

Analisis Struktur Pori dan Sifat Mekanik Paduan Mg-0,5Ca-4Zn Hasil Proses Metalurgi Serbuk dengan Variasi Komposisi *Foaming Agent* CaCO₃ dan Temperatur Sintering

Ika Kartika^{1*}, Andi Mulya Ashari², Adhitya Trenggono², Franciska Pramuji Lestari¹, Aprilia Erryani¹

¹Pusat Penelitian Metalurgi dan Material – LIPI
Gedung 470, Kawasan Puspiptek Serpong, Banten, Indonesia 15310

²Teknik Metalurgi, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Jl. Jenderal Sudirman KM.3 Cilegon, Banten, Indonesia 42435

Abstrak

Paduan Mg-Zn-Ca dengan struktur berpori memiliki potensi sebagai implan mampu luruh yang dapat mengatasi persoalan dalam dunia medis. Tujuan studi ini adalah membuat paduan implan berpori Mg-0,5Ca-4Zn hasil proses metalurgi serbuk dengan variasi *foaming agent* CaCO₃ dan temperatur sintering. Struktur pori yang dihasilkan dalam paduan dikarakterisasi dengan menggunakan x-ray diffraction (XRD) dan scanning electron microscopy (SEM). Persentasi porositas dalam paduan dilakukan dengan uji archimedes sesuai ASTM B311-93. Hasil identifikasi senyawa dalam paduan dengan XRD menunjukkan adanya fasa Mg, MgO, MgZn, Mg₂Ca dan fasa intermetalik Ca₂Mg₆Zn₃. Semakin meningkatnya temperatur sintering dan penambahan CaCO₃ dalam paduan meningkatkan pori yang terbentuk sehingga menurunkan densitas dan kekuatan tekan dari paduan Mg-0,5Ca-4Zn. Pengamatan dengan SEM menunjukkan ukuran pori terbesar yang terbentuk adalah sebesar 106,62 – 435,22 μm yang dihasilkan dalam paduan 85,5Mg-0,5Ca-4Zn-10CaCO₃ pada temperatur sintering 650 °C.

Kata kunci: *foaming agent* CaCO₃; paduan Mg-0,5Ca-4Zn; proses metalurgi serbuk; implan mampu luruh; struktur berpori

Abstract

[Title: *Pore Structure and Mechanical Properties Analysis of Alloys Mg-0,5Ca-4Zn Powder Metallurgy Process Result with Variation of CaCO₃ Foaming Agent Composition and Sintering Temperature*] Mg-Zn-Ca alloy with porous structure has the potential as a whole implant capable of overcoming problems in the medical world. The purpose of this study is to make an alloy of Mg-0.5Ca-4Zn porous implants resulting from the powder metallurgy process with variations of CaCO₃ foaming agent and sintering temperature. The pore structure produced in the alloy is characterized by using x-ray diffraction (XRD) and scanning electron microscopy (SEM). The percentage of porosity in the alloy was carried out by the archimedes test according to ASTM B311-93. The results of identification of compounds in the alloy with XRD showed the presence of Mg, MgO, MgZn, Mg₂Ca and intermetallic phase Ca₂Mg₆Zn₃. Observation with SEM showed that the largest pore size formed was 106.62 - 435.22 μm which was produced in an alloy of 85.5Mg-0.5Ca-4Zn-10CaCO₃ at a sintering temperature of 650 °C. Increasing the sintering temperature and CaCO₃ in the alloy increases the pore formed thus reducing the density and compressive strength of the Mg-0.5Ca-4Zn alloy.

Keywords: CaCO₃ foaming agent; Mg-0,5Ca-4Zn alloy; powder metallurgy process; bioresorbable implant; porous structure

^{*)} Penulis Korespondensi.
E-mail: ikak061001@gmail.com

1. Pendahuluan

Magnesium memiliki struktur kristal berupa *hexagonal close packed* (HCP), kondisi ini menyebabkan magnesium memiliki mampu bentuk yang

rendah pada temperatur kamar. Mekanisme yang digunakan dalam peningkatan sifat mekanik dalam magnesium dengan cara penguatan larutan padat (*solid solution hardening*), penguatan endapan (*precipitation hardening*) dan penguatan butiran (*grain refinement hardening*) (Radha & Sreekanth, 2017). Paduan magnesium ada 3 jenis yaitu: (1) paduan Al (AZ91, AZ31), (2) paduan logam tanah jarang (AE21, WE43) dan (3) paduan tanpa Al (MgZn, MgCa, MgMn). Paduan tanpa alumunium banyak digunakan dalam aplikasi medis karena memiliki sifat biokompabilitas yang baik tanpa menimbulkan efek samping yang merugikan bagi tubuh (Sankalp *dkk.*, 2016).

Seng (Zn) adalah elemen yang sangat penting bagi nutrisi manusia setelah besi. Zn dalam tubuh manusia banyak ditemukan pada ginjal, hati, pankreas, jaringan, otot dan tulang. Unsur Zn juga merupakan salah satu material yang berpotensi paling baik untuk meningkatkan sifat mekanik dan ketahanan korosi dari paduan Mg. Penambahan Zn ke dalam magnesium dapat memperhalus permukaan dan meningkatkan sifat mekanik seiring bertambahnya kandungan Zn (Zhang, Wang & Geng, 2011; Zheng, Gu & Witte, 2010; Xin *dkk.*, 2008; Seyedraoufi & Mirdamadi, 2013). Zn dapat meningkatkan kekuatan dan *ductility* magnesium dengan cara penguatan presipitasi. Zhang, Wang dan Geng (2011) meneliti paduan Mg-Zn-Ca dan menyimpulkan bahwa penambahan unsur Zn sebanyak 1-4% berat ke dalam magnesium dapat meningkatkan sifat mekanik. Akan tetapi, penambahan yang lebih dari itu akan menurunkan ketahanan korosi pada paduan magnesium. Seyedraoufi dan Mirdamadi (2013) meneliti paduan Mg-Zn dan menyatakan bahwa Zn dapat memperhalus permukaan ukuran butiran Mg. Yang *dkk.* (2017) menyatakan bahwa penambahan Zn dapat memperhalus butiran paduan Mg-Zn-Mn hasil proses ekstrusi dan meningkatkan kekuatan tarik. Kayhan *dkk.* (2015) mempelajari pengaruh penambahan 3-6% berat Zn dalam matrik Mg-Ca hasil cor dimana terjadi peningkatan ketahanan korosi seiring dengan meningkatnya penambahan Zn.

Kalsium adalah elemen yang banyak ditemukan pada tulang manusia yang dapat mempercepat proses penyembuhan tulang manusia. Kalsium memiliki titik lebur pada temperatur 825 °C (Pulagara, Saini & Dondapati, 2015). Kalsium memiliki densitas sebesar 1,55 g/cm³ yang mirip dengan densitas magnesium sebesar 1,74 g/cm³. Kalsium berfungsi sebagai agen penghalus butiran paduan magnesium dan penstabil ukuran butiran dengan penambahan lebih dari 0,5% berat kalsium (Sankalp *dkk.*, 2016). Paduan Mg-Ca menghasilkan fasa intermetalik Mg₂Ca yang dapat mengurangi laju korosi. Zhang, Wang dan Geng (2012) mempelajari sifat korosi dari paduan Mg-Ca dengan proses metalurgi serbuk. Selain itu, Ca dapat

meningkatkan kuat regang, elongasi dan ketahanan korosi. Batas kelarutan kalsium dalam magnesium sebesar 1,34% berat. Kalsium yang terlarut dalam matriks magnesium dapat memperhalus butiran Mg dan meningkatkan kekuatan tanpa menurunkan elastisitas dari Mg. Penambahan Ca lebih dari 1% berat dapat menimbulkan fasa intermetalik yang bersifat getas (Radha & Sreekanth, 2017).

Logam berpori adalah logam yang menarik, yang mana terdiri dari beberapa kombinasi sifat mekanik, sifat konduktivitas, tahan panas dan daya serap bunyi yang baik. Metode pembuatan logam berpori dengan pori tertutup, yaitu melalui proses metalurgi serbuk dengan pencampuran *foaming agent*. *Foaming agent* dibutuhkan untuk menciptakan pori yang kasar pada paduan Mg-Zn-Ca. Mekanisme *foaming agent* yaitu dengan memanfaatkan temperatur dekomposisi untuk membuat busa sehingga material akan memiliki pori, sebelum penggunaan CaCO₃ sebagai *foaming agent*, TiH₂ sudah terlebih dahulu dikenal sebagai *foaming agent* untuk material berpori, akan tetapi penggunaan TiH₂ memiliki kekurangan yaitu, biaya yang tinggi, resiko kebakaran, keracunan dan menghasilkan gas H₂ (Gonzales, *dkk.*, 2013). Pemilihan CaCO₃ sebagai *foaming agent* lebih ekonomis, mendapatkan pori yang halus dan mudah mendapatkan keseragaman pori. CaCO₃ akan terdekomposisi dan membentuk gas CO yang akan membentuk pori di dalam paduan Mg-Zn-Ca (Kennedy, 2012).

Dari penelitian sebelumnya dalam paduan 86Mg-Ca-3Zn menggunakan 10% berat CaCO₃ pada temperatur *sintering* 650 °C selama 10 dan 15 jam menunjukkan intensitas fasa MgZn lebih tinggi dibandingkan fasa Mg₂Ca sehingga meningkatkan kekuatan mekanik dari paduan (Erryani *dkk.*, 2017). Dalam penelitian ini akan dipelajari pengaruh variasi *foaming agent* CaCO₃ dan temperatur *sintering* terhadap distribusi dan ukuran pori dikaitkan dengan sifat mekanik yang diperoleh dari paduan berpori Mg-0,5Ca-4Zn. Penambahan unsur Ca dan Zn serta penggunaan waktu tahan *sintering* selama 10 jam sebagai parameter pada studi terdahulu akan dijadikan acuan dalam studi ini untuk keberhasilan pengembangan proses pembuatan paduan berpori MgCaZn.

2. Bahan dan Metode

Serbuk logam dari Merck yang digunakan dalam penelitian ini memiliki ketentuan : serbuk Mg (kemurnian 98,5% ukuran partikel 0,06 – 0,3 mm), serbuk Zn (kemurnian 99%, ukuran partikel <0,045 mm), Ca granular (kemurnian 98%) dan CaCO₃ (kemurnian 98,96%, ukuran partikel <0,003 mm). Ca masih berbentuk granular kasar, sehingga dibutuhkan

proses reduksi ukuran partikel Ca dengan metode *grinding* menggunakan *shaker mill* selama 2 jam.

Serbuk logam Mg, Zn dan Ca kemudian digabungkan dengan CaCO₃ sebagai *foaming agent* dengan rasio: 87,5Mg-0,5Ca-4Zn-8CaCO₃; 85,5Mg-0,5Ca-4Zn-10CaCO₃. Proses *milling* dilakukan dengan menggunakan *shaker mill* selama 30 menit agar serbuk paduan Mg-Ca-Zn-CaCO₃ menjadi homogen. Proses kompaksi dilakukan dengan mesin uji tekan pada temperatur kamar dengan tekanan 100 MPa selama 2 menit dan 200 MPa selama 3 menit hingga menjadi *green compact* dengan diameter 10 mm dan tinggi 10 mm.

Green compact dipanaskan dalam *tube furnace* pada temperatur *sintering* 650, 675 dan 700 °C dengan waktu tahan selama 3 jam pada suasana argon. Temperatur *sintering* ditentukan berdasarkan hasil *differential thermal analysis* (DTA) dalam paduan Mg-Zn-Ca-CaCO₃ dan CaCO₃ yaitu pada rentang temperatur 599,9 – 722 °C (Andi, 2017).

Struktur yang terbentuk dalam paduan setelah proses *sintering* dikarakterisasi menggunakan *x-ray diffraction* (XRD) merk Shimadzu XRD-7000. Jenis dan ukuran pori yang dihasilkan dalam paduan setelah proses *sintering* diamati dengan menggunakan *scanning electron microscopy-energy dispersive spectrometry* (SEM – EDS) merk JEOL JSM-6390A. Sifat mekanik dapat diketahui melalui uji kompresi sesuai standar ASTM D695-02 dengan alat uji *universal testing machine* (Shimadzu AGS-10 KN) pada temperatur kamar dengan laju sebesar 10 mm/min. Pengujian porositas dan densitas menggunakan metode Archimedes sesuai standar ASTM B311-93 yakni menimbang massa sampel di udara dan massa sampel yang dibenamkan di dalam air, kemudian densitas sampel dihitung dengan menggunakan Persamaan 1.

$$\rho_b = \frac{m_1}{m_3 - m_2} \times \rho_{air} \quad (1)$$

Dimana ρ_b adalah densiti secara teoritis (gr/cm³), m_1 = berat kering sampel (gram), m_2 = berat sampel dalam air (gram), m_3 = berat basah sampel (gram), ρ_{air} adalah densiti air (gr/cm³).

Untuk menghasilkan porositas, maka setelah diperoleh densitas, digunakan Persamaan 2.

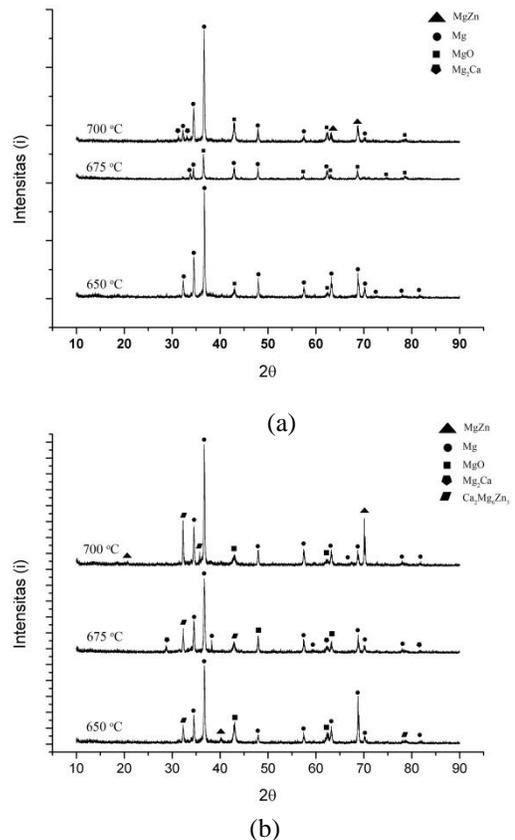
$$\mu = 1 - \frac{\rho_t}{\rho_b} \times 100\% \quad (2)$$

Dimana μ merupakan porositas, ρ_b merupakan densiti basah (gr/cm³), dan ρ_t adalah densiti kering (gr/cm³).

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Analisis XRD

Hasil analisis XRD pada $2\theta = 10^\circ - 90^\circ$ untuk paduan Mg-4Zn-0,5Ca-8CaCO₃ dan Mg-4Zn-0,5Ca-10CaCO₃ dengan temperatur *sintering* 650, 675 dan 700 °C ditunjukkan pada Gambar 1a dan 1b. Fasa yang terbentuk dalam kedua komposisi adalah Mg, MgO, MgZn dan Mg₂Ca, sedangkan dalam paduan Mg-4Zn-0,5Ca-10CaCO₃ dihasilkan fasa intermetalik lain yaitu Ca₂Mg₆Zn₃. Fasa Mg terbentuk karena Mg sebagai logam dasar dalam paduan.



Gambar 1. Hasil XRD paduan Mg-0,5Ca-4Zn pada temperatur *sintering* 650, 675 dan 700 °C dengan komposisi *foaming agent* CaCO₃ (% berat) sebesar; (a) 8 dan (b) 10

Munculnya fasa intermetalik MgZn ketika penambahan komposisi Zn > 4% berat, dimana fasa MgZn mengakibatkan struktur permukaan Mg-Zn-Ca menjadi rapuh dan ketahanan korosi menjadi berkurang.

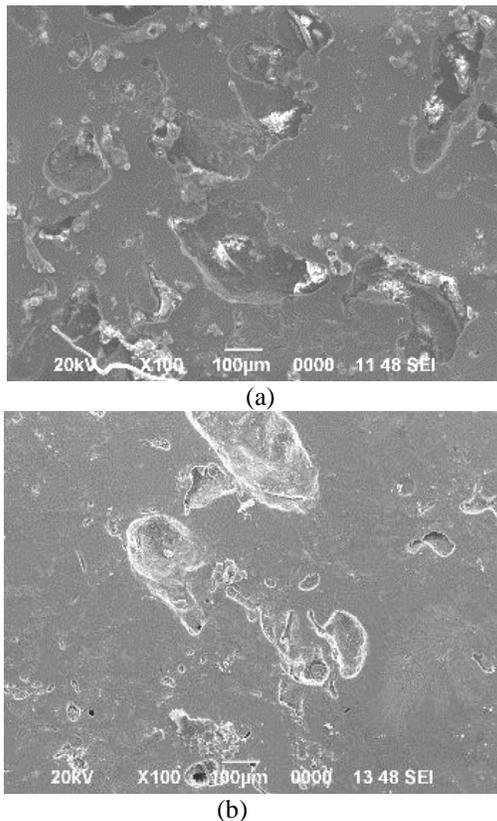
Fasa kedua Mg₂Ca bersifat getas dan dapat mengurangi elastisitas paduan Mg-Ca. Li, Hodgson & Wen (2011) melakukan penambahan konsentrasi kalsium ke dalam paduan Mg-Ca dengan kandungan 0,5 sampai 20% berat Ca dimana dihasilkan fasa kedua

berupa Mg_2Ca pada batas butir. Menurut laporan (Zhang, Wang dan Geng, 2011), kemunculan fasa intermetalik Mg_2Ca karena fasa ini akan terbentuk pada penambahan unsur $Ca > 0,5\%$ berat, fasa intermetalik Mg_2Ca dapat menurunkan ketahanan korosi pada paduan biner $Mg-4Zn-XCa$.

MgO yang terbentuk mengindikasikan bahwa pada proses *sintering* masih adanya oksigen, fasa MgO sangat dihindari karena dapat menurunkan ketahanan korosi. Senyawa oksida berupa MgO tidak beracun pada tubuh, hanya berakibat pada sifat mekanik dari implan, yaitu akan meningkatkan laju korosi dari paduan Mg (Gonzales *dkk.*, 2013).

3.2 Analisis SEM

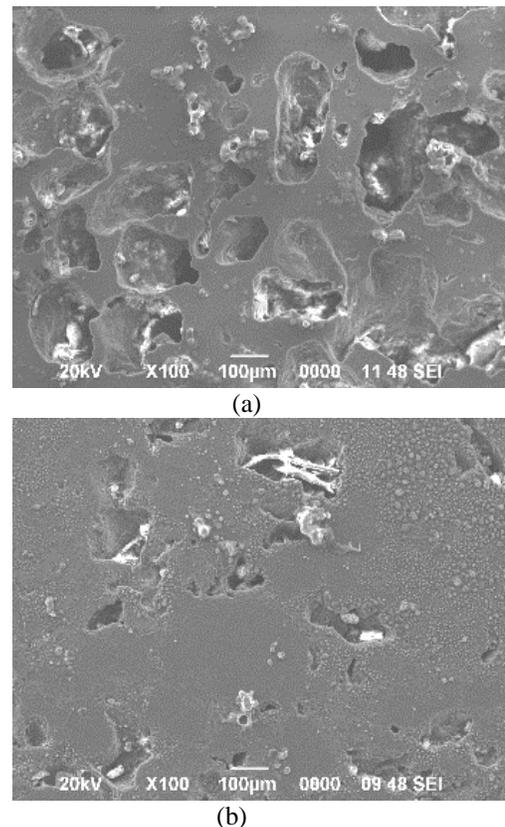
Hasil proses *sintering* dalam paduan Mg dengan variasi penambahan *foaming agent* $CaCO_3$ ditunjukkan dalam Gambar 2 sampai dengan Gambar 4.



Gambar 2. Foto struktur mikro hasil SEM dengan temperatur *sintering* 650 °C pada paduan $Mg-Zn-Ca$ dengan *foaming agent* $CaCO_3$ (% berat) sebesar; (a) 8, dan (b) 10

Foto hasil SEM paduan $Mg-Zn-Ca$ hasil *sintering* pada T sebesar 650 °C dengan penambahan *foaming agent* $CaCO_3$ 8 dan 10% berat ditunjukkan pada Gambar 2. Struktur yang terbentuk memiliki matriks Mg dengan

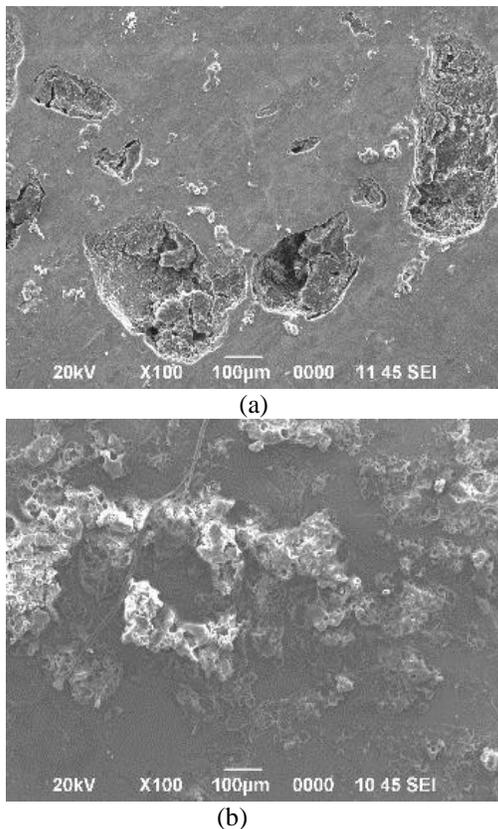
beberapa pori yang dihasilkan. Pada gambar tersebut teramati bahwa pori yang terbentuk masih berjenis pori tertutup (*closed cell*) sehingga belum memiliki konektivitas dengan pori-pori lainnya yang sudah terbentuk. Jenis pori tertutup (*closed cell*) yang terbentuk dalam paduan dapat dibuktikan dengan masih terlihatnya dasar permukaan pada lubang-lubang pori secara visual dalam foto hasil SEM pada Gambar 2. Hasil pengamatan pada Gambar 2a menunjukkan bahwa dengan penambahan $CaCO_3$ 8% berat, pori yang terbentuk memiliki ukuran terkecil 20 μm dan ukuran terbesar 206,74 μm . Pada peningkatan penambahan $CaCO_3$ sebesar 10% berat, ukuran pori terkecil yang terbentuk adalah 106,62 μm , sedangkan ukuran terbesar berkisar 435,22 μm . Peningkatan temperatur *sintering* akan meningkatkan ekspansi dari $CaCO_3$, sehingga pada temperatur 675 °C (Gambar 3), pori yang terbentuk terlihat meningkat dibandingkan pada temperatur 650 °C (Gambar 2).



Gambar 3. Foto struktur mikro hasil SEM dengan temperatur *sintering* 675 °C pada paduan $Mg-Zn-Ca$ dengan *foaming agent* $CaCO_3$ (% berat) sebesar; (a) 8, dan (b) 10

Gambar 3 menunjukkan foto SEM paduan $Mg-Ca-Zn$ pada temperatur *sintering* 675 °C. Pada penambahan 8% berat $CaCO_3$ dalam paduan, teramati pori yang

terbentuk memiliki ukuran dari 79,92 μm sampai dengan 332,66 μm (Gambar 3a). Untuk penambahan 10% berat CaCO_3 dalam paduan dengan temperatur *sintering* 675 $^\circ\text{C}$, ukuran pori yang terbentuk adalah 44,41 μm – 271,92 μm (Gambar 3b). Hasil pengamatan terhadap Gambar 3a menunjukkan bahwa pada penambahan 8% berat CaCO_3 dengan temperatur *sintering* 675 $^\circ\text{C}$, pori yang terbentuk di permukaan sudah cukup homogen bila dibandingkan dengan penambahan 10% berat CaCO_3 pada temperatur *sintering* yang sama. Peningkatan temperatur *sintering* akan meningkatkan ekspansi dari CaCO_3 sehingga pada temperatur 675 $^\circ\text{C}$ (Gambar 3) secara visual pori yang terbentuk terlihat meningkat dibandingkan temperatur 650 $^\circ\text{C}$ (Gambar 2).



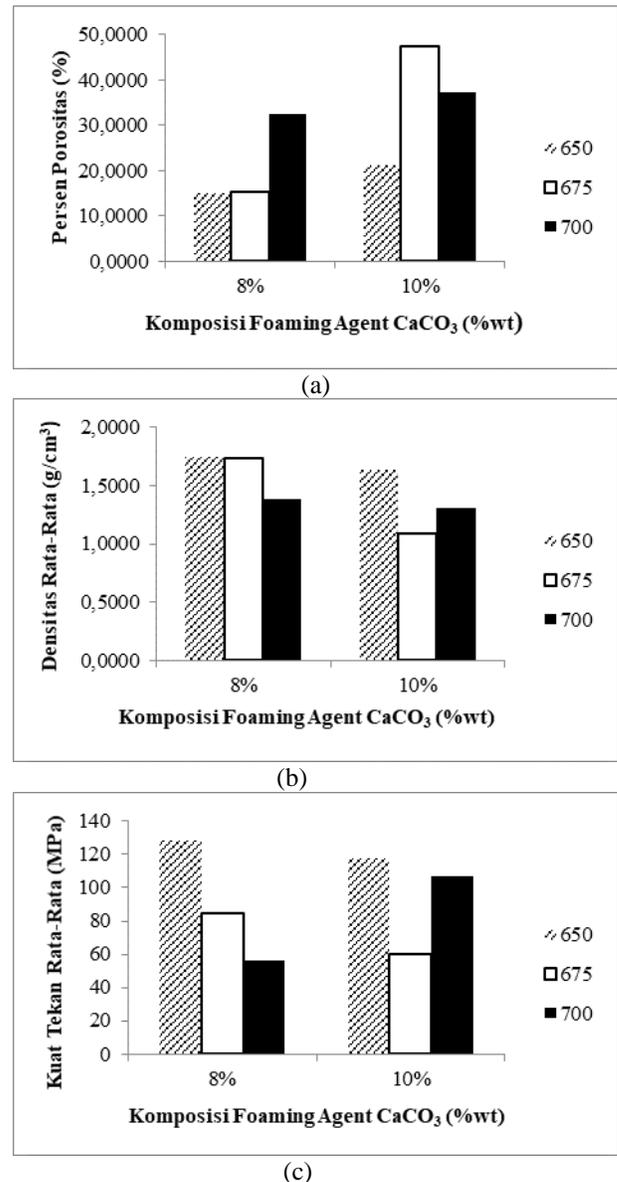
Gambar 4. Foto struktur mikro hasil SEM dengan temperatur *sintering* 700 $^\circ\text{C}$ pada paduan Mg-Zn-Ca dengan *foaming agent* CaCO_3 (% berat) sebesar; (a) 8, dan (b) 10

Gambar 4a dan 4b menunjukkan foto struktur dengan SEM dari paduan Mg-0,5Ca-4Zn setelah proses *sintering* pada temperatur 700 $^\circ\text{C}$ dengan penambahan CaCO_3 sebesar 8 dan 10% berat. Teramati pada Gambar 4b, pori dengan ukuran lebih kecil terbentuk pada penambahan 10% berat CaCO_3 , sedangkan pada penambahan temperatur dan 8% berat CaCO_3 , pori yang terbentuk tidak memenuhi permukaan seperti halnya

Gambar 4b, akan tetapi diameter pori yang terbentuk lebih besar. Ukuran pori yang terbentuk pada kondisi ini adalah 70 μm – 406,05 μm untuk penambahan CaCO_3 sebanyak 8% berat (Gambar 4a), dan ukuran 18,22 μm – 347,64 μm untuk penambahan 10% berat CaCO_3 (Gambar 4b).

3.2 Analisis Sifat Mekanik

Gambar 5a - 5c menunjukkan persentasi porositas, besarnya densitas dan kekuatan tekan (MPa) dalam paduan Mg-0,5Ca-4Zn dengan penambahan *foaming agent* CaCO_3 sebesar 8 dan 10% berat.



Gambar 5. Grafik antara komposisi CaCO_3 dan temperatur *sintering* dalam paduan Mg-0,5Ca-4Zn untuk

menghasilkan; (a) porositas (%), (b) densitas rata-rata (gr/cm^3), dan (c) kekuatan tekan (MPa)

Berdasarkan grafik hasil uji pada Gambar 5a - 5c, porositas yang dihasilkan dalam paduan pada umumnya meningkat sedangkan densitas dan kekuatan tekan akan semakin menurun seiring dengan meningkatnya penambahan *foaming agent* CaCO_3 dan kenaikan temperatur *sintering*. Ditegaskan oleh Pulagara, Saini & Dondapati (2015) dalam penelitiannya menggunakan dolomit, semakin tinggi penambahan persen *foaming agent*, maka semakin tinggi persen pori yang terbentuk dan semakin rendah nilai densitas yang dihasilkan dalam paduan. Hal ini disebabkan karena *foaming agent* CaCO_3 terdekomposisi menjadi gas CO_2 sehingga menyebabkan porositas terbentuk. Semakin banyak *foaming agent* CaCO_3 yang diberikan, maka akan semakin banyak pula CaCO_3 yang terdekomposisi menjadi gas CO_2 . Akan tetapi pada penambahan 10% berat *foaming agent* dengan temperatur *sintering* 675°C (Gambar 5), terjadi peningkatan porositas yang dihasilkan bila dibandingkan dengan temperatur *sintering* 700°C . Menurut Syafri, Isranuri dan Suprianto (2013), salah satu penyebab lebih rendahnya persentase porositas yang terbentuk dengan peningkatan temperatur *sintering* adalah bahwa paduan Mg-0,5Ca-4Zn tidak tersinter dengan sempurna, sehingga mempengaruhi proses dispersi antara paduan magnesium dengan *foaming agent* CaCO_3 yang mengakibatkan tidak terjadinya proses pembusaan (*foaming*) yang sempurna. Ketidak sempurnaan pembusaan menyebabkan penyebaran pori yang tidak merata. Yang *dkk.* (2017) mengemukakan bahwa ketidaksempurnaan dekomposisi *foaming agent* dikarenakan perbedaan temperatur dekomposisi antara *foaming agent* CaCO_3 dengan temperatur lebur dari magnesium yaitu 650°C . Porositas terendah terdapat pada paduan 8% berat CaCO_3 (temperatur sinter 650°C) yaitu 15% dan porositas terbesar terdapat pada 10% berat CaCO_3 (temperatur sinter 675°C) yaitu 47,5% (Gambar 5a).

Faktor yang mempengaruhi nilai kuat tekan adalah porositas dan temperatur *sintering* yang berdampak pada sifat mekanik material. Rendahnya kuat tekan pada paduan Mg-0,5Ca-4Zn (Gambar 5c) disebabkan distribusi pori yang tidak merata pada setiap bidang paduan dan ukuran pori yang tidak homogen diakibatkan efek temperatur *sintering* (Gambar 2, 3 dan 4). Menurut Yang *dkk.* (2017) bahwa semakin besar temperatur *sintering* maka akan semakin tinggi laju pelepasan gas CO ke dalam paduan Mg-Zn-Ca yang akan menciptakan pori yang lebih besar, pori yang lebih banyak dan distribusi yang lebih merata. Perbedaan kuat tekan dikarenakan perbedaan komposisi *foaming agent* dan temperatur *sintering*. Jika dilihat dari hasil XRD adanya fasa intermetalik Mg_2Ca dan $\text{Ca}_2\text{Mg}_6\text{Zn}_3$ dapat

meningkatkan sifat mekanik dari paduan. Paduan menjadi lebih keras, akan tetapi lebih mudah terkorosi dibandingkan bila fasa Mg lebih dominan terbentuk dalam paduan. Dapat disimpulkan dari data hasil uji tekan, bahwa semakin tinggi persentase porositas, maka semakin kecil nilai kuat tekan yang diperoleh (Gambar 5a dan 5c). Penambahan Zn dapat meningkatkan sifat mekanik untuk mengimbangi pori yang terbentuk oleh *foaming agent*. Meskipun kekuatan tekan paduan Mg-Zn-Ca- CaCO_3 menurun dengan nilai persentase porositas meningkat, diperkirakan dengan hasil sifat mekanik yang diperoleh dari paduan ini yang berkisar antara 60 – 128 MPa atau 0,6-0,128 GPa (Gambar 5), maka hasil kekuatan tekan yang diperoleh dibagi dengan regangan yang terjadi, dimungkinkan hasil *Young Modulus* dari paduan ini akan mendekati sifat mekanik dari tulang *cancellous* manusia. Yusop *dkk.* (2012) memaparkan bahwa magnesium memiliki sifat fisik dan sifat mekanik yang mendekati tulang *cortical* (5-23 GPa) dan tulang *cancellous* (0,01-0,57 GPa) dibandingkan paduan Ti-6Al-4V (114 GPa) dan baja tahan karat 316L (190 GPa), dimana *Young Modulus* magnesium paduan berkisar 41-45 GPa.

4. Kesimpulan

Analisis porositas paduan logam seluler Mg-0,5Ca-4Zn dengan variasi *foaming agent* CaCO_3 sebesar 8 dan 10% berat dengan temperatur *sintering* 650, 675 dan 700°C dan waktu tahan 3 jam telah dilakukan. Tren yang muncul adalah semakin meningkatnya temperatur *sintering* dan penambahan CaCO_3 dalam paduan semakin meningkatkan pori yang terbentuk sehingga menurunkan densitas dan kekuatan tekan dari paduan Mg-0,5Ca-4Zn. Pengamatan dengan SEM menunjukkan ukuran pori terbesar yang terbentuk adalah sebesar $106,62 - 435,22 \mu\text{m}$ yang dihasilkan dalam paduan 85,5Mg-0,5Ca-4Zn-10 CaCO_3 pada temperatur *sintering* 650°C .

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pusat Penelitian Metalurgi dan Material – LIPI yang telah mendanai penelitian ini dari kegiatan Kompetensi Inti Tahun Anggaran 2018.

Daftar Pustaka

- Radha, R., Sreekanth, D. (2017). Insight of magnesium alloys and composites for orthopedic implant applications – a review. *Journal of Magnesium and Alloys*, 5(3), 286-312.
- Sankalp, A., Curtin, J., Duffy, B., Jaiswal, S., (2016). Biodegradable magnesium alloys for orthopaedic applications: A review on corrosion,

- biocompatibility and surface modifications. *Journal Materials Science and Engineering C*, 68, 948-963.
- Zhang, B.P., Wang, Y., Geng, L. (2011). *Biomaterials – Physics and Chemistry* (p. 187), Rijeka: InTech.
- Zheng, Y.F., Gu, X.N., Witte, F. (2014). Biodegradable Metals. *Journal Material Science and Engineering F*, 77, 1-34.
- Xin, Y., Huo, K., Tao, H., Tang, G., Chu, P. K. (2008). Influence of aggressive ions on the degradation behavior of biomedical magnesium alloy in physiological environment. *Acta Biomaterialia*, 4, 2008–2015.
- Seyedraoufi, Z.S., Mirdamadi, Sh. (2013). Synthesis, Microstructure and Mechanical Properties of Porous Mg-Zn Scaffolds. *J Mech Behav Biomed Mater.*, 21, 1-8.
- Yang, D., Chen, W., Lu, J., Hu, Z., Feng, Y., Chen, J., Jiang, J., Ma, A., Wang, L., Wang, H. (2017). Fabrication of Cellular Mg Alloy By Gas Release Reaction Via Powder Metallurgi Approach. *Metal Powder Report*, 72 (2), 124-127.
- Kayhan, S.M., Tahmasebifar, A., Evis, Z., Koc, M. (2015). Effect of Manufacturing Conditions on the Mechanical and Corrosion Behavior of Micro-structured AZ91D Prepared by Powder Metallurgy. *4M/ICOMM Conference*, DOI :10.13140/RG.2.1.3988.8803.
- Pulagara, V.N., Saini, S., Dondapati, R. S. (2015). Study of Manufacturing And Mechanical Properties of Mg – Foam Using Dolomite as the Blowing Agent: A Review. *IOP Conference*, DOI:10.13140/RG.2.1.4606.2243.
- Gonzalez, S., Pellicer, E., Surinach, S., Baro, M.D., Sort, J. (2013). *Biodegradable and Mechanical Integrity of Magnesium and Magnesium Alloys Suitable for Implants* (p. 316-317). InTech. dx.doi.org/10.5772/55584.
- Kennedy, A. (2012). *Porous Metals and Metals Foams Made from Powder* (p. 38). InTech. Manufacturing Division, University of Nottingham, Nottingham. UK. 2012.
- Erryani, A., Lestari, F. P., Annur, D., Amal, M.I., Kartika, I. (2017). Microstructure and Mechanical Study of Mg Alloy Foam Based on Mg-Zn-Ca-CaCO₃ System. *IOP Conf. Series; Materials Science and Engineering*, 202, 012028.
- Andi. (2017). *Pengaruh Variasi Komposisi Foaming Agent dan Temperatur Sintering Paduan MgZnCa dengan Foaming Agent CaCO₃ untuk Aplikasi Implan Mampu Luruh*. Skripsi. Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
- Li, Y., Hodgson, P. D., Wen, C. (2011). The Effect of Calcium and Yttrium Additions on the Microstructure, Mechanical Properties and Biocompatibility of Biodegradable Magnesium Alloys. *Journal of Materials Science*, 46(2), 365-371.
- Syafri, P., Isranuri, I., Suprianto. (2013). Studi Pengaruh Magnesium terhadap Kekuatan Impak dan Mikrostruktur Aluminium Foam Menggunakan 3% CaCO₃ sebagai Blowing Agent. *Jurnal e-Dinamis*, 5(1), 23-28.
- Yusop, A. H., Bakir, A.A., Shaharom, N.A., Abdul Kadir, M.R., Hermawan, H. (2012). Porous Biodegradable Metals for Hard Tissue Scaffolds: A Review. *Int. J. Biomater.* Article ID 641430, 10 pages, doi:10.1155/2012/641430.