kapasitas menyerap energi, sifat termal, bobot dan sifat peredaman suara yang unik. Fitur-fitur ini sangat menarik dalam aplikasi di industri transportasi (1997), industri mobil (Ito and Kobayashi, 2006), pesawat terbang dan kereta api (Rausch dan Stöbener, 2005) dan biomedis (Lee et al., 2009). Aplikasi penting yang lain adalah sebagai penyekat panas ataupun sebagai alat penukar kalor.

Secara garis besar proses pabrikan tersebut dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis metode, yaitu *liquid state processing* dan *solid state processing*. Dalam *liquid state processing* ini, logam dipanaskan sampai temperatur lelehnya sehingga mencair kemudian ditambahkan bahan pengembang atau gelembung gas diinjeksikan secara langsung. Selama proses pendinginan, gas terperangkap di dalamnya sehingga terbentuk pori-pori (rongga-rongga) di

Created with

dalam material tersebut. Aluminium berpori umumnya dibuat dengan proses lelehan ini dengan menambahkan agen pengembang seperti titanium hidrida atau zirkonium hidrida seperti yang telah dilakukan oleh Elliott (1956). Blok aluminium berpori secara komersial telah diproduksi menggunakan jenis proses lelehan ini oleh beberapa industri seperti ALPORAS, ALCAN, CYMAT, NORSK-HYDRO dan sebagainya (Ashby et al., 2000). Proses lelehan ini sesuai untuk produksi massal logam berpori dengan bentuk sederhana atau berupa lembaran yang umumnya diaplikasikan sebagai penyerap energi, peredam suara atau penyekat panas. Disamping itu, metode *liquid state processing* membutuhkan bahan pengembang, contohnya  $Ti_2H_2$ , yang relative mahal dan harus diimpor dari luar negeri.

Pembuatan logam berpori dengan bentuk pori yang lebih kompleks, proses fabrikasi dengan menggunakan metode *solid state processing* melalui metalurgi serbuk diakui lebih sesuai dan temperatur yang dibutuhkan selama proses fabrikasi lebih rendah dibanding dengan proses lelehan.. Rongga atau pori-pori diperoleh antara lain dari : sintering antar butir serbuk logam yang tidak sempurna (Oh et al., 2003, Güden et al., 2007), atau ruang kosong yang ditinggalkan oleh bahan pengisi/perancah (*space holder*), (Jee et al., 2000, Wang et al., 2009, Jorgensen and Dunand, 2010, Jorgensen and Dunand, 2011, Kwok et al., 2008), atau gas mulia yang diinjeksikan pada proses pemadatan kemudian mengembang pada waktu proses sintering (Murray and Dunand, 2006, Nugroho et al., 2010).

Oleh karena itu perlu dipilih suatu material space holder yang murah dan mudah untuk dibuang tanpa menambah proses fabrikasi. Didasarkan kebutuhan tersebut, maka pada penelitian ini urea akan digunakan sebagai material space holder. Urea tersebut disamping banyak tersedia, juga mempunyai titik uap yang rendah ( $130\text{-an}^\circ\text{C}$ ) sehingga dapat dibuang sekaligus pada waktu proses sintering dilakukan. Tulisan ini akan membahas kemungkinan pengembangan fabrikasi aluminium berpori dengan menggunakan urea sebagai *space holdernya* disertai dengan karakterisasinya.

## 2. METODE PENELITIAN

Serbuk aluminium murni dari MERCK German digunakan sebagai bahan utama. Urea berdiameter 0,2 mm dan 2 mm dipakai sebagai bahan space holder. Space holder divariasikan sesuai dengan fraksi massanya yaitu 10%, 20%, 30%, 40% 50% dan 60% dengan urea tanpa diayak terlebih dahulu. Penimbangan serbuk dan urea dilakukan dengan menggunakan timbangan digital dengan ketelitian 0,01 gram.

Created with



Gambar 1 Serbuk urea yang digunakan sebagai *space holder*

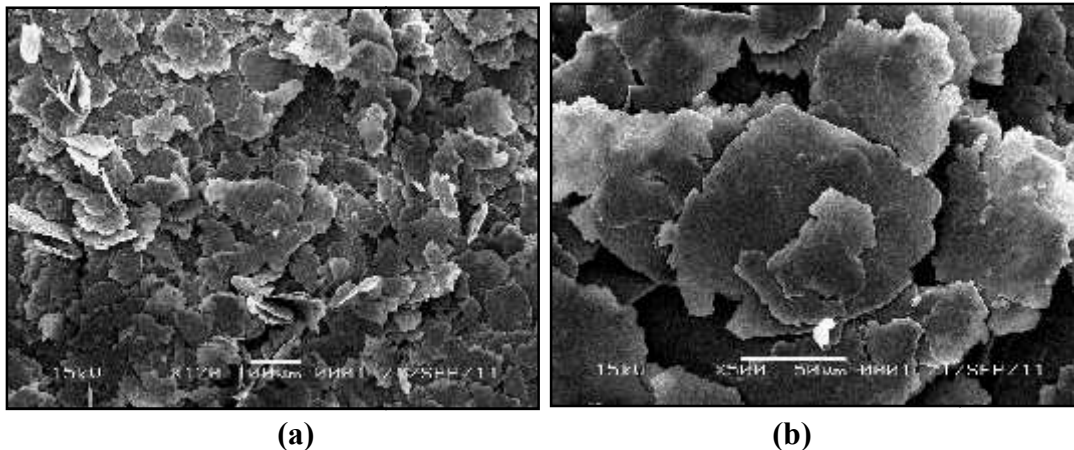
Serbuk urea dan serbuk alumnum kemudian dimixing dengan menggunakan tabung *shaker* Hasil mixing dari dua serbuk tersebut kemudian dituang ke dalam cetakan dan dikompaksi dengan mesin cetak briket hasil rakitan dengan penekanan satu arah (*single end compaction*) dan *punch* berada pada bagian atas dan bergerak dari atas ke bawah. Cetakan yang digunakan berbentuk silinder berdiameter dalam 12 mm dan tinggi 11 cm dari bahan baja dengan *pin ejector* stainless steel. Sampel dikompaksi dengan tekanan sebesar 300 Kg/cm<sup>2</sup> dan ditahan selama 3 menit. Hasil kompaksi (*green body*) ditimbang dan diukur dimensinya. Selanjutnya disinter di *naberthem furnace*. Parameter temperatur yang dipakai sebesar 200°C dan ditahan selama 60 menit lalu temperatur dinaikkan menjadi 550°C dengan waktu tahan 60 menit. Pendinginan dilakukan dengan menonaktifkan pemanas dan membiarkan temperatur turun sampai dengan temperature kamar dimana sampel tetap diletakkan di dalam furnace. Hasil dari proses sinter dilakukan pengamatan makro dan mikro struktur dengan menggunakan mikroskop optik. Pengamatan dengan SEM dilakukan untuk menentukan morfologi dan ukuran serbuk beserta komposisi kimianya. Pengukuran densitas relatif dilakukan dengan pengukuran dimensi dan penimbangan spesimen. Dari densitas maka diperoleh densitas relatif, dimana hasil tersebut digunakan untuk menghitung porositas. Selanjutnya dilakukan pengujian kuat tekan menggunakan *universal testing machine* (UTM) untuk mengetahui sifat mekanis dari aluminium berpori memanjang yang dihasilkan dengan kecepatan pembebanan sebesar 1 mm/menit.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Karakterisasi bahan

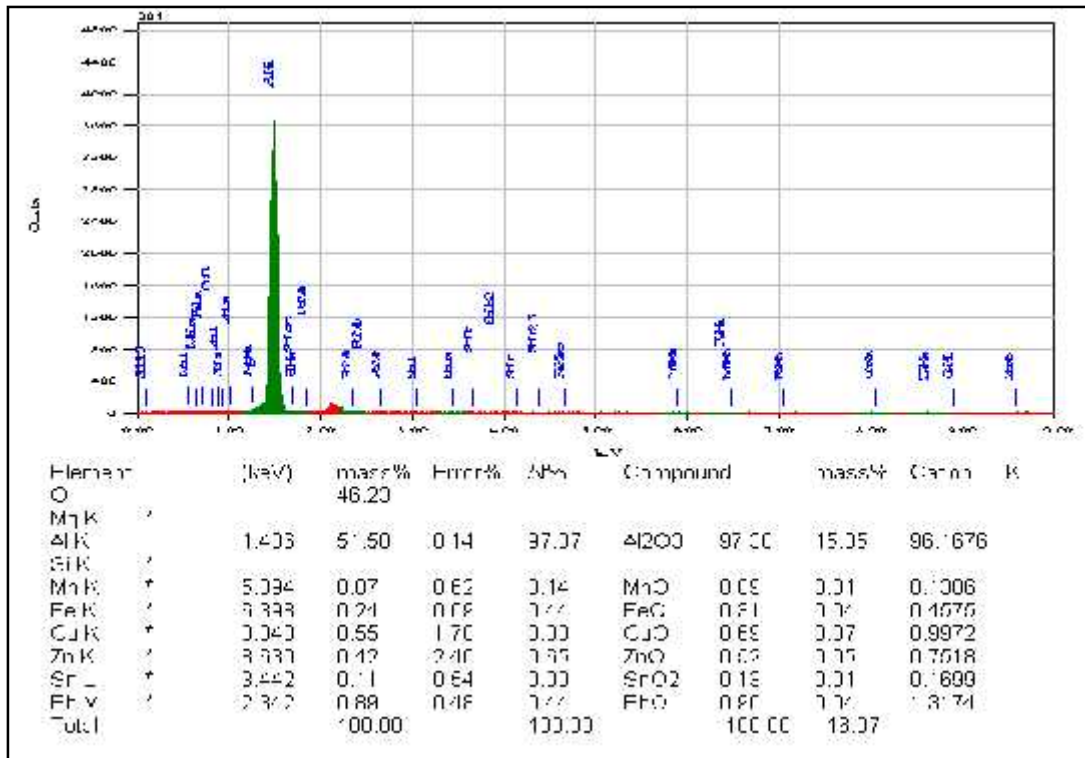
Created with

Serbuk aluminium yang diperoleh dari Merck, German, dipakai sebagai bahan utama. Untuk mendapatkan gambaran tentang bentuk dan ukuran serbuk aluminium, dilakukan pemotretan dengan SEM (Gambar 2). Dari Gambar 2 diketahui bahwa bentuk serbuk aluminium yang digunakan dalam penelitian ini adalah bentuk *flake*. Sedangkan hasil pengolahan pencitraan SEM menggunakan *software* Adobe Photoshop 7 menunjukkan bahwa ukuran rata-rata serbuk aluminium adalah  $<100\ \mu\text{m}$ .



**(a)** **(b)**  
**Gambar 2 Bentuk dan ukuran dari serbuk aluminium yang digunakan (a), dengan perbesaran yang lebih tinggi (b)**

Selanjutnya dilakukan pengujian dengan *Energy Dispersive X-Ray Analysis* (EDX) untuk mengetahui gambaran komposisi serbuk aluminium dengan lebih mendetail, Gambar 3 menunjukkan hasil pengujian EDX yang menunjukan energi spektrum unsur-unsur yang terkandung dalam serbuk aluminium. Apabila ditinjau dari % 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).



Gambar 3 Hasil Uji komposisi serbuk alumunium dengan EDX

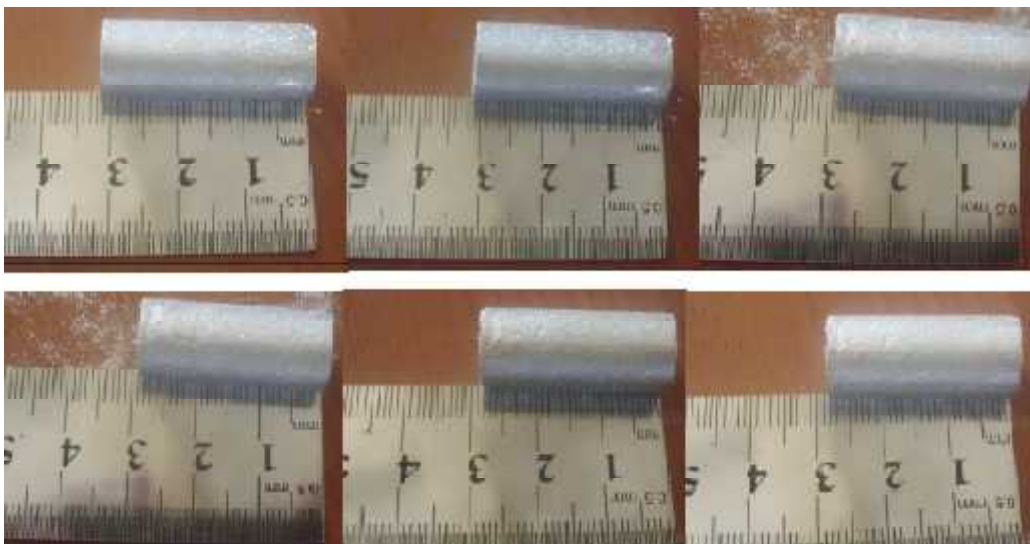
### 3.2. Green Body (Serbuk setelah Dikompaksi)

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 untuk kontak antar partikel logam secara langsung yang sangat bermanfaat untuk langkah selanjutnya yaitu sintering (Zhao, 2000). Pada penelitian ini diperoleh tekanan kompaksi sebesar 300 kg/cm<sup>2</sup> menghasilkan kekuatan *green body* yang cukup untuk proses dan perlakuan berikutnya dan bentuk dari space holdernya tetap terjaga. Untuk tekanan yang lebih rendah akan menyebabkan rendahnya kekuatan *green body*, sedangkan untuk tekanan yang terlalu tinggi akan mengakibatkan rusaknya *space holder*. Tekanan kompaksi tersebut masih dimungkinkan untuk diturunkan bila binder seperti parafin atau PMMA ditambahkan pada campuran serbuk aluminium, namun hal itu akan menimbulkan naiknya biaya dari proses tersebut, menghasilkan gas yang dapat mengkontaminasi serbuk dan menambah waktu pada waktu proses pencampuran.



Bentuk urea sebagai *space holder* terlihat dapat memberikan pergerakan yang mudah dan pengaturan dari partikel-partikel aluminium selama proses kompaksi. Hal ini akan memberikan distribusi dari pori-pori makro yang homogen pada seluruh green body dan memberikan kesaling hubungan yang baik dari *space holder*. Bentuk dari pori-pori tersebut juga menunjukkan replikasi dari bentuk awal space holder urea. Hal ini menggambarkan bahwa ukuran dan bentuk dari pori-pori makro yang dihasilkan tersebut dapat dikontrol dengan mudah. Dengan mengatur porositas total dan distribusi dari ukuran pori-pori pada material berpori ini adalah merupakan kunci utama untuk memproduksi material yang memiliki sifat-sifat yang diinginkan sesuai dengan aplikasinya.

Hasil dari proses kompaksi untuk semua variabel memiliki dimensi tinggi bervariasi. Bentuk dan dimensi spesimen hasil kompaksi yang telah disinter ditunjukkan oleh gambar 4.

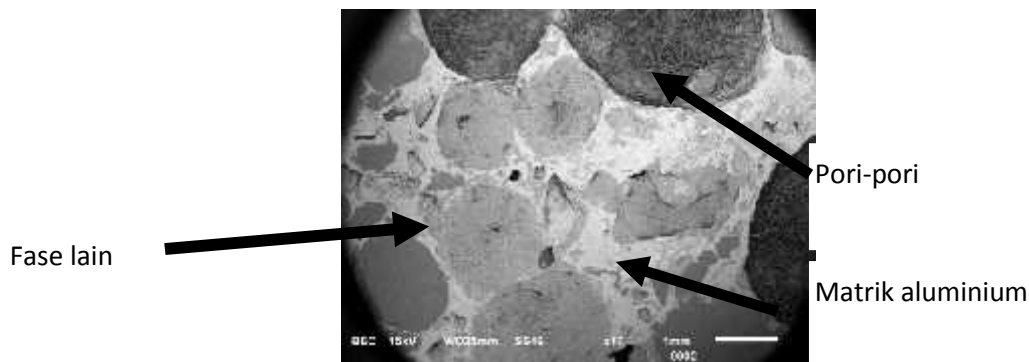


**Gambar** Error! No text of specified style in document. Bentuk dan dimensi dari green body dengan beberapa variasi fraksi massa urea

Seperti telah dijelaskan di dalam metodologi penelitian bahwa pada setiap fraksi volume dari space holder diberikan serbuk aluminium dengan berat yang sama, namun dihasilkan *green body* yang berdimensi tinggi yang berbeda untuk tiap fraksi volume. Ini mengindikasikan kemampuan untuk menghasilkan porositas yang berbeda pula. Semakin tinggi green bodynya maka nantinya akan menghasilkan porositas yang lebih tinggi, atau dengan kata lain foamibilitasnya meningkat secara linier terhadap fraksi volume.

### 3.3. Sintering

Sintering dilakukan dalam dua tahap. Pertama, sintering pada suhu rendah ( $200^{\circ}\text{C}$ ) dan ditahan selama 1 jam. Hal ini dimaksudkan untuk menguapkan *space holder* keluar meninggalkan ruang-ruang kosong/ pori-pori makro, karena suhu penguapan urea ini berkisar  $130^{\circ}\text{C}$ . Kemudian dilanjutkan dengan sintering pada suhu  $550^{\circ}\text{C}$  untuk memberikan kesempatan partikel-partikel aluminium saling berdifusi dan menyatu menjadi struktur yang kuat. Ketidak sempurnaan dalam pembuangan *space holder* dari specimen akan menghasilkan fase yang berbeda di sekitar *space holder* yang dicitrakan dengan daerah lebih gelap dibandingkan dengan daerah yang lain. Gambar 5 merupakan citra dari Backscattered Electron-SEM yang menampilkan daerah dengan fase tersebut yang berbeda.



Gambar 5. Citra dari Backscattered Electron SEM yang menunjukkan adanya ketidaksempurnaan pembuangan *space holder* menghasilkan fase baru

### 3.4 Porositas dan Morfologi dari lubang pori

Setelah proses sintering maka specimen kemudian didinginkan di dalam *furnace* sampai dengan temperatur kamar kemudian dibersihkan dan seperti ditunjukkan oleh gambar 6 dan diukur dimensinya. Specimen tanpa *space holder* juga diukur sebagai kontrol. Makro pori dari specimen terlihat jelas menunjukkan terbuangnya *space holder* pada waktu proses sintering terjadi di tempat secara random. Di daerah dimana *space holder* dekat dengan permukaan maka akan menjadi jalan untuk menguapnya *space holder* urea yang kemudian menarik *space holder* di sebelah dalam untuk keluar.

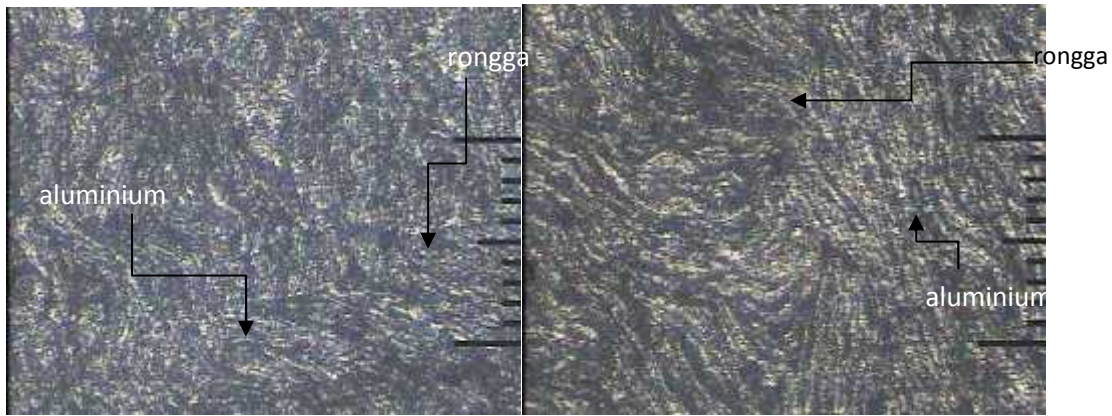


Gambar 6. Spesimen setelah proses sintering langsung diambil dari furnace dilihat dari samping

Spesimen kemudian dipotong menggunakan gergaji tangan dengan ukuran tinggi 12 mm untuk diukur porositasnya dengan penimbangan dan pengukuran dimensi dan diampelas untuk pengamatan struktur mikro dan pengujian tekan (gambar 6)

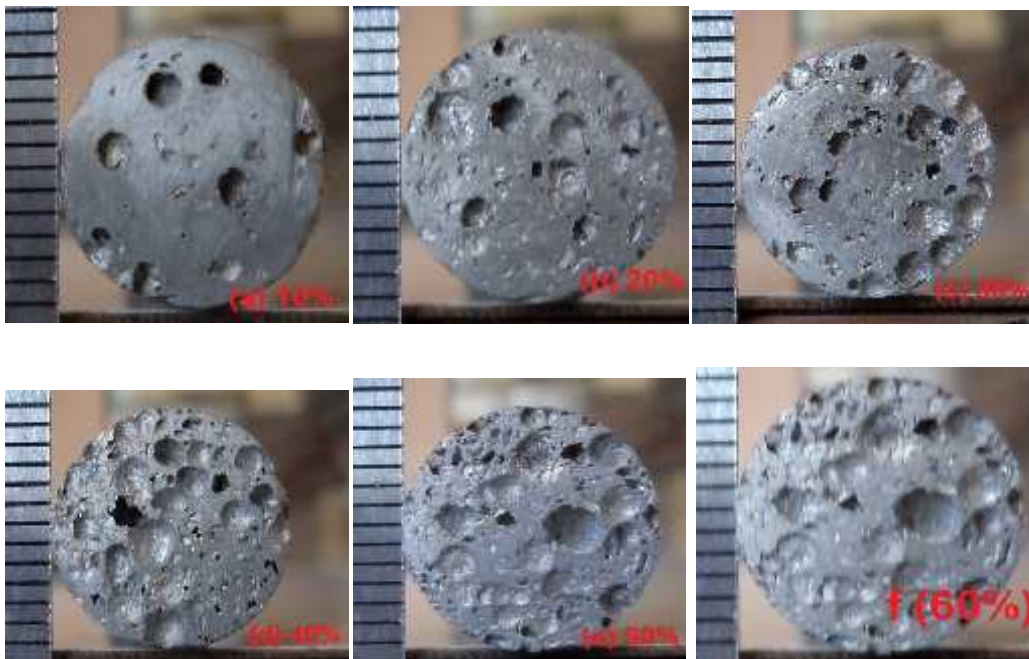
Untuk material *tanpa space holder*, setelah sintering diperoleh porositas sebesar 8,9 % (Gambar 7). Porositas ini turun sedikit dibanding pada kondisi *green body* (sebelum sintering). Hal ini disebabkan oleh telah berdifusinya partikel-partikel aluminium selama proses sintering. Namun demikian masih terlihat pori-pori mikro yang terbentuk dari celah antar partikel dari bagian antar partikel yang tidak kontak secara langsung sehingga tidak terjadi disosiasi di bagian tersebut. Pori-pori mikro ini dapat berlaku sebagai retak awal di dalam matrik aluminium, oleh karena itu harus diusahakan sekecil mungkin apabila diinginkan material berpori berkekuatan tinggi. Kekuatan dari material berpori ini ditentukan oleh *neck* yang terbentuk antar partikel serbuk. Bentuk dan ukuran serbuk juga menentukan porositas yang dihasilkan. Pada penelitian ini serbuk berbentuk flake dan ukuran di bawah  $100\mu\text{m}$  menghasilkan *aluminium solid* dengan porositas rendah (8,9%) dengan ukuran pori-pori  $10\text{-}30\ \mu\text{m}$ .





Gambar 1 Struktur mikro aluminium yang disinter di daerah tanpa *space holder*.

Gambar 8 secara umum dapat dikatakan bahwa porositas akan meningkat seiring dengan kenaikan fraksi volume dari *space holder*. Kenaikan porositas ini identik dengan kenaikan foamabilitas dari green body. Pada aluminium dengan *space holder* yang bervariasi dapat dilihat bahwa distribusi dari pori-pori makro hampir merata diseluruh spesimen. Bentuk dari lubang pori juga menyerupai dari bentuk awal *space holder*. Aluminium berpori dengan butiran urea yang berdiameter sampai dengan 1,8 mm menunjukkan porositas yang lebih merata di seluruh bagian dengan porositas total mencapai 49.66 %.



Created with

**Gambar 2** Foto makro dari aluminium berpori dengan variasi bentuk lubang pori yang berasal dari space holder berbentuk (a) 10% (b) 20% (c) 30%, (d) 40%, (e) 50% dan (f) 60%

Lubang-lubang pori yang saling berhubungan juga terlihat pada poroistas yang tinggi dan menunjukkan kuantitas lebih banyak dan jelas (gambar 8(d-f)). Pori-pori makro yang menunjukkan bekas urea mengindikasikan aliran penyubliman urea selama pemanasan tahap pertama. Pada aluminium berpori yang berasal dari urea dengan porositas 32,39-49,66% kesaling hubungan antar lubang-lubang makro diameter 2 mm ditunjukkan oleh lubang kecil berwarna gelap (Gambar 9)

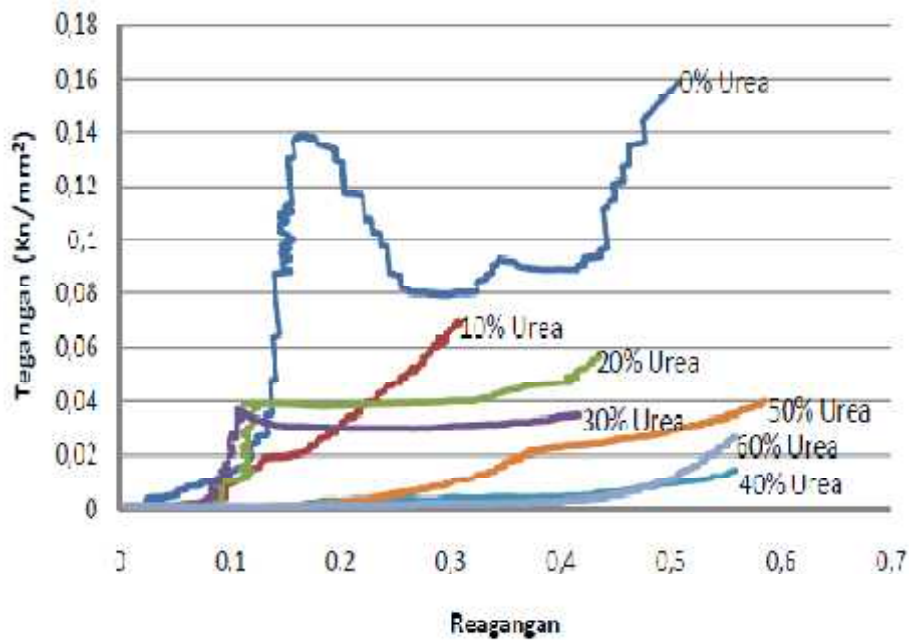


Lubang-lubang interkoneksi

Gambar 3 Foto makro dari aluminium berpori dengan lubang saling terkoneksi

### 3.5. Sifat mekanik

Sifat mekanik dari aluminium berpori ini diuji menggunakan pengujian kompresi test (Gambar 10). Kurve kompresi tegangan–regangan dari spesimen-spesimen menunjukkan tipikal dari kurva logam berpori yang terdiri dari tiga daerah yang berbeda yaitu (i) daerah deformasi elastis, (ii) daerah plateau dan (iii) daerah densifikasi dimana antar dinding lubang pori sudah bertemu mengakibatkan terjadinya melonjaknya aliran tegangan tekan. Untuk aluminium dengan fraksi volume *space holder* = 0, daerah plateau berada dalam range yang lebih sempit dibanding dengan spesimen yang lain, namun mempunyai tegangan plateau dan Modulus Young's yang lebih tinggi .



Gambar 10 Kurva tegangan-regangan dari aluminium dengan variasi porositas

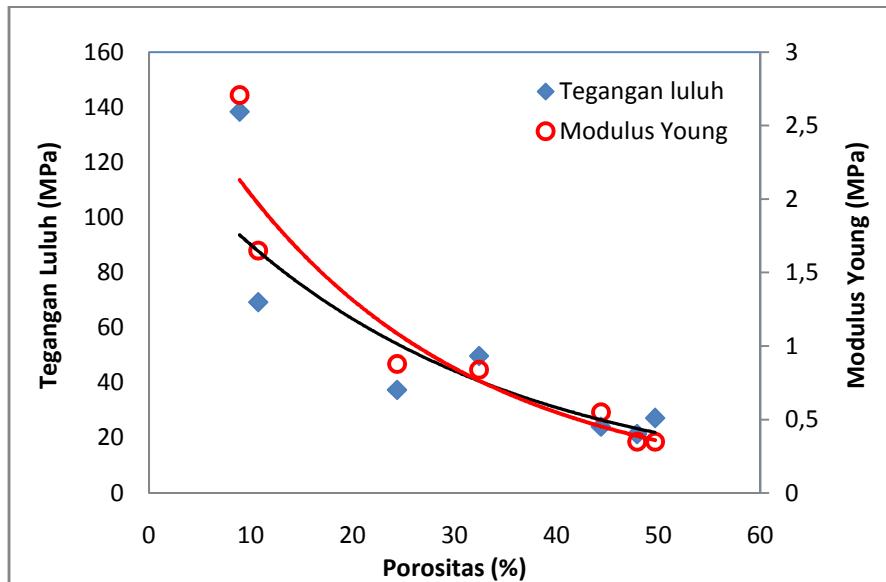
Pada gambar 10 dapat dilihat bahwa kurva akan semakin landai seiring dengan bertambahnya massa/volume urea (*carbamide*) dalam *green compact* dan semakin meningkat porositas spesimen. Hal ini menunjukkan semakin tinggi porositas hasil *disolusi* maka kekuatan tekan semakin rendah

Dari gambar 11 dapat dilihat bahwa tegangan luluh dari aluminium berpori semakin rendah seiring dengan bertambahnya porositas atau fraksi volume dari space holder (138 MPa untuk porositas 8,91%, 69, 28 MPa untuk porositas 10,72%, dan selanjutnya dapat dilihat pada Tabel 4.1). Sejenis dengan hal itu, nilai dari Modulus Young's juga menunjukkan penurunan seiring dengan kenaikan porositas.

Tabel 1. Tegangan luluh dengan porositas untuk setiap spesimen

Fraksi massa space holder (%)	Tegangan Luluh (MPa)	Modulus Young (MPa)	Porositas (%)
0%	138,44	2,71	8,90
10%	49,28	1,65	10,72
20%	49,77	0,84	32,39
30%	37,42	0,88	24,34
40%	24,07	0,55	44,35

50%	21,42	0,35	47,89
60%	27,25	0,35	49,66



**Gambar 11.** Grafik tegangan luluh dan Modulus Young terhadap porositas untuk masing-masing spesimen.

Pada spesimen 0% urea memiliki nilai tegangan luluh yang paling tinggi diantara spesimen lainnya, hal ini dikarenakan sedikitnya porositas yang terkandung di dalamnya dengan tegangan luluh sebesar 138,44 MPa, sedangkan untuk spesimen 50% urea menerima tegangan luluh yang paling rendah berada di poin 21,42 MPa, hal ini disebabkan besarnya persentase porositas di dalamnya. Penelitian yang dilakukan oleh Habibolahzadeh (2010) mempunyai hasil yang mirip dengan penelitian ini.

#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Aluminium berpori dengan porositas sampai dengan 49,66.2% dari fraksi massa urea 60% telah dapat difabrikasi menggunakan urea sebagai bahan *space holder* .
2. Fraksi massa dari *space holder* sangat menentukan porositas aluminium berpori, dimana semakin besar fraksi volume dari *space holder* menghasilkan porositas yang semakin besar.

3. Kekuatan dan modulus elastis dari aluminium berpori dipengaruhi porositas dari material, dimana fraksi massa dari *space holder* sangat menentukan porositas.

Dari hasil penelitian ini, masih memberikan banyak pertanyaan dan peluang untuk dilakukan penelitian lanjutan dan langkah-langkah untuk menyempurnakan produk aluminium berpori, yaitu :perlu dilakukan studi lebih lanjut tentang morfologi dan kajian komposisi unsur dari lubang pori dan penelitian tentang pengaruh penambahan binder dan suhu sintering terhadap kekuatan dan elastik modulus dari aluminium berpori memanjang.

### **Ucapan Terima kasih**

Ucapan terimakasih kami sampaikan kepada Universitys Muhammadiyah Yogyakarta yang telah membiayai penelitian ini.

### **5. Daftar Pustaka**

- ASHBY, 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.
- BAFTI, H. & HABIBOLAHZADEH, 2010, Production of alumnium foam by spherical carbamide space holder technique-processing paramaters, *Materials and Desaign*, 31, 4122-4129
- BANHART, J. 2001. Manufacture, characterization and application of cellular metals and metal foams. *Progress in Materials Science*, 46, 559-632.
- BAUMEISTER, J., BANHART, J. & WEBER, M. 1997. Aluminium foams for transport industry. *Materials & Design*, 18, 217-220.
- ERK, K. A., DUNAND, D. C. & SHULL, K. R. 2008. Titanium with controllable pore fractions by thermoreversible gelcasting of TiH<sub>2</sub>. *Acta materialia*, 56, 5147-5157.
- GÜDEN, M., ÇELIK, E. & INODOT, A. 2007. Effects of compaction pressure and particle shape on the porosity and compression mechanical properties of sintered Ti6Al4V powder compacts for hard tissue implantation. *Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials*, 85, 547-555.
- ITO, K. & KOBAYASHI, H. 2006. Production and fabrication technology development of aluminum useful for automobile lightweighting. *Advanced engineering materials*, 8, 828-835.
- JEE, C. S. Y., OZGUVEN, N., GUO, Z. X. & EVANS, J. R. G. 2000. Preparation of high porosity metal foam. *Metallurgical Materials Transaction*, 31B, 1345-1352.



- JORGENSEN, D. J. & DUNAND, D. C. 2010. Ti-6Al-4V with micro- and macropores produced by powder sintering and electrochemical dissolution of steel wires. *Materials Science and Engineering: A*, 527, 849-853.
- JORGENSEN, D. J. & DUNAND, D. C. 2011. Structure and mechanical properties of Ti-6Al-4V with a replicated network of elongated pores. *Acta materialia*, 59, 640-650.
- KWOK, P. J., OPPENHEIMER, S. M. & DUNAND, D. C. 2008. Porous Titanium by electro-chemical Dissolution of Steel Space-holders. *Advanced engineering materials*, 10, 820-825.
- LEE, J., KIM, H. & KOH, Y. 2009. Highly porous titanium (Ti) scaffolds with bioactive microporous hydroxyapatite/TiO<sub>2</sub> hybrid coating layer. *Materials Letters*, 63, 1995-1998.
- LONG, M. & RACK, H. J. 1998. Titanium alloy in total joint replacement-a materials science perspectives. *Biomaterials*, 19, 1621-1639.
- LU, T., STONE, H. & ASHBY, M. 1998. Heat transfer in open-cell metal foams. *Acta materialia*, 46, 3619-3635.
- MURRAY, N. & DUNAND, D. 2006. Effect of initial preform porosity on solid-state foaming of titanium. *Journal of Materials Research*, 21, 1175-1188.
- NUGROHO, A., LEADBEATER, G. & DAVIES, I. 2010. Processing of a porous titanium alloy from elemental powders using a solid state isothermal foaming technique. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*, 21, 3103-3107.
- OH, I. H., NOMURA, N., MASAHASHI, N. & HANADA, S. 2003. Mechanical properties of porous titanium compacts prepared by powder sintering. *Scripta Materialia*, 49, 1197-1202.
- PILON, D., PANNETON, R., SGARD, F. & LEFEBVRE, L. P. 2004. Influence of micro-structural properties on the acoustic performances of novel metallic foams. *Canadian Acoustics*, 32, 24-25.
- SCHWARTZ D.S, SHAH D.S, LEDRICH R.J, MARTIN R.L & D.A., D. Year. Porous and cellular materials for structural applications. In: SCHWARRTZ D.S, SHIH D.S, EVANS AG & HNG, W., eds. MRS Symposium 1998. 225.
- TANG, H. P., ZHU, J. L., WANG, J. Y., GE, Y. & LI, C. Year. 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.
- WANG, X., LI, Y., XIONG, J., HODGSON, P. D. & WEN, C. E. 2009. Porous TiNbZr alloy scaffolds for biomedical applications. *Acta Biomaterialia*, 5, 3616-3624.