



ANALISIS PADUAN Mg-Fe-Zn DENGAN VARIASI WAKTU MILLING SEBAGAI BAHAN BIODEGRADABLE UNTUK APLIKASI ORTHOPEDIC DEVICE

Kevin Nandi Putratama¹, Abdul Choliq²

^{1,2}Program Studi Teknik Mesin, Universitas Pamulang, Jl. Surya Kencana No.1, Tangerang Selatan, Indonesia

E-mail: kevinnandi762015@gmail.com¹, dosen02127@unpam.ac.id²

Masuk: 15 Februari 2023

Direvisi: 29 Maret 2023

Disetujui: 26 April 2023

Abstract: The application of muscle gadgets continues to experience development in the process of its formation. One of the developments is through powder metallurgy. Elements that can be combined as materials are combinations of Mg - Fe - Zn. In this study, the Mg - Fe - Zn alloy was prepared with variations in mixing times of 2, 3 and 4 hours. The mixing machine used is a High Energy Milling machine (HEM). Magnesium powder, iron, and zinc powder are mixed using balls and tubes in the grinding process. The proportion of the weight of the ball used is 1: 2, the weight of the ball used is 8 grams. The mixed powder was made into pellets with a diameter of 16 mm and a thickness of 6 mm through a compaction process with a compressive force of 20 tons. Pellets are sintered using a Mute Heater at a temperature of 250°C with a holding time of 10 minutes and a temperature rise rate of 37°C/minute. The sintered material is tested through X-Beam Diffraction (XRD) testing using a powder diffraction testing strategy with the Programming Material Investigation Utilizing Diffraction (MAUD) guide to see the microstructure components that are framed. Research shows that new microstructures other than the main alloying elements are not formed even though the milling time increases. After grinding for three hours, the samples reached a maximum hardness of 191 HB. The milling process has an impact on increasing the hardness of the samples formed. In addition, variations in particle size appear in each sample made.

Keywords: High Energy Milling, Powder Metallurgy, Mg-Fe-Zn, X-Ray Diffraction, Maud, Hardness.

Abstrak: Aplikasi gadget otot terus mengalami pengembangan dalam proses pembentukannya. Salah satu pengembangannya adalah melalui metalurgi serbuk. Unsur yang dapat dipadukan sebagai bahan adalah kombinasi Mg - Fe - Zn. Dalam penelitian ini telah dibuat paduan Mg - Fe - Zn tersebut dengan variasi waktu pencampuran selama 2, 3 dan 4 jam. Mesin pencampur yang digunakan adalah mesin Penggilingan Energi Tinggi (HEM). Serbuk magnesium, besi, dan bubuk seng dicampur menggunakan bola dan tabung dalam proses penggilingan. Proporsi berat bola yang digunakan adalah 1 : 2, berat bola yang digunakan 8 gram. Serbuk hasil pencampuran dibuat menjadi pelet berdiameter 16 mm dan tebal 6 mm melalui proses kompaksi dengan gaya tekan 20 ton. Pelet di sinter memanfaatkan pemanas (*Mute Heater*) pada temperatur 250°C dengan waktu penahanan (*holding time*) selama 10 menit dan laju kenaikan temperatur 37°C/menit. Material hasil sintering diuji melalui pengujian X-Beam Diffraction (XRD) menggunakan strategi pengujian *powder diffraction* dengan panduan *Programming Material Investigation Utilizing Diffraction* (MAUD) untuk melihat komponen struktur mikro yang dibingkai. Penelitian menunjukkan bahwa struktur mikro baru selain elemen paduan utama tidak terbentuk meskipun lama waktu milling bertambah. Setelah penggilingan selama tiga jam, sampel mencapai kekerasan maksimum 191 HB. Proses milling memberikan berdampak terhadap peningkatan kekerasan sampel yang dibentuk. Selain itu muncul variasi ukuran partikel pada setiap sampel yang dibuat.

Kata kunci: High Energy Milling, Metalurgi Serbuk, Mg-Fe-Zn, X-Ray Diffraction, Maud, Kekerasan.

PENDAHULUAN

Dalam bidang ortopedi, solusi dari kasus patah tulang adalah menyambung tulang patah tersebut menggunakan sekrup dan pelat penyangga logam yang tidak mampu terurai secara hayati. Kekurangan metode ini adalah pasien patah tulang harus melewati tindakan operasi kedua untuk menarik kembali pelat dan sekrup

pendukung logam. Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi di bidang material medis saat ini memungkinkan praktik penanaman organ buatan atau implan dalam tubuh manusia, seperti pemasangan gigi palsu, implan tulang seperti pada pembuatan implan untuk penggantian pinggul [1].

Pengembangan material *biodegradable* yang memiliki kemampuan terurai secara normal (organik) di alam saat ini banyak dilakukan. Material ini dapat dibuat dengan memadukan magnesium dengan beberapa unsur lain. Paduan magnesium ini dapat digunakan sebagai material implan tulang. Dengan dibuatnya material ini, diharapkan menjadi terobosan baru yang meningkatkan kualitas penanganan medis. Dalam kasus penyambungan tulang yang patah, keterikatan ujung tulang secara stabil ke sisi yang berlawanan mutlak diperlukan. Jika material tersebut mampu terurai dalam tubuh manusia, maka tidak perlu diangkat jika tulang sudah menyatu. Hal ini hanya dapat dilakukan dengan menanam material implan. Salah satunya adalah dengan menyisipkan tulang buatan berbahan senyawa magnesium [1]. Magnesium (Mg) merupakan logam yang bersifat *biodegradable*, artinya dapat terurai di dalam tubuh, dan juga bersifat *biokompatibel*. Selain itu, sifat mekanik Mg sebanding dengan sifat mekanik tulang manusia. Karena memiliki biokompatibilitas yang tinggi, dan memiliki kemiripan sifat mekanik dengan tulang manusia, maka Mg memiliki potensi besar untuk aplikasi klinis, khususnya untuk situasi stent sementara pada kasus kardiovaskular. Lebih jauh lagi Mg dapat dikembangkan sebagai bahan pengganti tulang [2]. Material implan dapat dibentuk dengan memadukan Magnesium-Besi-Seng (Mg-Fe-Zn).

Sebagaimana telah diketahui bahwa besi (Fe) merupakan unsur logam yang diperoleh dari pengolahan bijih besi dari penambangan. Unsur ini merupakan unsur logam yang paling dominan di bumi, pemanfaatannya juga memegang peran paling dominan dalam kehidupan sehari-hari [3]. Unsur besi juga penting terdapat dalam tubuh manusia, utamanya untuk pembentukan dan penguatan tulang. Dalam tabel periodik dapat diketahui bahwa besi memiliki nomor atom 26 dan diberi simbol Fe. Atom besi ditemukan memiliki ikatan dengan atom oksigen yang terikat dalam molekul. Ikatan Fe dapat berbentuk magnetit (Fe_3O_4), hematit (Fe_2O_3), goethit, limonit, atau siderit. Semua ikatan tersebut mengandung oksida besi dan dapat berwarna abu-abu tua, kuning muda, atau ungu tua [4]. Seng (Zn) juga unsur yang sangat dominan dalam kelangsungan hidup manusia selain besi. Dalam organ tubuh manusia seperti ginjal, hati, pankreas, jaringan, otot, dan tulang tubuh manusia mengandung unsur Zn. Unsur Zn menjadi salah satu penyusun bahan yang ideal untuk pembentuk sifat mekanik dan ketahanan erosi amalgam Mg. Pemuaian Zn menjadi magnesium mampu meningkatkan kehalusan permukaan dan bekerja pada sifat mekanik seiring bertambahnya kandungan Zn [5]. Untuk memperoleh material dengan karakteristik mendekati karakter tulang maka senyawa magnesium, besi dan seng dibentuk melalui metode metalurgi serbuk yang meliputi pencampuran (*mixing*), pemadatan (*compaction*) dan pengerasan (*sintering*). [3]

Pada penelitian ini tema yang diangkat adalah Analisis Paduan Mg-Fe-Zn dengan Variasi Waktu *Milling* sebagai Bahan *Biodegradable* untuk Aplikasi Perangkat Ortopedi. Tujuan yang ingin dicapai adalah untuk menganalisis pola unsur yang terbentuk dari sampel uji dengan adanya variasi lama waktu pencampuran berdasarkan uji karakteristik menggunakan XRD dan menganalisis kekerasan yang terbentuk dari sampel melalui uji kekerasan menggunakan metode Leeb Hardness (HL) merupakan pengujian yang perlu dilakukan.

METODOLOGI

Pembuatan sampel dalam penelitian ini dilakukan dengan metode metalurgi serbuk dengan mencampurkan serbuk Mg-Fe-Zn dengan presentase 80%, 10% dan 10%. Komposisi paduan yang di pilih pada setiap sampel adalah sebesar Mg = 3,2 , Fe= 0,4 dan Zn = 0,4. Dalam ulasan ini, strategi pencampuran kering digunakan dengan pabrik bola kamar berputar tingkat yang digunakan untuk menghancurkan dan mencampur kombinasi bubuk. Proporsi berat bola dan bubuk 1:2. Variasi lama waktu pencampuran adalah 2, 3 dan 4 jam. Kecepatan putar mesin pencampur dibuat konsisten dan pada kondisi temperatur ruang. Serbuk hasil pencampuran seberat 4 gram ditempatkan dalam cetakan silinder dan ditekan selama satu menit menggunakan beban 20 ton. Sampel yang terbentuk kemudian disinter selama sepuluh menit pada temperatur konstan 250°C. Sampel yang terbentuk dari campuran serbuk Mg-Fe-Zn yang telah dibuat dianalisis dengan mapping (pemetaan elemen) menggunakan XRD, dan hasil XRD dianalisis dengan software Maud (*Material Analysis Utilizing Diffraction*) dengan bantuan perhitungan kekuatan mekanik dan CIF (*Crystal Information File*). Adapun uji kekerasan sampel dilakukan dengan metode *Leeb Hardness* (HL).

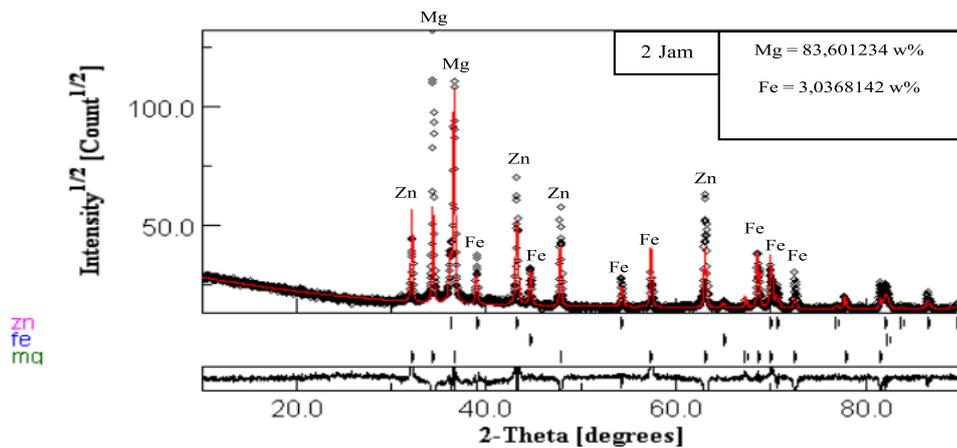
HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hasil Analisis Variasi Pengujian Data Sampel

Pengujian XRD terhadap hasil paduan Mg – Fe – Zn dengan variasi waktu *Milling* menggunakan rasio berat bola dan serbuk 1 : 2 dengan berat bola 8g, sintering pada temperatur 250°C dan waktu penahanan selama 10 menit dapat dilihat hasil difraksi kurva sebagai berikut:

a. Hasil Data Sampel Setelah di *Milling* Selama 2 Jam

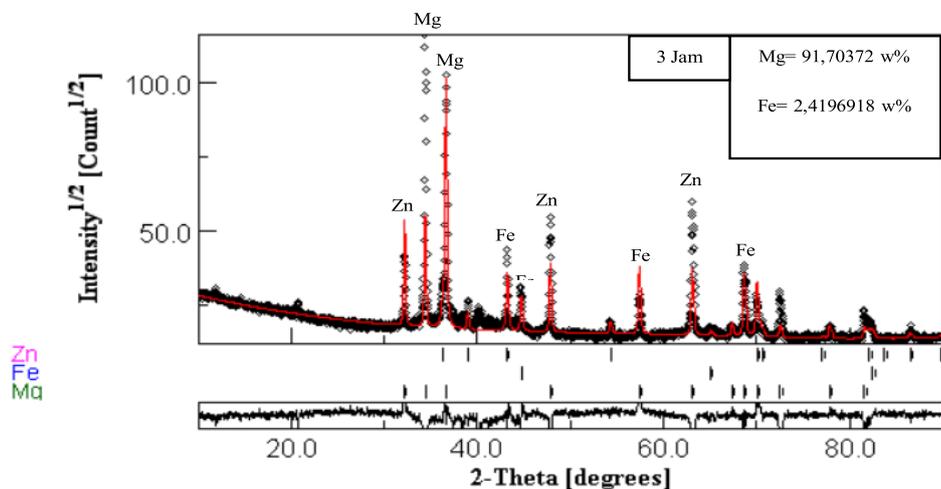
Dari data XRD pada pengujian pertama melalui proses *milling* selama 2 jam setelah diberi laku *sintering* pada temperatur 250°C penahanan selama 10 menit. Menggunakan analisis perangkat lunak MAUD dan data CIF, ditentukan bahwa fase Mg dan Zn, yang lebih lazim dalam elemen Mg, menghasilkan intensitas dalam paduan Mg- Fe-Zn dan tampak bahwa unsur Fe intensitasnya paling rendah dibandingkan Mg maupun Zn.



Gambar 1. Hasil analisis *quantitative* dengan *software* Maud dan CIF (*Crystal Information File*) terhadap waktu *milling* 2 jam

b. Hasil Data Sampel Setelah di *Milling* Selama 3 Jam

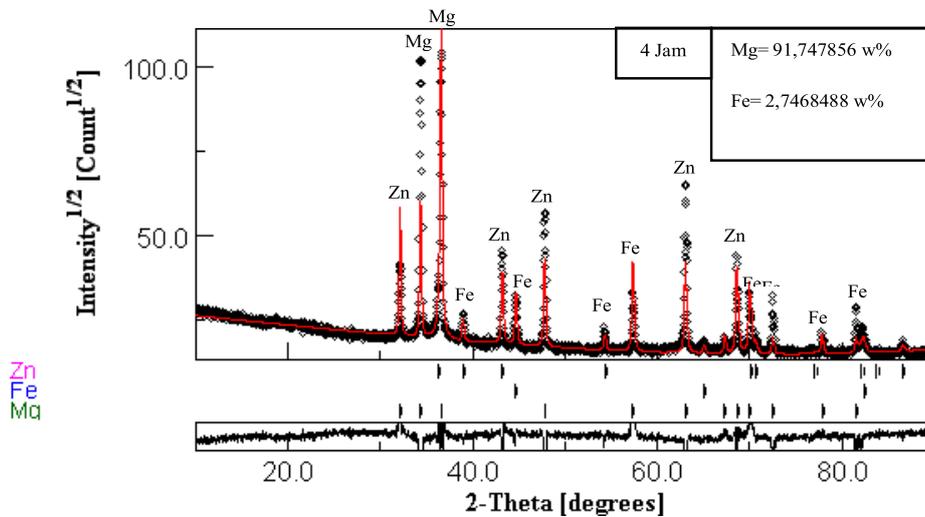
Dari hasil data XRD pada pengujian kedua melalui proses *milling* selama 3 jam dan diberi laku *sintering* pada temperatur 250°C penahanan selama 10 menit dengan pemeriksaan pemrograman MAUD dan informasi CIF mengenali penurunan kekuatan yang terjadi di kompleks Mg-Fe-Zn dengan paduan yang terbentuk unsur Mg yang lebih mendominasi hingga 91% jauh dibandingkan dengan unsur Fe-Zn.



Gambar 2. Hasil analisis *quantitative* dengan *software* Maud dan CIF (*Crystal Information File*) terhadap waktu *milling* 3 jam

c. Hasil Data Sampel Setelah di Milling Selama 4 Jam

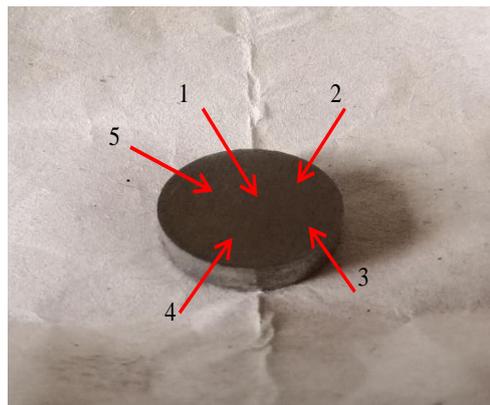
Dari hasil data XRD pada pengujian ketiga melalui proses *milling* 4 jam setelah diberi laku *sintering* pada temperatur temperatur 250°C penahanan selama 10 menit terlihat bahwa fasa Mg, yang lebih dominan daripada unsur Fe dan Zn, ditemukan sebagai puncak intensitas tertinggi pada paduan Mg – Fe – Zn setelah analisis perangkat lunak Maud dan data CIF.



Gambar 3. Hasil analisis *quantitative* dengan *software* Maud dan CIF (*Crystal Information File*) terhadap waktu *milling* 4jam

2. Hasil Uji Kekerasan

Leeb Hardness Tester berjenis equotip digunakan untuk mengetahui nilai kekerasan masing-masing sampel. Nilai kekerasan dari satuan HL (*Leeb Hardness*) dikonversi menjadi HB (*Brinell Hardness*). Data yang diperoleh adalah sebagai berikut:

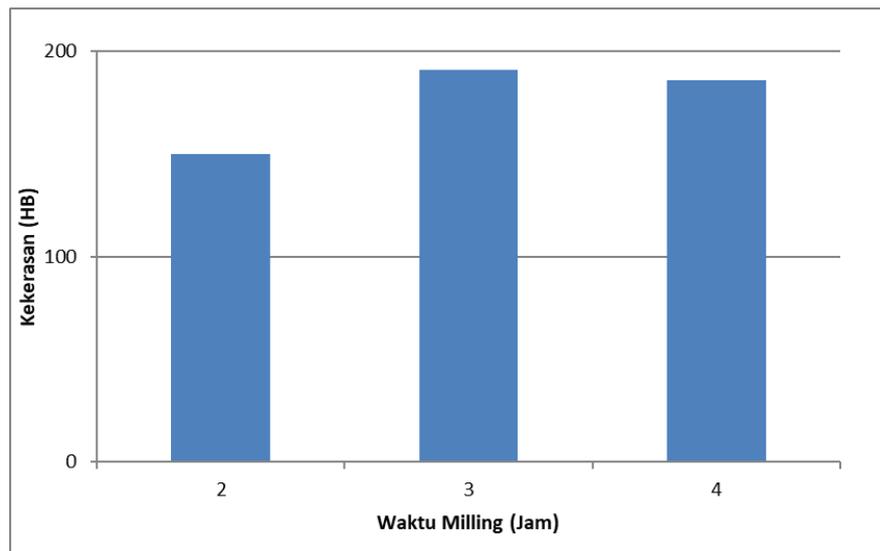


Gambar 4. Material Sampel

Tabel 1. Hasil Konversi HL ke HB

| Variasi Waktu Milling (Jam) | Leeb Hardness (HL) | Brinell Hardness (HB) |
|-----------------------------|--------------------|-----------------------|
| 2 | 293 | 150 |
| 3 | 373 | 191 |
| 4 | 363 | 186 |

a. Pengaruh Waktu Milling Terhadap Kekerasan



Gambar 5. Grafik pengaruh waktu milling terhadap kekerasan

Dari gambar 5 diatas menunjukkan bahwa dengan waktu milling berkisar antara 2, 3 sampai 4 jam, nilai kekerasan seringkali cenderung berfluktuasi. Kekerasan tertinggi terjadi pada waktu 3 jam dengan nilai kekerasan 191 HB. Sedangkan kekerasan pada waktu pengujian 4 jam mendapatkan nilai kekerasan 186 HB dan yang paling sedikit mengalami kekerasan pada waktu pengujian 2 jam dengan nilai kekerasan 150 HB. Dengan demikian diketahui bahwa semakin lama waktu proses *milling* pada serbuk paduan ini maka nilai kekerasan akan semakin berubah akibat adanya variasi ukuran partikel pada setiap sampel selama proses milling. Dampak yang muncul adalah peningkatan nilai kekerasan. Kekerasan tertinggi terbentuk pada sampel dengan waktu milling 3jam. Hal ini dimungkinkan karena bertambahnya lama waktu proses pengadukan akan menjadikan sebaran partikel logam sampel menjadi lebih homogen pada seluruh bagian sampel, sehingga akan menjadikannya padat pada saat dilakukan kompaksi serta setelah diberikan laku sinter padanya.

KESIMPULAN

Dari serangkaian tahapan penelitian serta data yang diperoleh, maka ada beberapa kesimpulan yang diperoleh yaitu:

1. Terdapat kesamaan pola dari semua berdasarkan temuan analisis struktur fase melalui perangkat lunak Maud. Kesamaan pola tersebut dapat dilihat pada gambar 4.1, 4.2, dan 4.3. Unsur Mg terlihat dominan baik pada sampel dengan waktu pengadukan 2jam, 3, maupun 4jam. Unsur Fe menjadi unsur terendah kedua setelah Zn. Semakin tinggi intensitas puncak difraksi semakin tinggi kesempurnaan permata. Selain fase Mg, Fe, dan Zn, tidak ada fase baru yang muncul seiring bertambahnya waktu *milling*.
2. Karena variasi ukuran partikel yang dapat berdampak signifikan pada densifikasi dan kekerasan. Sifat mekanik paduan Mg – Fe – Zn berubah ketika waktu penggilingan ditambahkan serta menghasilkan nilai kekerasan yang tidak stabil. Dimana kekerasan tertinggi terdapat pada pengujian 3 jam yang menyebabkan kekerasan tertinggi dibandingkan dengan sampel lainnya.
 - a. Waktu *milling* 2 Jam sebesar 150 HB
 - b. Waktu *milling* 3 Jam sebesar 191 HB
 - c. Waktu *milling* 4 Jam sebesar 186 HB

DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. D. N. Widarma, "Pengaruh Komposisi dan Ukuran Serbuk Leaching Agent NaCl Terhadap Sifat Mekanik dan Morfologi Biodegradable Material Mg-Fe-Zn Dengan Metode Metalurgi Serbuk Untuk Aplikasi Orthopedic Devices," Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya, 2017.
- [2] J. N. R. Suprihartini, "Pengaruh Komposisi Zn, NH₄HCO₃, serta Rekayasa Permukaan dengan PLLA terhadap Sifat Mekanik dan Laju Degradasi pada Porous Magnesium Alloy untuk Aplikasi Degradable Biomaterials," Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, 2018.

- [3] Bondan T. Sofyan, "Pengantar Material Teknik", Salemba Teknika, Jakarta, 2010
- [4] A. P. Regiana, "Strategi Pemerintah dalam Menanggulangi Tambang Liar Mineral Bukan Logam dan Batuan di Kabupaten Kediri," Universitas Muhammadiyah Malang, 2015.
- [5] I. Kartika, A. M. Ashari, A. Trenggono, F. P. Lestari, and A. Erryani, "Analisis Struktur Pori dan Sifat Mekanik Paduan Mg-0,5Ca-4Zn Hasil Proses Metalurgi Serbuk dengan Variasi Komposisi Foaming Agent CaCO₃ dan Temperatur Sintering," *TEKNIK*, vol. 40, no. 2, pp. 142–148, 2019, doi: <http://dx.doi.org/10.14710/teknik.v40i3.25327>.