

Pabrikasi *Aluminum Foam Sandwich* Menggunakan Metoda Metalurgi Serbuk dengan Urea Sebagai *Space Holder*

Aris Widyo Nugroho, Muhammad Budi Nurrahman, Anung Tri Setyawan

Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

Jl. Lingkar Selatan, Kasihan Bantul DIY

E-mail : ariswidyo.nugroho@umy.ac.id

ABSTRAK

Aluminum foam sandwich merupakan salah satu jenis material yang menjanjikan karena di samping ringan, material ini memiliki kekuatan dan kemampuan menyerap energy yang tinggi. Penelitian ini mengembangkan prabrikasi aluminum foam sandwich menggunakan metalurgi serbuk dengan urea sebagai *space holder*.

Pembuatan specimen *Aluminum foam sandwich* dilakukan dengan cara mencampur serbuk aluminum dan serbuk urea dengan variasi fraksi massa urea sebesar 50%, 60% dan 70% dengan menggunakan mixer. Campuran serbuk tersebut kemudian dimasukkan ke dalam *aluminum hollow* dan dikompaksi. Sintering dilakukan terhadap *green body* tersebut dalam dua tahap yaitu 200°C dan 650°C dengan holding time masing-masing 1 jam. Spesimen kemudian diamati strukturmikro, struktur makro, dan kekuatan tekannya.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa *aluminum foam sandwich* dapat diproduksi dengan metode metalurgi serbuk dengan urea sebagai *space holder* dimana pori-pori yang terbentuk didalam *aluminum foam sandwich* menyerupai bentuk dan ukuran dari urea. Pori-pori mikro yang terbentuk akibat kurang sempurnanya difusi antar partikel serbuk selama proses sintering masih teramati. Hasil pengujian tekan menunjukkan tegangan luluh pada fraksi massa urea 50% adalah 10,08 MPa, pada fraksi massa urea 60% sebesar 6,64 MPa, sedangkan pada fraksi massa urea 70% 3,27 MPa.

Kata kunci :aluminum foam, material berpori, metalurgi serbuk

PENDAHULUAN

Aluminum foam sandwich merupakan gabungan dari lembaran yang terdiri atas aluminum berpori (*aluminum foam*) yang dilapisi lembaran pejal pada permukaannya. Struktur *sandwich* ini menghasilkan fitur yang unik yaitu kekuatan dan kekakuan yang tinggi dikombinasikan dengan massa yang rendah (Alulight,2006). Karena fitur yang menarik tersebut maka dapat diaplikasikan di Industri transportasi (Baumeister et al., 1997) industri mobil mobil (Ito and Kobayashi, 2006), pesawat terbang dan kereta api (Rausch dan Stöbener, 2005).

Secara garis besar proses pabrikasi material berpori 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 seperti titanium hidrida (TiH_2) atau zirkonium hidrida (ZrH_2), atau gelembung gas diinjeksikan secara langsung, atau dengan metoda *replica casting*. Blok aluminum berpori atau yang berbentuk *sandwich* secara komersial telah diproduksi menggunakan jenis proses lelehan ini oleh beberapa industri seperti ALPORAS, ALCAN, CYMAT, NORSK-HYDRO dan sebagainya (Ashby et al., 2000). Namun demikian harga foaming agent seperti TiH_2 dan ZrH_2 beberapa kali lipat dari harga logam dasarnya (aluminum), ditambah lagi proses pencairan aluminum yang mencapai temperatur 850°C akan menambah biaya produksi.

Proses pabrikasi dengan menggunakan metode *solid state processing* melalui metalurgi serbuk,

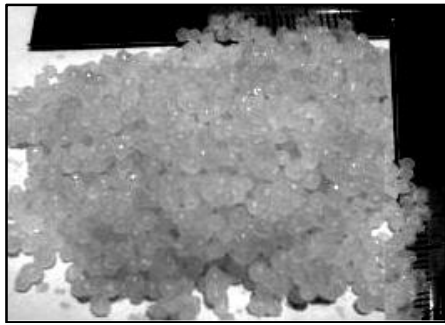
temperatur yang dibutuhkan selama proses fabrikasi lebih rendah dibanding dengan proses lelehan dan tidak membutuhkan *foaming agent* yang mahal. Metode *solid state forming* ini dikenalkan pada awalnya dalam fabrikasi titanium berpori. Rongga atau pori-pori diperoleh antara lain dari : sintering antar 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*) yang dapat berupa polymer (Jee et al., 2000) , amonium hidrogen bikarbonat (Wen et al., 2001, Wang et al., 2009), carbamide (Bram et al., 2000, Niu et al., 2009), atau foaming agent dipadatkan kemudian mengembang pada proses sintering (Nansaarng dan Sopha, 2008); atau gas mulia yang diinjeksikan pada proses pemadatan kemudian mengembang pada waktu proses sintering sintering (Murray and Dunand, 2006, Nugroho et al., 2010). Beberapa peneliti melaporkan telah berhasil dalam pembuatan aluminum foam dengan mengadopsikan penggunaan *space holder* dalam pabrikasi titanium foam (Bafti dan Habibolahzahdeh, 2010, Nugroho, 2013).

Penelitian ini menginvestigasi tentang pengembangan *aluminum sandwich foam* menggunakan metode metalurgi serbuk dengan urea sebagai *space holder*. Porositas dan pengaruhnya terhadap sifat kuat tekan *aluminum sandwich foam* juga dibahas di paper ini.

METODE PENELITIAN

Serbuk aluminum murni dari MERCK German digunakan sebagai bahan utama, sedangkan pupuk

urea diperoleh di toko pertanian berdiameter 0,2 mm dan 2 mm sebagai bahan space holder (gambar 1).



Gambar 1. Urea sebagai bahan *space holder*

Proses pembuatan pertama diawali dengan pengayakan urea dengan mesh 16/18 untuk mendapatkan ukuran yang relatif sama. Setelah pengayakan urea, dilakukan penimbangan serbuk aluminium dan urea dengan 3 fraksi massa urea yaitu 50%, 60% dan 70%. Selanjutnya dilakukan pencampuran serbuk di tiap fraksi massa di dalam tabung pencampur. Campuran tersebut kemudian di masukkan ke dalam plat alumunium yang berbentuk kotak memanjang dengan ukuran lebar 16 mm dan tinggi 10 mm dengan panjang 110 mm yang sudah diletakkan di dalam wadah kusus (*holder*) untuk kompaksi .

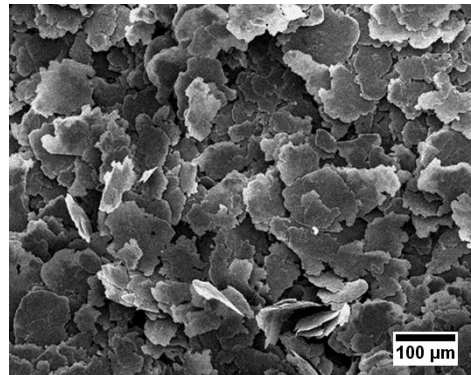
Proses kompaksi dilakukan dengan menggunakan mesin cetak briket dengan penekanan satu arah (*single end compaction*) dan *punch* berada pada bagian atas dan bergerak dari atas ke bawah dari bahan baja yang telah diharden. Spesimen dikompaksi dengan tekanan sebesar 300 kg/cm² dan ditahan selama 3 menit. Spesimen dibuat berjumlah 3 buah untuk masing-masing variasi massa. Satu buah aluminium *skin* tanpa campuran serbuk dan spesimen kompaksi (*green body*) ditimbang dan diukur dimensinya. Selanjutnya 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 60 menit. Pendinginan dilakukan dengan menonaktifkan pemanas dan membiarkan spesimen tetap di dalam dapur pemanas sampai temperature kamar

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 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.

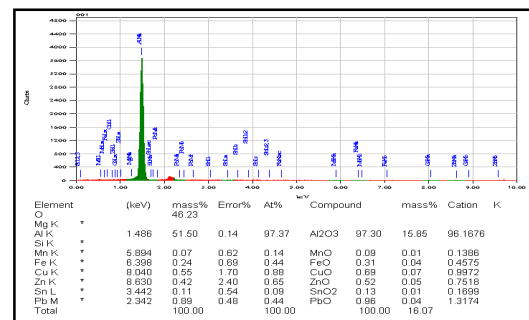
DATA DAN PEMBAHASAN

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 3). Dari Gambar 3 diketahui bahwa bentuk serbuk aluminium yang digunakan dalam penelitian ini adalah bentuk *flake* dengan ukuran rata-rata serbuk aluminium adalah $\leq 100 \mu\text{m}$.



Gambar 2 Hasil SEM yang menggambarkan serbuk aluminium yang digunakan berbentuk *flake* dengan ukuran $\leq 100 \mu\text{m}$

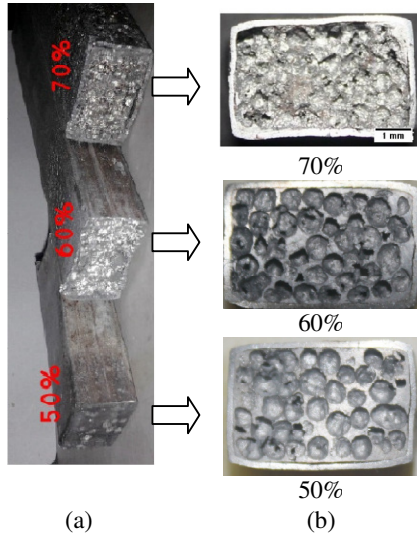
Selanjutnya dilakukan pengujian dengan *Energy Dispersive X-Ray Analysis* (EDX) untuk mengetahui gambaran komposisi serbuk aluminium dengan lebih mendetail, Gambar 4 menunjukkan hasil pengujian EDX yang menunjukan energi spektrum unsur-unsur yang terkandung dalam serbuk aluminium. Apabila ditinjau dari % 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 aluminium dengan EDX

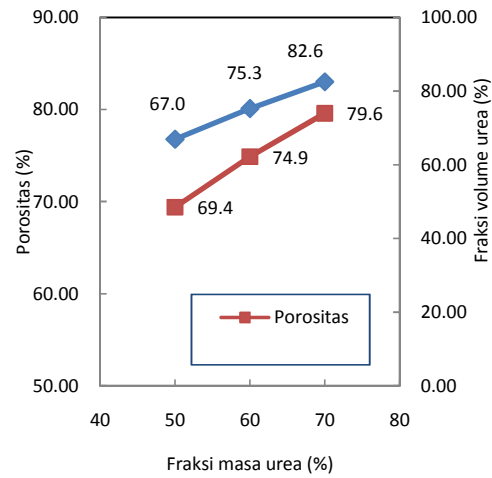
Aluminium serbuk yang telah dicampur dengan urea dimasukkan dalam skin aluminium kemudian dipanaskan di dalam furnace untuk proses penguapan

space holder dan penyinteran. Hasil dari proses sintering berupa *aluminum foam sandwich* (gambar 4 (a)). Dari pengamatan secara visual tidak terjadi perubahan geometri setelah dilakukan penyinteran.



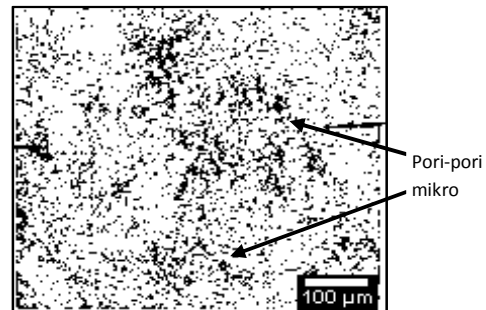
Gambar 4. Aluminum foam sandwich hasil sinter (a), fotomakro aluminum foam sandwich pada beberapa variasi fraksi massa urea, 50%, 60% dan 70%.

Gambar 4(b) menunjukkan bahwa aluminum foam sandwich pada semua fraksi massa urea mempunyai pori-pori tersebar merata, ukuran pori-pori mengikuti besar ukuran urea. Namun pada spesimen dengan fraksi massa 60% terlihat pori-pori lebih banyak dibanding variabel 50% dan pori-pori teramati tidak beraturan karena sebagian dinding dari pori-pori yang terbentuk sudah saling berhubungan (*interconnected pores*). Pada fraksi urea yang lebih tinggi (70%) *interconnected pores* semakin banyak sehingga bentuk pori-pori menjadi semakin tidak beraturan dan porositas semakin tinggi. Di beberapa tempat dari spesimen teramati *skin* tidak menyatu (delaminasi) dengan *core*-nya (*aluminum foam*). Hal ini diduga disebabkan oleh adanya lapisan oksida aluminum yang terbentuk di permukaan *skin*. Oksida tersebut terbentuk secara spontan bila aluminum bersentuhan dengan udara dan memiliki temperatur lebur yang lebih tinggi dari aluminum. Pada suhu sintering 650°C lapisan tersebut menghambat terjadinya difusi antara aluminum serbuk dengan *skin*-nya. Pengaruh oksida ini dapat dikurangi dengan pemberian kompaksi yang cukup sehingga dapat memecah lapisan oksida yang terbentuk. Hal tersebut terjadi pada daerah yang terdeformasi relative kecil. Dari gambar 4(b), delaminasi terutama pada daerah yang terdeformasi lebih besar sehingga tekanan pada daerah tersebut menjadi berkurang dan diduga lapisan oksida tidak rusak.



Gambar 5. Pengaruh fraksi massa urea terhadap porositas dan fraksi volum dari aluminum foam.

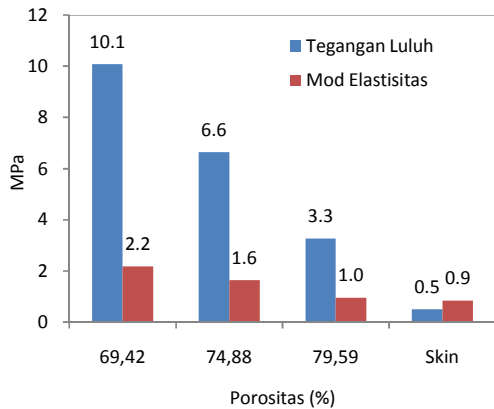
Dengan menggunakan metode penimbangan dan perhitungan maka diperoleh porositas dan fraksi volume dari aluminum foam sandwich yang terbentuk seperti ditunjukkan oleh gambar 5. Pori-pori aluminum foam sandwich terbentuk dari ruang atau void yang terbentuk pada waktu proses campuran aluminum dan urea dikompaksi kemudian urea diuapkan pada waktu proses sintering tahap pertama (200°C). Didasarkan pada hal ini maka porositas dari aluminum foam akan sangat ditentukan oleh fraksi massa urea. Kenaikan fraksi massa urea akan meningkatkan porositas dan fraksi volumenya. Nilai porositas dan fraksi volum mendekati harga yang relatif sama.



Gambar 6. Foto mikro aluminum hasil sintering pada 650°C selama 1 jam.

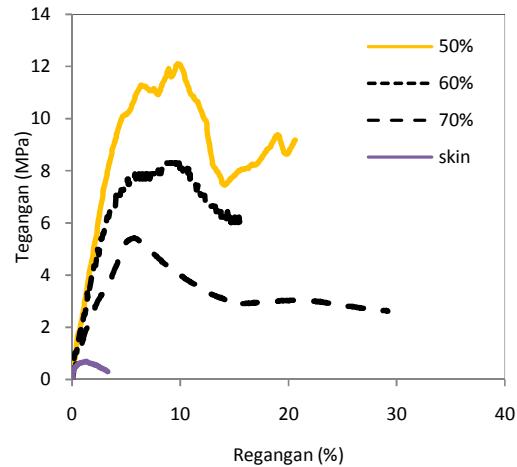
Aluminum foam sandwich hasil dari proses metalurgi serbuk ini memiliki dua jenis pori-pori yaitu (i) pori-pori makro (gambar 4) dan (ii)pori-pori mikro (gambar 6). Pada daerah yang tidak terdapat pori-pori makro yang diamati dengan mikroskop optik terlihat warna hitam yang tersebar merata permukaan spesimen yang disebut dengan pori-pori mikro. Pori-pori mikro ini terbentuk karena faktor tekanan kompaksi yang kurang besar dan temperatur

sintering yang kurang tinggi. Tekanan kompaksi yang kurang menghasilkan kontak antar serbuk aluminium yang tidak maksimal dan tidak dapat memecah lapisan oksida yang terbentuk pada serbuk, sedangkan temperatur yang kurang tinggi akan menghasilkan proses difusi yang tidak sempurna sehingga pada waktu necking batas dinding antar serbuk dapat menghambat terjadinya homogenisasi antar serbuk yang pada akhirnya membentuk pori-pori mikro. Namun demikian, untuk metode *space holder* ini tekanan kompaksi tidak boleh terlalu tinggi. Hal ini dipertimbangkan untuk menjaga geometri dari *space holder*. Apabila tekanan kompaksi terlalu tinggi maka *space holder* akan hancur sehingga bentuk geometri pori-pori makro menjadi sangat tidak teratur bahkan rusak. Pada penelitian ini bentuk *space holder* masih terjaga yang mnandakan tekanan kompaksi masih dapat diterima. Selain tekanan dan suhu sintering ukuran dan bentuk serbuk juga berpengaruh terhadap terjadinya pori-pori mikro ini. Serbuk yang berbentuk *flake* dengan ukuran $\leq 100 \mu\text{m}$ memudahkan kontak antar serbuk sehingga mendukung terbentuknya ukuran pori-pori mikro kurang dari $50 \mu\text{m}$ (gambar 6). Sebagian besar pori-pori mikro berbentuk irregular memanjang mendekati bentuk pipih dari serbuknya.



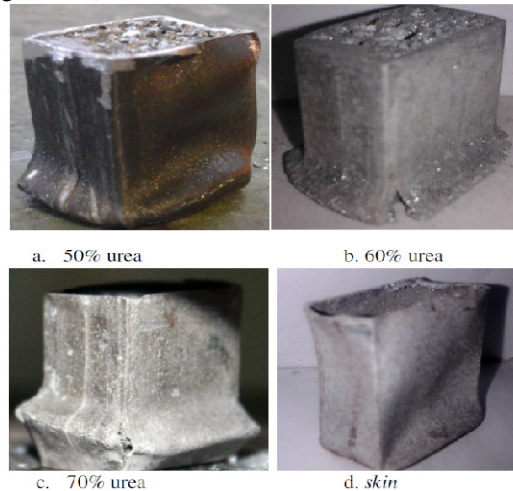
Gambar 7. Harga dari tegangan luluh dan modulus elastisitas pada beberapa porositas dari aluminum foam sandwich pada pengujian tekan

Hasil pengujian tekan terhadap *aluminum foam sandwich* menunjukkan bahwa tegangan luluh dan modulus elastisitas dari aluminum foam menurun seiring dengan kenaikan porositasnya (gambar 7). Hal ini dapat disebabkan oleh semakin tinggi porositas ketebalan dinding pori-pori akan semakin menipis yang akan menurunkan kekuatan dan kekakuan dari aluminum foam sandwich. Sedangkan hasil pegujian terhadap skin menunjukkan harga yang terendah karena proses ini seperti memberikan proses anil terhadap benda kerja sehingga menjadi lunak.



Gambar 8. Kurva tegangan-regangan pengujian tekan dari *aluminum foam sandwich* pada berbagai variasi fraksi massa urea.

Kolapnya dinding-dinding pori-pori makro terindikasi pada kurva tegangan-regangan pada gambar 8 yang ditunjukkan dengan adanya penurunan tegangan setelah mencapai maksimum dan kemudian sedikit naik lagi membentuk daedrah plateau karena pori-pori makro yang lain masih mampu menahan tegangan. Kemiringan dari penurunan tegangan juga mengindikasikan kekakuan dari masing-masing dinding pori-pori makro yang berbeda. Semakin tinggi porositas akan terlihat semakin landai yang menunjukkan kekakuan semakin rendah karena ketebalan dinindng yang lebih rendah. Semakin banyak dinding pori-pori makro yang kolap maka daerah plateue semakin panjang. Setelah semua dinding pori-pori makro kolap maka akan terjadi proses pemadatan yang akan ditunjukkan dengan kenaikan tegangan secara drastis (tidak terlihat di gambar 8).



Gambar 9. Aluminum *foam sandwich* dengan beberapa variasi fraksi massa urea setelah mengalami pengujian tekan

Setelah pengujian tekan aluminum *foam sandwich* dengan beberapa variasi fraksi massa urea menunjukkan kerusakan yang sama yaitu kerusakan dimulai dari bawah pada daerah ketinggian yang sama sedangkan bagian atas akan terjadi kemudian. Pada pengujian tekan *unidirectional* maka bagian bawah mendapatkan tegangan yang relative tinggi dibanding bagian atasnya. Dinding pori-pori makro pada daerah tersebut kolap terlebih dahulu secara serempak. Hal berbeda terjadi pada skin dimana deformasi terlihat terjadi sepanjang tinggi dari skin.

KESIMPULAN

1. Aluminum *foam sandwich* dengan urea sebagai *space holdernya* telah berhasil dibuat dengan metode metalurgi serbuk.
2. Porositas meningkat seiring dengan peningkatan fraksi massa urea. Porositas 79,6% dicapai pada fraksi massa 70%, 74,9% dengan fraksi massa 60% dan porositas 69,4% pada fraksi masa 50%
3. Kekuatan tekan dan modulus elastisitas dari aluminum *foam sandwich* menurun seiring dengan meningkatnya porositas.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih yang sebesar-besarnya penulis sampaikan kepada Universitas Muhammadiyah Yogyakarta atas semua pembiayaan pada penelitian ini (Research Grant).

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*, Butter-worth-Heinemann: Burlington.
- Alulight International GmbH. 2006. *Alulight data sheet:product information*
- Asholt,P., Banhart,J & Fleck.N.A.1999 *Metal Foam and Porous Metal Structure*.
- Banhart, J. 2001. Manufacture, characterization and application of cellular metals and metal foams. *Progress in Materials Science*, 46, 559-632.
- Banhart,J.,Seeliger,H.W, 2011. Recent trends in aluminum foam sandwich technology, *Advanced engineering materials*
- 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, Aluminum 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.
- Erk, K. A., Dunand, D. C. & Shull, K. R. 2008. Titanium with controllable pore fractions by thermoreversible gelcasting of TiH₂. *Acta materialia*, 56, 5147-5157.
- Guden, 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.
- Hornung P.B. 2008. Relation between section thickness, microstructure and mechanical properties of ductile iron casting. *ISSNMaterial Science. vol 14. no 2. 2008*
- 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.
- Lee, J., Kim, H. & Koh, Y. 2009. Highly porous titanium (Ti) scaffolds with bioactive microporous hydroxyapatite/TiO₂ hybrid coating layer. *Materials Letters*, 63, 1995-1998.
- 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*,
- Nansaarn, S. and Sopha, S., 2008, A synthesis of aluminum foam from ingot by compressing method. Proceedings of the 1st WSEAS international conference on Materials science, pp. 130-133 (World Scientific and Engineering Academy and Society (WSEAS), 21, 1175-1188.
- 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., 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.
- Nugroho, A., W., 2013, Fabrikasi aluminum berpori menggunakan metode metalurgi serbuk dengan memanfaatkan urea ((NH₂)₂CO) sebagai *space holder*, Laporan Penelitian, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, tidak dipublikasikan
- Oh, I. H., Nomura, N., Msahashi, N. & Hanada, S. 2003. Mechanical properties of porous titanium compacts prepared by powder sintering. *Scripta Materialia*, 49, 1197-1202.

- 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. 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.
- Wen, C.E., Yamada, Y., Shimojima, K., Chino, Y., Asahina, T. and Mabuchi, M., 2001, Processing of biocompatible porous Ti and Mg. *Scripta Materialia*, 45, 1147-1153.