JIETech Journal of Industrial Engineering and Technology

Journal of Industrial Engineering and Technology
Vol. 1, No. 2, Juli 2025, 165 – 170

Karakterisasi Mikrostruktur Paduan Mg-Zn-Ca dengan Metode Metalurgi Serbuk untuk Aplikasi Biomedis

Yuliana Simons[1], Onny S Sutresman[2], Hairul Arsyad[3]

[1]Teknik Mesin, Teknologi Industri, Universitas Balikpapan, Jl. Pupuk Raya, Gunung Bahagia, Kota Balikpapan, 761114, Indonesia
[2,3]Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Jl. Poros Malino, Km 6 Gowa, 92171, Sulawesi Selatan, Indonesia
Email: yulianasimons@uniba-bpn.ac.id; onny.sutresman@gmail.com; arsyadhairul@yahoo.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik mikrostruktur Paduan Mg-Zn-Ca yang disintesis melalui metode metalurgi serbuk dengan variasi komposisi (89Mg-10Zn-1Ca, 93Mg-6Zn-1Ca dan 97Mg-2Zn-1Ca) serta sintering pada suhu 600℃. Hasil analisis menunjukkan bahwa Paduan 89Mg-10Zn-1Ca menghasilkan mikrostruktur yang paling homogen dengan distribusi fasa sekunder yang merata, porositas terkendali dan sedikit cacat, sehingga berpotensi oprimal untuk aplikasi implant tulang. Sebaliknya, Paduan 93Mg-6Zn-1Ca dan 97Mg-2Zn-1Ca menunjukkan ketidakhomogenan fasa, porositas tinggi. Komposisi Zn ≥ 10% dalam sistem Mg-Zn-Ca mampu meningkatkan desifikasi dan kualitas mikrostruktur setelah sintering, sehingga Paduan 89Mg-10Zn-1Ca merupakan kandidat menjanjikan untuk pengembangan implant tulang biodegradable.

Kata Kunci: *Paduan Mg-Zn-Ca, Metalurgi Serbuk, Mikrostruktur, Implan Tulang*

ABSTRACT

This study aims to analyze the microstructural characteristics of Mg-Zn-Ca alloys synthesized through powder metallurgy methods with various compositions (89Mg-10Zn-1Ca, 93Mg-6Zn-1Ca and 97Mg-2Zn-1Ca) and sintering at 600℃. The results of the analysis show that the 89Mg-10Zn-1Ca alloy produces the most homogeneous microstructure with an even distribution of secondary phases, controlled porosity and few defects, so it has optimal potential for bone implant applications. In contrast, the 93Mg-6Zn-1Ca and 97Mg-2Zn-1Ca alloys show phase inhomogeneity, high porosity. The composition of Zn ≥ 10% in the Mg-Zn-Ca system is able to improve the dessification and quality of the microstructure after sintering, so that the 89Mg-10Zn-1Ca alloy is a promising candidate for the development of biodegradable bone implants.

Keywords: *Mg-Zn-Ca Alloy, Powder Metallurgy, Microstructure, Bone Implant*

1. Pendahuluan

Saat ini, biodegradable dianggap sebagai bahan yang paling menonjol untuk pembuatan implant. Bahan-bahan ini terdegradasi secara progresif seiring waktu setelah implantasi sehingga mengesampingkan pasca penyembuhan. Karakteristik dasar dari bahan-bahan ini yaitu bahan-bahan yang memiliki sifat mekanik dan biologis yang dekat dengan tulang manusia (Kumar & Pandey, 2020). Magnesium dapat dipilih sebagai implant tulang karena modulus elastisitas Young (40-45 Gpa) yang cukup dekat dengan tulang alami (10-20 Gpa) dibandingkan dengan bahan lain yang umum digunakan (stainless steel, titanium dan Paduan berbasis Cobalt-Chromium). Magnesium dapat mengurangi resiko efek pelindung selama proses penyembuhan setelah implantasi yang disebabkan oleh ketidaksesuaian implant dan tulang alami (Amal et al., 2016). Penggunaan implant yang biodegradable dan biokompatibelmerupakan subjek material yang saat ini berkembang. Namun, aplikasi proses penyembuhan tulang, sifat mekanik yang

tinggi saja tidak cukup untuk sebuah material dikatakan cocok sebagai implant, tetapi juga dioptimalkan sesuai dengan sifat asli dari struktur tulang yang akan diperbaiki (Lestari et al., 2019). Tubuh manusia memiliki bagian terpenting yaitu tulang dan gigi. Kerusakan jaringan pada bagian tersebut dapat menyebabkan kecacatan struktur dan menimbulkan gangguan fungsi tubuh. Untuk memperbaiki struktur tulang dapat dilakukan dengan penambahan dan penggantian jaringan. Penembahan atau penggantian jaringan yang biasa disebut dengan implant tulang berfungsi untuk memperbaiki keadaan bentuk dan fungsi yang normal dari suaru jaringan. Pada prinsipnya, implant tulang memerlukan bahan yang dapat diterima oleh jaringan tubuh, cukup kuat dan dapat berfungsi Bersama-sama dengan jaringan tubuh diatasnya (Azkiya et al., 2021) Paduan magnesium banyak digunakan sebagai material konstruksi dan material komponen automotive karena sifatnya yang ringan. Paduan magnesium juga merupakan Paduan yang sangat menjanjikan sebagai material biokompatibel dan biodegradable untuk aplikasi medias pada masa mendatang (Kartika et al., 2018).

Magnesium (Mg) dan paduannya memiliki kompabilitas dan sifat mekanik yang baik. Magnesium dan paduannya juga berpotensi untuk menjadi material yang dapat terdegradasi untuk aplikasi medis. Zinc (Zn) digunakan sebagai unsur Paduan untuk meningkatkan ketahanan korosi pada Paduan magnesium. Sedangkan kalsium (Ca) merupakan komponen utama dalam tulang yang dapat meningkatkan proses penyembuhan jaringan tulang (Erryani et al., 2018). Paduan berbasis Mg-Zn dianggap sebagai salah satu Paduan yang paling bisa memenuhi kriteria sebagai perbaharuan atau pergantian Paduan baja dan aluminium (Al) karena harganya yang murah dan memiliki age hardening yang baik. Disisi lain Paduan Mg-Zn memiliki sifat mekanik yang stabilitas yang relative rendah saat digunakan pada temperature tinggi. Solusi yang dapat dilakukan adalah penambahan unsur pendukung lain guna meningkatkan sifat mekanik Paduan Mg-Zn. Perlu diketahui bahwa penambahan elemen pendukung dapat menyebabkan bentuk fasa baru dan meningkatkan sifat fisik atau mekanik Paduan. Kalsium (Ca) merupakan unsur Paduan yang terbukti dapat meningkatkan sifat mekanik Paduan magnesium (Mg) pada temperature tinggi. Penambahan kalsium (Ca) membuat struktur mikro yang dihasilkan lebih halur dan jumlah fasa intermetalik meningkat dengan semakin meningkatnya kandungan (Ca) (Pramasta .I & Sutarsis, 2013).

Tujuan pada penelitian ini adalah membuat material metal dengan jenis struktur sel dari serbuk Paduan Mg-Zn-Ca.

2. Metode Penelitian

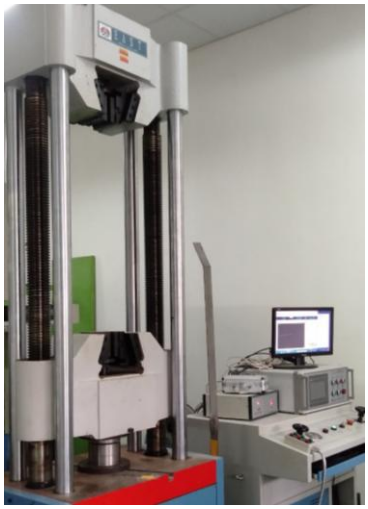
Persiapan Material

Magnesium (Mg), Zinc (Zn) dan Kalsium (Ca) dengan kemurnian > 98% masing-masing bubuk, dibuat dengan metode metalurgi serbuk. Serbuk yang berbeda jenisnya dicampur dengan merata. Paduan serbuk Mg-Zn-Ca dicampurkan dengan proses dry milling selama 60 menit. untuk mendapatkan sampel yang diinginkan, maka perlu dilakukan pemadatan serbuk dengan cetakan. Tekanan pemadatan dilakukan dengan proses kompaksi dan menggunakan beban 200 MPa. Proses selanjutnya pemanasan yang dilakukan pada temperature 600°C dan waktu tahan selama 3 jam dan tungku disuplai dengan gas argon pada proses sintering berlangsung untuk menghindari oksidasi. setelah sintering dilakukan, sampel didinginkan dalam tunggu sebelum dikeluarkan.

Tabel 1. Komposisi sampel

Kode Sampel	Berat persen (%)		
	Mg	Zn	Ca
89Mg-10Zn-1Ca	89	10	1
93Mg-6Zn-1Ca	93	6	1
97Mg-2Zn-1Ca	97	2	1

Gambar 1. Cetakan sampel



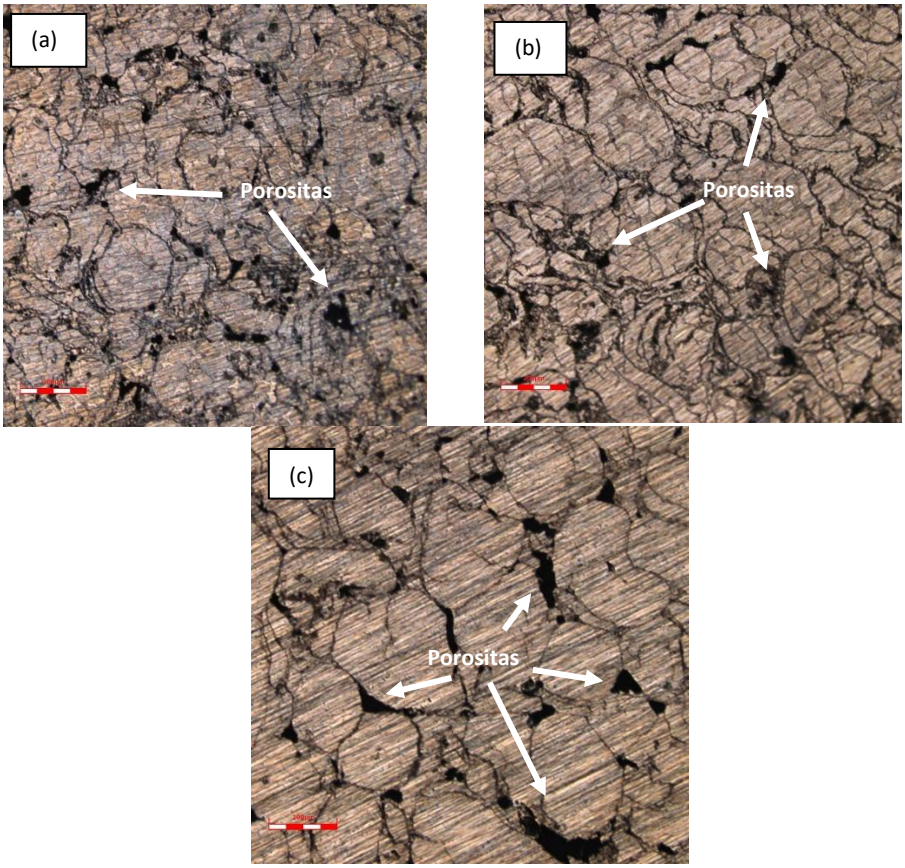
Gambar 2. Proses kompaksi 200Mpa dengan menggunakan alat *Universal Testing Machine*

Gambar 3. Proses sintering selama 3 jam dengan temperature 600℃ dan tungku disuplai dengan gas argon

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil dan pembahasan berisi hasil-hasil maupun data-data temuan penelitian, beserta pembahasannya yang disajikan secara ilmiah. Data yang disajikan merupakan data yang sudah diolah, bukan berupa data mentah. Hasil disajikan dalam bentuk tabel atau gambar dan disertai

dengan pembahasan. Di dalam pembahasan, tidak menyebutkan ulang isi, melainkan mendeskripsikan maknanya.



Gambar 4. Foto Mikrostruktur pembesaran 100x sampel Paduan Mg-Zn-Ca hasil sintering temperature 600℃ waktu tahan sinter 3 jam dengan Paduan: (a)89Mg-10Zn-1Ca, (b) 93Mg-6Zn-1Ca dan (c) 97Mg-2Zn-1Ca

Pada gambar menunjukkan hasil penampang stuktur mikro Paduan Mg-Zn-Ca dengan pembesaran 100x dengan temperature sintering 600℃. Dari gambar terlihat bahwa penambahan Zinc (Zn) akan memberikan struktur mikro yang berbeda pada temperature 600℃. Pada suhu sintering 600℃, pori-pori terbentuk pada sampel Paduan (a) 89Mg-10Zn-1Ca lebih halus dibandingkan dengan Paduan (c) 97Mg-2Zn-1Ca yang lebih terlihat besar pori dan lebih menyatu pada Paduannya. Terlihat pada temperature 600℃ batas butir jadi lebih halus, sehingga dapat disimpulkan bahwa kenaikan temperature sintering juga memperhalus butir Paduan Mg-Zn-Ca.

Pada dasarnya penambahan unsur Ca dan Zn pada Paduan Mg dapat mempengaruhi laju korosi. Penambahan Zn pada Paduan Mg dapat meningkatkan potensi korosi, karena Zn karena keelektronegatifan yang cukup tinggi. Penambahan Zn dapat menurunkan ketahanan korosi, sedangkan penambahan Ca pada Paduan dapat meningkatkan ketahanan korosi (Erryani et al., 2018). Dari setiap variasi komposisi yang berbeda, semakin banyak campuran penguat Mg dan Zn maka semakin banyak penyebaran serbuk penguat terlihat pada foro mikrostruktur, sehingga nilai porositas semakin kecil (Sultan Achmad Dodo & Mahadi S.T., M.T, 2020). Semakin banyak kandungan Ca dalam Paduan mengakibatkan semakin banyak fasa sekunder dan ukurannya semakin mengecil. Semakin banyak pori yang dihasilkan akan membuat semakin banyak nya ruang kosong sehingga akan menurunkan nilai kuat tekan dari Paduan (Sutarsis, 2019).

Semakin banyak penambahan Zn pada Paduan Mg makan akan mengakibatkan semakin memperluas ukuran butirnya. Kemudian dengan semakin halusnya ukuran butir maka akan meningkatkan nilai kekuatan dan kekerasannya. Penambahan kadar unsur Zn pada Paduan Mg-ZN-Ca akan secara signifikan mengurangi ukuran butir dari Paduan tersebut. Pengecilan ukuran butir dikarenkan pemisahan Zn dari batas butir pada proses perbandingan yang mana Zn dari batas butir pada saat proses pendinginan yang mana Zn yang terpisah akan menghalangi pertumbuhan dari batas butir lalu akan memicu semakin banyaknya nukleasi Mg, shingga ukuran butir akan semakin kecil dan banyak. Maka dari itu semakin banyak Zn maka ukuran butir akan semakin kecil (Nugraha, 2017).

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian karakteristik mikrostruktur Paduan Mg-Zn-Ca yang diproses dengan metode metalurgi serbuk pada temperature sintering 600℃ didapat Kesimpulan bahwa Paduan 89Mg-10Zn-1Ca menunjukkan kualitas mikrostruktur terbaik dengan porositaas terkendali, distribusi fasa yang homogen sehingga paling berpotensial untuk aplikasi implant tulang biodegradable. Untuk Paduan 93Mg-6Zn-1ca dan 97Mg-2Zn-1Ca menunjukkan porositas lebih banyak dan besar, ketidakhomogenan fasa yang mengakibatkan kualitas mikrostruktur kurang optimal untuk aplikasi biomedis. Kandungan Zn ≥ 10% pada system Paduan Mg-Zn-Ca terbukti meningkatkan densifikasi selama sintering berlangsung, memperbaiki stabilitas mikrostruktur dan berperan penting dalam pembentukan fasa pendukung kekuatan material. Temperature sintering 600℃ cukup efisien untuk memicu difusi atom yang baik.

5. Daftar Pustaka

Amal, M. I., Annur, D., Lestari, F. P., Sutowo, C., & Kartika, I. (2016). Processing of porous Mg-Zn-Ca alloy via powder metallurgy. AIP Conference Proceedings, 1778(October 2016). https://doi.org/10.1063/1.4965744

Azkiya, N. I., Prasetia, F., Chrisnandari, R. D., & Witasari, W. S. (2021). Pemanfaatan Precipitated Calcium Carbonat dari Batu Kapur dalam Pembuatan β- TCP sebagai Bahan Dasar Implan Tulang. Jurnal Teknik Kimia Dan Lingkungan, 5(1), 78–82. https://doi.org/10.33795/jtkl.v5i1.208

Erryani, A., Lestari, F. P., Annur, D., & Muhammad Ikhlasul Amal, I. K. (2018). Laju dan Morfologi Korosi Paduan Logam Berpori Mg-Ca-Zn dengan Foaming Agent CaCO 3 Corrotion Rate and Morphology of Porous Metal Alloy. Widyariset, 4(1).

Kartika, I., Amal, M. I., Sutowo, C., Sukarso, S. G., & Sriyono, B. (2018). Pengaruh Variasi Berat Foaming Agent Cah2 Terhadap Karakteristik Paduan Mg-Ca-Zn Metal Selular Berbasis Sistem Mg-Zn-CaH2. Metalurgi, 29(2), 145. https://doi.org/10.14203/metalurgi.v29i2.286

Kumar, A., & Pandey, P. M. (2020). Development of Mg based biomaterial with improved mechanical and degradation properties using powder metallurgy. Journal of Magnesium and Alloys, 8(3), 883–898. https://doi.org/10.1016/j.jma.2020.02.011

Lestari, F. P., Hidayat, F., Erryani, A., Satrio, M., Thaha, Y. N., & Kartika, I. (2019). Fabrikasi Paduan Magnesium Berpori dengan Partikel Garam NaCl sebagai Space Holder. Metalurgi, V(E-ISSN 2443-3926), 125–134.

Nugraha, F. A. (2017). Pengaruh Komposisi Zn Dan Temperatur Casting Terhadap Morfologi Dan Sifat Mekanik Paduan Mg–Zn Untuk Aplikasi Biodegradable Orthopedic Devices. Jurnal Teknik ITS, Vol. 3. https://repository.its.ac.id/43070/

Pramasta .I, & Sutarsis. (2013). Pengaruh Penambahan Yttrium Terhadap Struktur Mikro, Sifat Mekanik Dan Ketahanan Termal Pada Paduan Mg-6Zn Sebagai Aplikasi Engine Block. Jurnal Teknik Pomits, 2(1).

Sultan Achmad Dodo, & Mahadi S.T., M.T. (2020). Pengaruh Variasi Tekanan Dan Suhu Pada Pengadukan Serbuk Aluminium (Al), Magnesium (Mg), Dan Seng (Zn) Terhadap Sifat Mekanik Logam Dengan Metode Metalurgi Serbuk. Dinamis, 8(2), 9. https://doi.org/10.32734/dinamis.v8i2.7451

Sutarsis, Y. A. T. dan. (2019). Pengaruh Penambahan Kalsium terhadap Struktur Mikro, Sifat Mekanik, dan Ketahanan Termal Paduan Mg 6 Zn Sebagai Aplikasi Engine Block. Jurnal Teknik Pomits, 2(1), 34–38.