



## PENGARUH PENAMBAHAN UNSUR Ca PADA PADUAN Mg-Ca TERHADAP PEMBENTUKAN FASA UNTUK APLIKASI IMPLAN MAMPU LURUH

Mansur Mustopa, Kusdi Prijono, Muhammad Awwaluddin

*Program Studi Teknik Mesin, Universitas Pamulang, Jl. Surya Kencana No.1, Tangerang Selatan, Indonesia*

E-mail : [mustopamansur3@gmail.com](mailto:mustopamansur3@gmail.com)<sup>1</sup>

Masuk : 05 Oktober 2022

Direvisi : 26 Oktober 2022

Disetujui : 18 November 2022

**Abstrak:** Pengembangan implan mampu luruh untuk menggantikan jaringan tubuh yang mengalami kerusakan atau kegagalan terus dikembangkan untuk mendapatkan sifat mekanik dan non mekanik yang baik. Akan tetapi, sifat mekanik yang tinggi tidak cukup untuk mengatakan bahwa suatu bahan tertentu cocok untuk digunakan sebagai implan. Pada penelitian ini dikembangkan paduan Mg-Ca untuk diamati karakteristik struktur mikro pada paduan tersebut agar dapat digunakan sebagai implan. Paduan dibuat dari serbuk Magnesium dan Kalsium. Metode dalam penelitian ini menggunakan metode pengujian X Ray Diffraction (XRD) untuk melihat fasa yang terbentuk pada paduan serta analisisnya menggunakan Software Material Analysis Using Diffraction (MAUD). Pengamatan morfologi permukaan paduan direncanakan menggunakan SEM-EDS dimana variasi suhu sintering yang digunakan pada penelitian ini adalah 150°C, 200°C, dan 250°C. Hasil penelitian memperlihatkan adanya unsur pengotor pada paduan diantaranya C, Fe dan Zn. Disamping itu adanya peningkatan suhu sintering memberikan dampak pada meningkatnya densitas dan kekerasan material.

Kata kunci: High Energy Milling, Metalurgi Serbuk, Mg - Ca, X-Ray Diffraction, Maud, SEM-EDS, Densitas, Kekerasan.

**Abstract:** The development of biodegradable implants that are capable of disintegrating to replace damaged or failed body tissue continues to be developed to obtain good mechanical and non-mechanical properties. However, high mechanical properties are not enough to say that a particular material is suitable for use as an implant. In this research, an Mg-Ca alloy was developed to observe the microstructural characteristics of the alloys so that it can be used as an implant. The alloy is made from Magnesium and Calcium powder. The method in this research uses the X Ray Diffraction (XRD) testing method to see the phases formed in the alloy and the analysis uses Material Analysis Using Diffraction (MAUD) Software. Observations of the surface morphology of the alloys were planned using SEM-EDS where the sintering temperature variations used in this study were 150°C, 200°C, and 250°C. The research results show that there are impurity elements in the alloy including C, Fe and Zn. Besides that, increasing the sintering temperature has an impact on increasing the density and hardness of the material.

Keywords: High Energy Milling, Powder Metallurgy, Mg - Ca, X-Ray Diffraction, Maud, SEM-EDS, Density, Hardness

### PENDAHULUAN

Penelitian terkait implan mampu luruh terus dilakukan sampai sekarang. Hal ini bertujuan untuk menciptakan solusi baru terkait logam sebagai material implan yang memiliki spesifikasi lebih baik dan tidak berbahaya bagi tubuh. Oleh karena itu dibuatlah material implan yang bisa terdegradasi secara kimia dan alami yang juga tidak berbahaya bagi tubuh. Material implan ini digunakan sebagai alat bantu untuk memperbaiki struktur tubuh yang rusak dan menumbuhkan kembali jaringan tubuh. Apabila tujuannya telah tercapai maka material ini akan luruh secara kimia dan alami didalam tubuh. Salah satu biomaterial yang mudah larut dan terus dikembangkan saat ini adalah paduan magnesium.

Magnesium (Mg) merupakan bahan yang baik dalam penerapan implan yang dapat terdegradasi dalam tubuh manusia dikarenakan magnesium dapat meningkatkan pertumbuhan jaringan tubuh serta mempercepat waktu penyembuhan. Mg memiliki biokompatibilitas tinggi dibandingkan dengan material implant berbahan dasar Fe seperti SS316 L , densitas rendah, dan ketahanan korosi yang rendah [1-3]. Namun, aplikasi Mg masih terbatas dikarenakan

adanya pelepasan hidrogen dan tingkat degradasi yang tinggi dalam cairan tubuh manusia. Hal itu menyebabkan berkurangnya sifat mekanik Mg murni sebelum jaringan baru terbentuk atau dinyatakan sembuh total.

Biomaterial atau implan dibagi menjadi dua kategori berdasarkan degradabilitasnya yaitu: bahan bioinert dan bahan degradable. Bahan bioinert memiliki sejarah penggunaan klinis yang panjang dan merupakan bahan medis yang paling banyak digunakan [4-8]. Meskipun tidak dapat disangkal bahwa bahan ini efektif dalam perbaikan tulang, namun ada beberapa masalah yang tidak dapat dihindari. Misalnya, zat-zat ini tetap berada di dalam tubuh manusia secara permanen sampai tidak diperlukan lagi dan harus dikeluarkan melalui prosedur pembedahan lebih lanjut. Ini tidak hanya meningkatkan biaya, tetapi juga meningkatkan rasa sakit pasien. Pada kasus ini material biodegradabel dapat mengatasi masalah tersebut. Material ini dapat larut dalam jaringan tubuh dengan sendirinya, sehingga tidak diperlukan operasi lanjutan untuk pengangkatan. Material biodegradabel akan mengurangi sifat mekanik material serta mempercepat pertumbuhan tulang dan jaringan lunak untuk menghindari efek tegangan pada tulang.

Pada penelitian ini telah dikembangkan biomaterial paduan Mg-Ca yang bersifat biokompatibel dan biodegradable. Pemilihan magnesium didasarkan pada fakta bahwa tubuh manusia dewasa mengandung sekitar 24 gram magnesium, dengan 60 persennya berada di tulang. Magnesium dan senyawanya memiliki potensi besar sebagai bahan penyusun biomaterial [7]. Dalam penelitian ini karakteristik mekanik dan non mekanik dilakukan untuk mengetahui sifat material agar dapat dievaluasi dan digunakan sebagai biomaterial. Magnesium (Mg) pada penelitian ini dijadikan menjadi material dasar atau utama dalam paduan. Dengan nomor atom 12 dan titik leleh 650 C serta memiliki kepadatan sepertiga dari aluminium maka magnesium dapat lebih mudah untuk diproduksi di tanur yang ada di Indonesia. Magnesium memiliki kekerasan yang baik dengan bobot yang lebih ringan dari semua logam structural. Magnesium adalah logam yang cukup aktif yang bereaksi dengan air dingin secara perlahan tapi cepat. Pada suhu sekitar, magnesium oksida, lapisan tipis yang terbuat dari oksigen dan magnesium, dapat terbentuk. Paduan magnesium banyak digunakan di berbagai industri, seperti industri otomotif, dirgantara, dan peralatan komersial [8-11].

### METODOLOGI

Metode penelitian dalam penelitian ini dilakukan dengan cara sebagai berikut: pemilihan komposisi paduan yaitu 96% Mg dan 4% Ca dimana variasi suhu sintering adalah 150 °C, 200 °C, dan 250 °C. pemilihan suhu sintering didasarkan pada diagram fasa material Mg. penelitian ini direncanakan dari maret-november berdasarkan pada Tabel 3.1

Tabel 3.1 Timeline

No	Proses Pengerjaan	Lama Waktu									
		Maret	April	Mei	Juni	Juli	Agustus	september	Oktober	November	
1	Penimbangan Material	■									
2	Milling		■								
3	Kompaksi			■							
4	Sintering				■						
5	Polesing					■					
6	Karakterisasi Material					■					
7	Uji Kekerasan (HL)						■				
8	Uji XRD dan SEM – EDS						■	■			
9	Penyusunan Skripsi							■	■	■	
10	Sidang Skripsi										■

Langkah penelitian selanjutnya adalah pembuatan paduan magnesium menggunakan mesin milling selama 1 jam yang ada pada laboratorium Teknik Mesin Universitas Pamulang. Setelah paduan terbentuk akan dilakukan kompaksi dan dilanjutkan dengan pengujian struktur fasa menggunakan alat X-Ray Diffraction (XRD) PAN

Analytical agar dapat diketahui fasa yang terbentuk. Pengamatan fasa paduan yang terbentuk menggunakan bantuan software MAUD. Untuk pengamatan komposisi paduan hasil sintering digunakan SEM/EDS agar dapat diketahui komposisi paduan setelah proses sintering dilakukan. Dalam hal pengamatan kekerasan pada penelitian ini menggunakan alat uji kekerasan Leeb Hardness tester yang kemudian dikonversi ke satuan Brinell

## HASIL DAN PEMBAHASAN

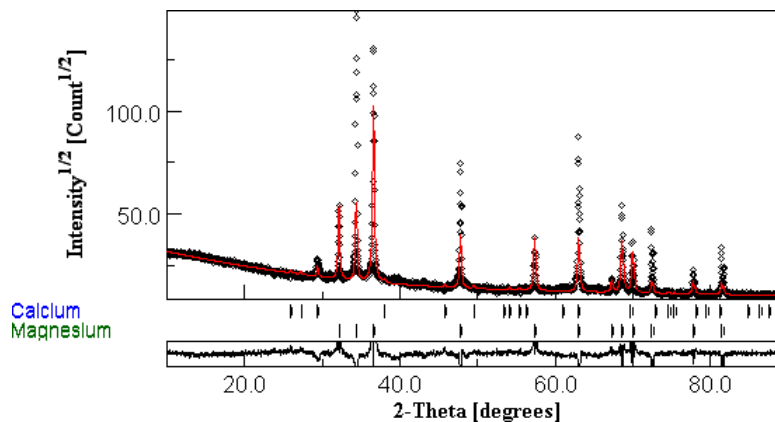
### Hasil Analisis Variasi Pengujian Data Sampel Paduan Mg-Ca

Pada penelitian ini sampel paduan Mg-Ca dianalisis komposisinya (96% dan 4%). Dengan proses waktu milling dan sintering dengan variasi penelitian seperti terlihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Sampel Variasi Penelitian Material

Paduan	Variasi Suhu Sintering	Waktu Milling
Magnesium (Mg) 96% Kalsium (Ca) 4%	150 °C	1 jam
	200 °C	
	250 °C	

Hasil Pengujian XRD (X-Ray Diffraction) yang telah dianalisis menggunakan software *Material Analysis Using Diffraction* (MAUD) pada paduan Mg-Ca dengan waktu milling 1 jam menggunakan rasio berat bola dan serbuk 5:1 dengan berat bola 4 gram pada suhu 150 °C dengan holding time selama 10 menit dapat dilihat pada Gambar 4.1. Dari data *Crystal Information File* (CIF) teridentifikasi intensitas yang terbentuk pada paduan Mg-Ca adalah fasa Mg-Ca yang lebih mendominasi unsur Mg dengan selisih 97% dari unsur Ca.



Gambar 4.1 XRD pada suhu sintering 150 °C

Hasil data densitas paduan Mg-Ca terhadap variasi suhu sintering berdasarkan hasil analisis pada *software* MAUD dengan data CIF dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil data densitas

Variasi Suhu Sintering	Unsur		Nilai rata-rata densitas
	Mg	Ca	
150 °C	1,774	1,700	2,624 g/cm <sup>3</sup>
200 °C	1,634	1,521	2,394 g/cm <sup>3</sup>
250 °C	1,734	1,627	2,547 g/cm <sup>3</sup>

Dari Tabel 4.2 dapat dilihat bahwa penambahan suhu sintering pada material paduan Mg-Ca menyebabkan penurunan densitas nilai paduan, namun tidak bersifat linier dimana nilai densitas paduan hasil sintering pada

Mansur Mustopa, Kusdi Prijono, Muhammad Awwaluddin, Pengaruh penambahan unsur ca pada paduan mg-ca terhadap pembentukan fasa untuk aplikasi implan mampu luruh

suhu 200 °C lebih kecil dibandingkan pada paduan dengan sintering 250 °C, namun keduanya lebih kecil dibandingkan dengan hasil sintering pada suhu 150 °C. hal ini dimungkinkan adanya substitusi unsur paduan yang mungkin belum sempurna.

Hasil pengujian kekerasan paduan Mg-Ca hasil sintering dengan variasi suhu 150 °C, 200 °C, dan 250 °C dapat dilihat pada Tabel 4.3. Dari Tabel tersebut dapat dilihat bahwa terjadi penurunan nilai kekerasan pada paduan seiring dengan penambahan suhu sintering yang dilakukan. Penurunan nilai kekerasan ini nantinya bisa di konfirmasi melalui pengamatan batas butir yang akan dilakukan pada penelitian selanjutnya.

**Tabel 4.3 Hasil Uji Kekerasan**

Variasi Sintering	Titik Uji	Nilai Kekerasan (HL)	Nilai Rata-Rata	Brinell hardness
150°C	Titik 1	391	408 HL	221 HB
	Titik 2	434		
	Titik 3	388		
	Titik 4	439		
	Titik 5	390		
200 °C	Titik 1	367	403 HL	216 HB
	Titik 2	445		
	Titik 3	351		
	Titik 4	409		
	Titik 5	444		
250 °C	Titik 1	319	375HL	188 HB
	Titik 2	346		
	Titik 3	414		
	Titik 4	418		
	Titik 5	377		

Hasil pengujian EDS paduan Mg-Ca hasil sintering dengan variasi suhu 150 °C, 200 °C, dapat dilihat pada Tabel 4.4. dan Tabel 4.5. Hasil EDS hanya dilakukan pada dua paduan karena keterbatasan dana penelitian. Dari hasil EDS pada Tabel 4.4 dapat dilihat bahwa terdapat adanya penambahan unsur pengotor C pada hasil sintering paduan Mg-Ca pada suhu 150 °C, pengotor ini dimungkinkan karena sistem furnace yang digunakan tidak dalam kondisi vaccum atau berasal dari sisa material sebelumnya yang tidak dibersihkan dengan baik.

**Tabel 4. 4 Hasil Analisis EDS Suhu 150 °C**

Elemen	Komposisi awal (masa %)	Mapping 1 (masa %)	Mapping 2 (masa %)	Mapping keseluruhan (masa %)
Mg	96,00	95,34	69,16	67,70
Ca	4	4,66	10,44	15,31
C	0	0	20,40	16,99
Total	100	100	100	100

Pada Tabel 4.5 dapat dilihat bahwa terdapat adanya penambahan unsur pengotor Fe dan Zn pada hasil sintering paduan Mg-Ca pada suhu 200 °C, hal ini dimungkinkan karena furnace yang digunakan tidak vaccum dan kemungkina operator tidak membersihkan sisa material sebelumnya dengan baik.

Tabel 4.5 Hasil Analisis EDS Suhu 200 °C

Elemen	Komposisi awal (masa %)	Mapping 1 (masa %)	Mapping 1 (masa %)	Mapping keseluruhan (masa %)
Mg	96,00	67,83	86,35	56,26
Ca	4	18,65	13,65	20,35
C	0	13,52	0	11,41
Fe	0	0	0	2,49
Zn	0	0	0	9,49
Total	100	100	100	100

Hasil pengujian SEM paduan Mg-Ca hasil sintering dengan variasi suhu 150 °C, 200 °C, dan 250 °C dapat dilihat pada Tabel 4.6. dimana terlihat perbandingan massa paduan dan pengotor pada masing masing proses sintering tersebut.

Tabel 4.6 Hasil Pengujian SEM

Unsur	Suhu Sintering (°C)								
	150			200			250		
	Komposisi (%)			Komposisi (%)			Komposisi (%)		
	m1	m2	m3	m1	m2	m3	m1	m2	m3
Mg	95,34	69,16	67,70	67,83	86,35	56,26	57,47	70,62	75,23
Ca	4,66	10,44	15,31	18,65	13,65	20,35	19,60	17,27	12,11
Pengotor	0	20,40	16,99	13,52	0	23,39	22,93	12,11	12,65

## KESIMPULAN

Berikut kesimpulan yang diperoleh berdasarkan informasi dari hasil penelitian dan pembahasan dalam penelitian ini:

1. Menurut hasil analisis fasa dengan bantuan *software* MAUD menunjukkan adanya pembentukkaan puncak-puncak kristal Mg yang terbentuk pada hasil sintering di suhu 150 °C, begitu juga kemungkinan akan terjadi di suhu 200 °C dan suhu 250 °C. Semakin tinggi intensitas puncak difraksi maka semakin tinggi kesempurnaan kristal yang terbentuk. Dalam penelitian ini penambahan suhu sintering tidak memunculkan adanya fasa baru selain Mg-Ca.
2. Hasil uji kekerasan menggunakan *Leeb Hardness Tester (equotip)* dan konversi dari satuan HL (*Leeb Hardness*) menjadi HB (*Brinell hardness*) setelah proses fluktuasi suhu sintering menunjukkan nilai kekerasan cenderung tidak stabil dengan nilai kekerasan 221 HB, 216 HB dan 118 HB terhadap variasi suhu sintering 150°C, 200 °C, dan 250°C. Berdasarkan informasi diatas, dapat disimpulkan bahwa lamanyaproses sintering berdampak pada penurunan nilai kekerasan yang dimungkinkan akibat adanya variasi ukuran partikel pada setiap sampel.
3. Pengamatan struktur mikro dengan menggunakan SEM-EDS pada logam paduan Mg 96% dan Ca 4% dengan variasi suhu sintering 150 °C, 200 °C, dan 250 °C memperlihatkan adanya unsur pengotor diantaranya C, Fe, dan Zn yang dimungkinkan adanya pencampuran material lain di saat melakukan tahap proses material serbuk.

---

**DAFTAR PUSTAKA**

- [1] Dr. Vladimir, V. F. (2017). Magnesium dan Kegunaannya. *Gastronomía Ecuatoriana y Turismo Local.*, 1(69), 5–24.
- [2] Erryani, A. (2019). Sifat Mekanik Dan Struktur Mikro Paduan Magnesium Berpori Dengan Variasi Komposisi Agen Pengembang Dan Temperatur Sinter Untuk Aplikasi Implan Mampu Luruh. *Metalurgi*, 34(2), 61. <https://doi.org/10.14203/metalurgi.v34i2.469>
- [3] Iqbal, M., Sukmana, I., & Burhanuddin, Y. (2018). Studi sifat mekanik Magnesium AZ31 hasil proses pengecoran tekan (squeeze casting). *Jurnal Energi Dan Manufaktur*, 11(1), 1. <https://doi.org/10.24843/jem.2018.v11.i01.p01>
- [4] Kartika, I., Ashari, A. M., Trenggono, A., Lestari, F. P., & Erryani, A. (2019). Analisis Struktur Pori dan Sifat Mekanik Paduan Mg-0,5Ca-4Zn Hasil Proses Metalurgi Serbuk dengan Variasi Komposisi Foaming Agent CaCO<sub>3</sub> dan Temperatur Sintering. *Teknik*, 40(3), 142. <https://doi.org/10.14710/teknik.v40i3.25327>
- [5] Liu, X. L., Zhou, W. R., Wu, Y. H., Cheng, Y., & Zheng, Y. F. (2017). *Effect of sterilization process on surface characteristics and biocompatibility of pure Mg and MgCa alloys.* 33, 4144–4154. <https://doi.org/10.1016/j.jmsec.2013.06.004>
- [6] Muhammad Awwaluddin et al. (2020). Mechanical properties and corrosion behavior of novel  $\beta$ -type biomaterial Zr-6Mo-4Ti-xY alloys in simulated body fluid Ringer's lactate solution for implant applications.
- [7] Pradnyani, S. (2017). Perbandingan efektivitas sistem finishing Dan polishing pada permukaan Resin Komposit. *Tesis*, 10–11. [simdos.unud.ac.id](http://simdos.unud.ac.id)
- [8] Putranti et al. (2017). S Tudi P Enghindaran P Ajak. *Responsi Bank Indonesia*, 20 015, 63–70. Salahshoor, M., & Guo, Y. B. (2017). Process mechanics in deep rolling of Magnesium-Calcium (MgCa) biomaterial. *ASME 2011 International Manufacturing Science and Engineering Conference, MSEC 2011*, 1, 303–311. <https://doi.org/10.1115/MSEC2011-50280>
- [9] Setyawan, A., Studi, P., Mesin, T., Teknik, F., & Surakarta, U. M. (2020). *ANALISA PROPERTI MEKANIS PENGELASAN BRAZING ANTARA PLAT ALUMINIUM SERI 1000 DAN STAINLESS STEEL 304 DENGAN PENAMBAHAN SERBUK MAGNESIUM.*
- [10] Syarief, A. (2016). Uji Kekerasan Baja Konstruksi St-42 Pada Proses Heat Treatment. *Jurnal Teknik Mesin*, 7(1), 48–55.
- [11] Yafie, M. S. dkk. (2017). Pengaruh Variasi Temperatur Sintering dan Waktu Tahan Sintering Terhadap Densitas dan Kekerasan pada Mmc W-Cu Melalui Proses Metalurgi Serbuk. *Teknik Pomits*, 3(1), 6.