



PENGARUH FRAKSI MASSA NaCl UKURAN *MESH* 4-16 PADA FABRIKASI *ALUMINUM FOAM* DENGAN MENGGUNAKAN METODE *MELT ROUTE*

Putu Trisna Sudarma¹, Aris Widyo Nugroho^{*2}, Budi Nur Rahman³

¹⁻³Program Studi S-1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta,

Yogyakarta 55183, Indonesia.

pututrisnasudarma@gmail.com

INTISARI

Material berpori banyak digunakan dibidang keteknikan, khususnya pada bidang otomotif yaitu penggunaan *aluminum foam* untuk peredam benturan pada mobil. Proses fabrikasi material berpori dapat dilakukan dengan metode metalurgi serbuk atau pengembang. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh fraksi massa NaCl sebagai *foaming agent* terhadap porositas, struktur morfologi, dan kuat tekan *aluminum foam* dengan menggunakan metode *melt route* karena biaya produksi yang murah.

Dalam penelitian ini digunakan aluminium seri 6061-T651, NaCl kristal, dan arang sebagai bahan penelitian. Variasi dalam penelitian ini adalah presentase fraksi massa NaCl sebesar 0%, 40%, 45%, dan 50%. Proses ini dimulai dengan peleburan aluminium hingga temperatur 850°C, setelah mencair aluminium dituang ke dalam cetakan yang sudah berisikan NaCl sesuai dengan variasi massa yang sudah ditentukan. Kemudian aluminium cair dan NaCl diaduk dengan menggunakan mesin bor tangan dengan kecepatan pengadukan sekitar 2500-3000 rpm dan waktu pengadukan 5-10 detik. Spesimen kemudian dilakukan pengujian porositas teoritis dengan perhitungan, morfologi dengan menggunakan mikroskop optik, dan kuat tekan dengan menggunakan UTM.

Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa presentase porositas meningkat dengan bertambahnya fraksi massa NaCl. Presentase porositas terbesar adalah 47,4% dan nilai terkecil sebesar 5,93%. Hasil pengamatan struktur makro dan struktur mikro *aluminum foam*, menunjukkan bahwa pori-pori memiliki bentuk ireguler dengan diameter pori terkecil 28,76 µm. Kuat tekan dari *aluminum foam* mengalami penurunan yang signifikan seiring bertambahnya fraksi massa NaCl. Nilai tegangan *plateau* tertinggi sebesar 96,20 MPa dan terkecil sebesar 14,14 MPa.

Kata kunci : *aluminum foam*, *melt route*, porositas, kuat tekan.

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi, memicu untuk menciptakan material baru dan komposit yang bertujuan untuk memproduksi struktur elemen dengan kepadatan yang rendah dan performa yang sama (Bauer et al, 2013). Salah satu yang sedang dikembangkan adalah *metal foam*. Fabrikasi logam dengan kadar pori-pori yang cukup tinggi disebut *metal foam* (Vinay, 2014). Konstruksi pori-pori *metal foam* menyerupai spon, kayu, dan tulang (Banhart, 2000). *Metal foam* dapat dikategorikan dalam sel tertutup dan sel terbuka (Fernandez et al, 2009). Hingga saat ini, *metal foam* telah diproduksi dengan menggunakan material dari aluminium (Al), nikel (Ni), zinc (Zn), magnesium (Mg) dan campuran titanium (Ti) (Bauer, 2013).

Aluminum foam merupakan material logam yang berpori dengan struktur selular, yang berbentuk bola dan pori tertutup mencapai lebih dari 70% dari jumlah volume (Simancik, 1997). *Aluminum foam* memiliki kombinasi properti yang baik, seperti kekakuan yang tinggi, kekuatan, dan energi penyerapan (Vinay, 2014). Metode pembuatan *metal foam* pada umumnya dapat digolongkan menjadi dua, yaitu metode cair (*liquid route*) dan metode serbuk (*powder route*) (Vinay, 2014).

Prasetyo (2013) *foaming agent* urea digunakan dalam pembuatan *aluminum foam*, pengaruh variasi fraksi *space holder* urea dan ukuran *mesh* 16/18 terhadap porositas dan kuat tekan *aluminum foam* yang difabrikasi dengan metode metalurgi serbuk, hasil pengujian menunjukkan semakin tinggi fraksi massa urea, nilai porositas meningkat dan

sebaliknya nilai kuat tekan menurun. Firmansyah (2015) melakukan penelitian tentang fabrikasi *aluminium foam* menggunakan *foaming agent* NaCl kristal ukuran *U.S MESH* 4-16 dengan metode *melt route*. Karakteristik *aluminum foam* yang dihasilkan menunjukkan semakin tinggi presentase NaCl maka semakin tinggi nilai porositas. Pamungkas (2015) penelitiannya menunjukkan penambahan *blowing agent* serbuk alumina (Al_2O_3) dan *foaming agent* NaCl berpengaruh terhadap struktur mikro dan kekuatan tekan *aluminum foam* yang dibuat dengan metode *melt route*. Akan tetapi, porositas yang dihasilkan masih sangat rendah. Oleh karena itu, masih perlu dilakukan penelitian lebih lanjut menggunakan *foaming agent* NaCl.

2. METODE PENELITIAN

Plat aluminium 6061-T651 digunakan sebagai bahan utama pembuatan *aluminum foam*, sedangkan NaCl kristal berdiameter 4,75-1,18 mm sebagai bahan *foaming agent* (Gambar 1).



Gambar 1. NaCl kristal

Proses pembuatan *aluminum foam* diawali dengan pengayakan NaCl dengan ukuran *mesh* 4-16 untuk mendapatkan ukuran yang relatif sama. Setelah itu aluminium dan NaCl ditimbang dengan 4 fraksi massa NaCl yaitu 0%, 40%, 45%, dan 50%. Selanjutnya plat aluminium dilebur hingga suhu $850^{\circ}C$ dengan menggunakan tungku pembakaran. Untuk mengukur temperatur aluminium cair, digunakan termokopel tipe k. Setelah suhu sudah mencapai $850^{\circ}C$, aluminium kemudian dituang ke dalam cetakan yang sebelumnya sudah diisi dengan NaCl.

Pada saat penuangan aluminium cair, dilakukan proses pengadukan dengan menggunakan batang besi pengaduk yang terpasang pada mesin bor tangan. Kecepatan pengadukan berkisar 2500-300 rpm dengan waktu sekitar 5-10 detik. Proses *foaming* berlangsung sekitar 1 menit setelah proses pengadukan. Setelah

aluminium dingin dan berubah menjadi padat, *aluminum foam* dikeluarkan dari cetakan. Selanjutnya, *aluminum foam* dibubut untuk dibuat spesimen tekan dengan ukuran diameter 15 mm dan panjang 25 mm.

Hasil dari proses *machining*, kemudian dilakukan proses pengujian porositas, struktur morfologi, dan kuat tekan dari *aluminum foam*. Untuk mengetahui nilai dari porositas *aluminum foam*, dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut ;

$$\text{Porositas} = \frac{\rho_{Al} \rho_{foam}}{\rho_{Al}} \times 100\% \dots\dots\dots (1)$$

Dimana : ρ_{Al} = densitas aluminium (g/cm^3)

ρ_{foam} = densitas *aluminum foam* (g/cm^3)

Pengamatan struktur makro dan mikro menggunakan mikroskop optik OLYMPUS PM3 yang ada di laboratorium material D3 UGM. Selanjutnya dilakukan pengujian kuat tekan dengan menggunakan UTM SANS CHT4000 dengan kecepatan pembebanan sebesar 0,25 mm/menit. Kemudian dihitung tegangan plateau dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

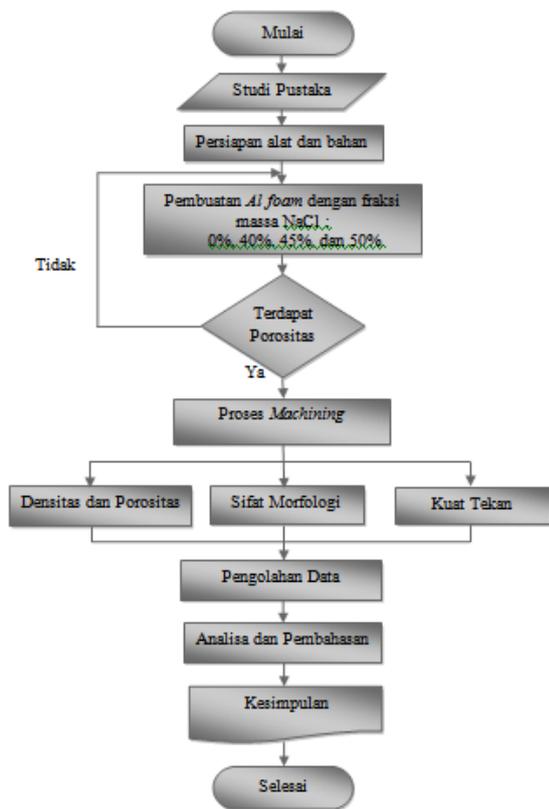
$$\sigma = \frac{F}{A_0} \dots\dots\dots (2)$$

Dimana: σ = tegangan (N/mm^2)

F = gaya tekan (N)

A_0 = luas penampang (mm^2)

Tahapan proses penelitian ini dapat dilihat pada diagram alir penelitian yang terdapat pada Gambar 2 dibawah ini.



Gambar 2. Diagram alir penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Proses Melt Route

Jika semua tahapan proses pembuatan *aluminum foam* dengan metode *melt route* dilakukan, maka dihasilkan produk *aluminum foam* utuh (*bulk material*) sebelum dilakukan proses *machining*. Hasil dari proses pengecoran menunjukkan bentuk dari *aluminum foam* masih belum rata dan memiliki ukuran yang tidak sama

Kemudian *aluminum foam* yang masih berbentuk *bulk material*, dilakukan proses pemesinan menggunakan mesin bubut. Pada tahap *machining* bertujuan untuk melihat pori-pori pada *aluminum foam* serta membentuk spesimen untuk diuji tekan. Spesimen memiliki ukuran diameter 15 mm dan tinggi 25 mm. Hasil dari proses pemesinan dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Spesimen *aluminum foam* setelah proses pemesinan

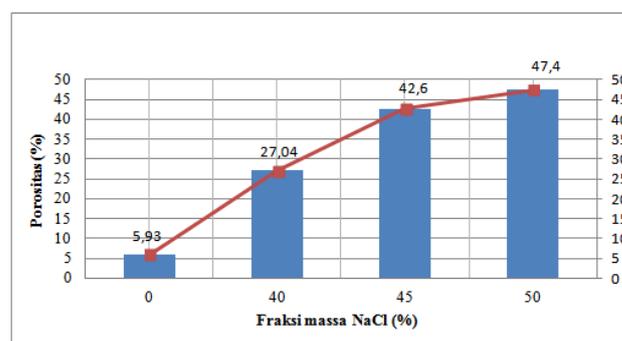
Hasil Uji Porositas

Untuk mengetahui nilai presentase dari setiap spesimen *aluminum foam*, dapat dihitung dengan persamaan 1. Sebelum dihitung, spesimen ditimbang terlebih dahulu dengan menggunakan timbangan digital, untuk mengetahui massa kering dari spesimen. Serta dihitung volume dari spesimen tersebut. Setelah semua tahapan dilalui, didapat hasil uji porositas seperti dengan hasil pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengujian porositas

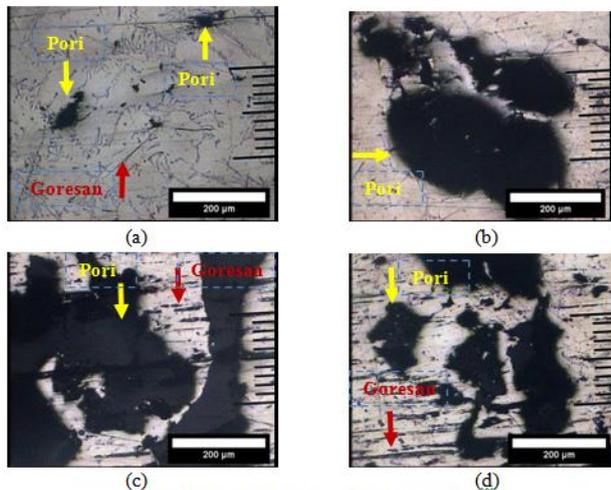
Spesimen	Fraksi Massa NaCl (%wt)	Massa (gram)	Volume (Cm ³)	Massa Jenis (g/cm ³)	Massa Jenis Al (g/cm ³)	Porositas (%)
A	0	11,25	4,42	2,54	2,7	5,93
B	40	8,8	4,45	1,97	2,7	27,04
C	45	6,93	4,47	1,55	2,7	42,6
D	50	6,4	4,52	1,42	2,7	47,4

Dari data pada Tabel 1, menunjukkan bahwa semakin besar penambahan fraksi massa NaCl, maka presentase porositas *aluminum foam* akan meningkat. Sama halnya seperti penelitian Firmansyah (2015) bahwa semakin tinggi fraksi massa NaCl terhadap massa aluminium, maka nilai porositas meningkat. Nilai porositas tertinggi sebesar 47,4% dan nilai terkecil sebesar 5,93%. Jika data dari Tabel 1 diubah dalam bentuk grafik, akan seperti berikut.



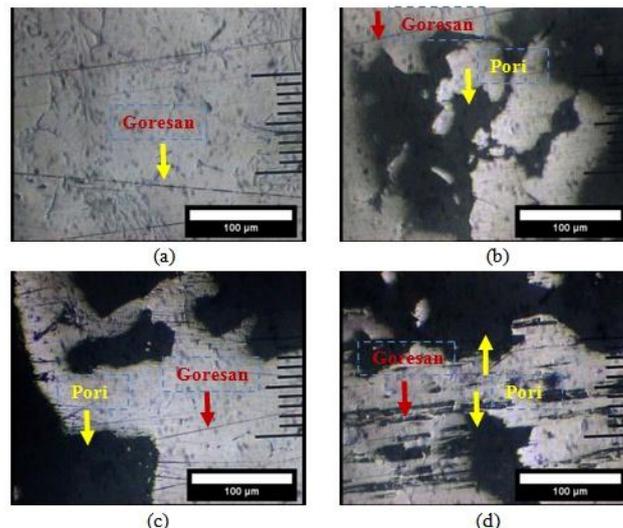
Gambar 4. Grafik hubungan antara fraksi massa NaCl terhadap porositas

Hasil Uji Struktur Makro dan Mikro



Gambar 5. Foto makro aluminium foam
a) 0% NaCl; (b) 40% NaCl; (c) C 45% NaCl; dan (d) 50% NaCl.

Dari hasil pengamatan struktur makro, terlihat beberapa goresan dan pori-pori. Pada spesimen A (0% NaCl) terdapat beberapa pori-pori kecil dengan jumlah yang sedikit. Pori-pori ini terbentuk, karena adanya udara yang terperangkap pada saat proses penuangan aluminium cair ke dalam cetakan. Spesimen B, C, dan D terdapat pori-pori yang cukup besar dan saling berhubungan satu dengan yang lain, meskipun masih terdapat dinding pori yang memisahkan. Dari semua spesimen, masih terlihat bekas goresan dari proses pengamplasan. Bentuk dari pori-pori cenderung tidak beraturan dan berada pada satu titik. Hal ini, menunjukkan penyebaran pori-pori masih belum merata dan homogen. Ukuran terkecil dari pori-pori sebesar 60 µm dan ukuran terbesar lebih dari 200 µm.

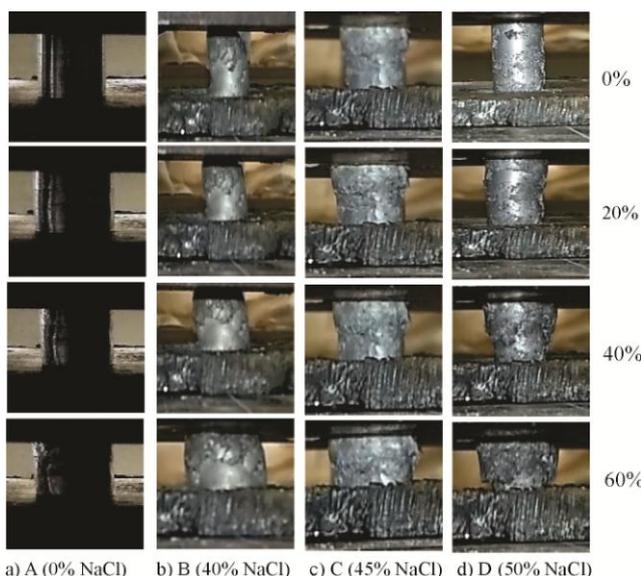


Gambar 6. Foto mikro aluminium foam
(a) 0% NaCl; (b) 40% NaCl; (c) 45% NaCl; dan (d) 50% NaCl.

Dari hasil pengamatan foto mikro di atas, terlihat terdapat goresan dari proses pengamplasan dan beberapa pori-pori yang berwarna hitam. Pada spesimen B, C, dan D memiliki pori-pori yang relatif besar dan saling berhubungan. Seperti yang disampaikan oleh Pamungkas (2015), pori yang besar disebabkan karena pada proses pengadukan NaCl tidak terdistribusi secara merata dan menumpuk pada bagian tertentu. Terdapat dinding pori yang memisahkan pori yang satu dengan yang lain. bentuk dari pori-pori tersebut cenderung tidak beraturan. Pori-pori terkecil memiliki ukuran sebesar 20 µm. Pori-pori yang terbentuk memiliki ukuran dan bentuk yang berbeda-beda, serta berada pada satu titik. Hal ini menunjukkan, bahwa penyebaran pori-pori masih kurang merata dan belum homogen.

Hasil Uji Tekan

Pengujian tekan dilakukan dengan menggunakan mesin UTM yang ada di laboratorium Teknik Mesin UNS. Kecepatan pembebanan sebesar 0,25 mm/menit. Dari pengujian diamati reduksi yang terjadi pada spesimen saat berlangsungnya proses penekanan. Gambar 7 menunjukkan reduksi yang terjadi saat penekanan.

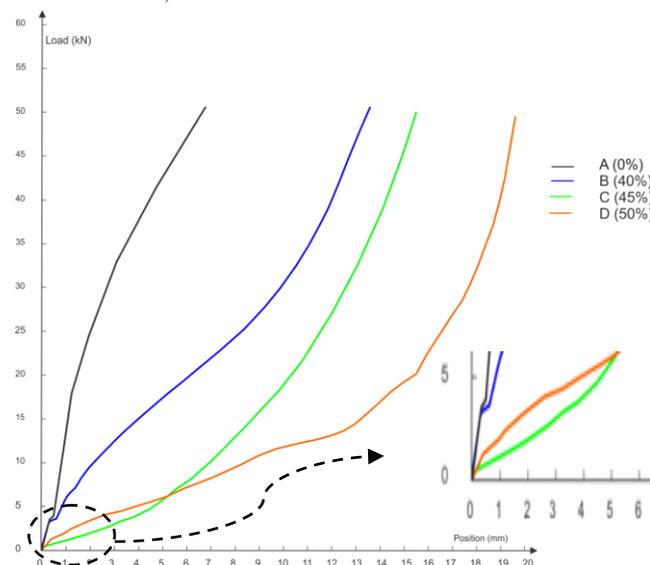


Gambar 7. Penekanan dengan % reduksi bertahap

Selama pengujian, spesimen A, B, C, dan D didokumentasikan dan terlihat tahap reduksi yang terjadi. Pada tahap ini dibagi menjadi dua tahap, yaitu tahap deformasi elastis dan tahap plastis. Pada reduksi 0% - 20% terjadi tahap elastis dengan pembebanan sebesar 50,55 kN. Pada Gambar 4.8 dengan reduksi 20%, terlihat sudah mulai terjadi penekanan yang menyebabkan daerah bagian tengah mulai mengembang ke samping. Sedangkan reduksi 40% - 60% terjadi tahap plastis, pada tahap ini pori-pori mulai runtuh dan terjadi proses pemampatan sehingga *aluminum foam* mulai padat. Deformasi plastis menyebabkan putusannya ikatan atom dengan atom sebelahnya dan membentuk ikatan baru dengan atom yang lain.

Dari hasil penekanan tersebut, didapat data kurva beban dan pemampatan dari semua spesimen (Gambar 8). Pada grafik, spesimen B (40% NaCl) terlihat cenderung naik pada beban awal, dikarenakan spesimen B terjadi pengecilan luas penampang sehingga luasan yang terkena pembebanan kecil. Spesimen A memiliki regangan terkecil dibanding dengan spesimen yang lain, yaitu sebesar 6 mm pada pembebanan 50,55 kN. Grafik spesimen C dan D mengalami regangan terlebih dahulu pada saat penekanan sebelum terjadi pemampatan dan grafik mengalami kenaikan. Hal ini menunjukkan runtuhnya pori-pori pada saat penekanan, setelah mulai pemampatan regangan mulai melambat dan tegangan mulai membesar. Regangan pada spesimen D merupakan

yang terbesar, yaitu sebesar 18,8 mm, dengan beban maksimum 49,95 kN.



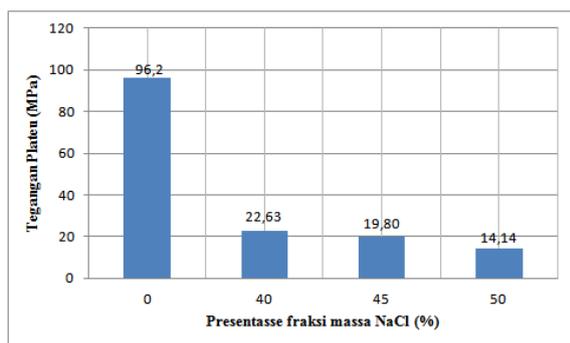
Gambar 8. Kurva beban dan pemampatan *aluminum foam* dengan variasi fraksi massa NaCl yang berbeda, dan (*insert*: pembesaran pada daerah *plateau*)

Dari data di atas, dapat dicari nilai tegangan *plateau* dari semua spesimen dengan menggunakan persamaan (2). Setelah dilakukan perhitungan didapat data sebagai berikut:

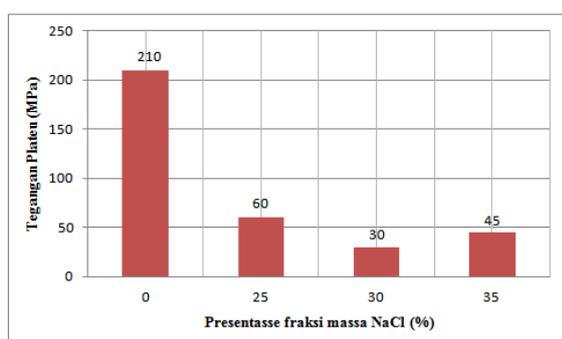
Tabel 2. Nilai tegangan *plateau* dan porositas masing-masing spesimen

Fraksi massa NaCl (%)	Porositas (%)	Beban pada <i>plateau</i> load (F) (kN)	Luas Penampang (A_0) (mm ²)	Tegangan <i>Plateau</i> (σ) (Mpa)
0	5,93	17	176,71	96,20
40	27,04	4	176,71	22,63
45	42,6	3,5	176,71	19,80
50	47,4	2,5	176,71	14,14

Pada Tabel 2 menunjukkan perbandingan nilai *tegangan plateau* pada masing-masing spesimen. Nilai *tegangan plateau* cenderung turun seiring bertambahnya presentase porositas spesimen. Pada penelitian terdahulu, seperti Pamungkas (2015) menyimpulkan bahwa semakin tinggi presentase porositas, maka kuat tekan *aluminum foam* semakin rendah. Nilai tegangan tertinggi sebesar 96,20 MPa dan nilai *tegangan plateau* terkecil sebesar 14,14 MPa pada spesimen D. Jika data di atas dibandingkan dengan penelitian milik Pamungkas (2015), hasilnya akan seperti pada Gambar 9 dan Gambar 10.



Gambar 9. Grafik hubungan tegangan *plateau* dengan fraksi massa NaCl



Gambar 10. Hubungan antara tegangan terhadap fraksi massa NaCl (Pamungkas, 2015).

4. KESIMPULAN

Dari penelitian yang sudah dilakukan, didapat beberapa poin sebagai berikut:

1. Penambahan fraksi massa NaCl meningkatkan porositas pada *aluminum foam*. Spesimen dengan fraksi 0%, 40%, 45%, dan 50% menghasilkan porositas masing-masing sebesar 5,93%, 27,04%, 42,6%, dan 47,4%.
2. Pada pengamatan struktur makro dan struktur mikro dari semua spesimen, megambarkan ukuran, bentuk dan penyebaran pori-pori yang terjadi. Pori-pori dari semua spesimen memiliki bentuk ireguler. Dari penyebaran pori-pori juga menunjukkan bahwa porositas yang terbentuk masih belum homogen dan kurang merata. Pada spesimen D menunjukkan ukuran pori-pori terkecil sebesar 28,76 μm .
3. Nilai tegangan *plateau* menurun seiring bertambahnya fraksi massa NaCl yang mengakibatkan kuat tekan *aluminum foam* menurun. Spesimen dengan fraksi massa 0%, 40%, 45%, dan 50% menghasilkan tegangan *plateau* masing-masing sebesar 96,20 MPa, 22,63 MPa, 19,80 MPa dan 14,14 MPa.

Dari beberapa poin di atas, dapat disimpulkan bahwa variasi fraksi massa NaCl 0%, 40%, 45%, dan 50% meningkatkan persentase porositas *aluminum foam*. Penggunaan *aluminum foam* dapat dipakai pada bidang otomotif, khususnya pada bumper sebagai *crash protector*.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Banhart, J. 2000. *Manufacture, Characterisation And Application Of Cellular Metals And Metal Foams*. Materials Science 46 (2001) 559-632.
- Bauer, B., Kralj, S., Busic, M. 2013. *Production And Application Of Metal Foams In Casting Technology*. ISSN 1848-6339. UDC/UDK 669-404.8:621.74.
- Fernandez. P., Cruz. J., Navacerrada. M.A., Diaz. C., Garcia Cambronero. L.E., Drew. R. 2009. *Mechanical And Functional Properties Related To Porous Structure Of Recycled Aluminium Sponges*. Mechanical Engineering Faculty, Universidad Pontificia Bolivariana, Colombia.
- Firmansyah, I. 2015. *Fabrikasi Aluminum foam Dengan Metode melt route Menggunakan NaCl Kristal Ukuran Butir U.S Mesh 4-16*. Skripsi. Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Yogyakarta.
- Pamungkas, A.F. 2015. *Pengaruh Fraksi Massa NaCl Sebagai Foaming Agent Terhadap Porositas, Kekuatan Tekan, Dan Struktur Mikro Aluminum foam Dengan Cara Melt Route Process*. Skripsi. Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Yogyakarta.
- Prasetyo, A., 2013. *Pengaruh Variasi Fraksi Massa Space Holder Urea Dengan Ukuran Mesh 16/18 Terhadap Porositas Dan Kuat Tekan Aluminum foam*. Skripsi. Prodi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Yogyakarta.
- Simancik, F., Jerz, J., Kovacik, J., Minar, P. 1997. *Aluminum foam-A New Light-Weight Structural*



Material. Kovove Materialy, 35,1997,C,4.

Vinay, B U., K.V.Sreenivas Rao, 2014. *Development Of A Method For The Production Of Aluminium - 2516*;ISSN(E):2278-2524 Vol.4,Issue 1, Feb 2014,9 *Metal foams*. International Journal Metallurgical & Materials Science and Engineering (IJMMSE), ISSN(P): 2278-14.