

## Pengaruh Variasi Temperatur Sinter Terhadap Kualitas Produksi Magnesium AZ31 Dengan *Tube Furnace*

Ulin Herlina<sup>a</sup>, Muhammad Yusuf<sup>b</sup>, Ika Kartika<sup>c</sup>, Yanuar Zulardiansyah Arif<sup>d</sup>, dan Irza Sukmana<sup>b\*</sup>

<sup>a</sup> Balai Pengolahan Teknologi Mineral – LIPI, Jl. Ir. Sutami Km. 15 Tanjung Bintang, Lampung Selatan, Indonesia

<sup>b</sup> Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung, Jl. Prof. Soemantri Brojonegoro No.1, Bandar Lampung, Indonesia

<sup>c</sup> Pusat Penelitian Metalurgi dan Material – LIPI, Kawasan PUSPIPTEK, Kec. Setu, Kota Tangerang Selatan, Banten 15314, Indonesia

<sup>d</sup> Department of Electrical and Electronic Engineering, Universiti Malaysia Sarawak, Samarahan 94300, Malaysia

\*e-mail korespondensi: [irza.sukmana@eng.unila.ac.id](mailto:irza.sukmana@eng.unila.ac.id)

### Kata kunci:

Magnesium AZ31  
Temperatur sinter  
*Tube furnace*  
Densitas  
Cacat pengecoran

### ABSTRAK

Dalam penelitian ini, pengaruh variasi temperatur sinter terhadap sifat fisik dan mekanik magnesium AZ31 diujikan. Bahan dasar dibentuk dari geram bubuk Magnesium AZ31 dihancurkan disaring menjadi hingga 50 mesh dan dikompaksi sebelum akhirnya dilakukan proses sintering dengan alat *tube furnace*. Proses sintering dilakukan pada berbagai temperatur yang dipilih, yaitu: 400°C, 450°C, 500°C, dan 550°C. Suhu sinter 400°C menghasilkan densitas tertinggi sebesar 1,82 gram/cm<sup>3</sup> dan porositas terendah 0,54%, sedangkan suhu sinter 550°C menghasilkan densitas terendah sebesar 1,70 gram/cm<sup>3</sup> dan porositas tertinggi 6,88%. Selanjutnya, angka kekerasan tertinggi adalah 41,49 kgf pada suhu sinter 400°C dan terendah 21,74 kgf pada suhu sinter 550°C. Angka densitas dan kekerasan suhu 400°C tersebut disebabkan oleh ukuran butir paduan magnesium yang relatif besar dan memanjang dengan kerapatan yang baik dibandingkan yang lain, sesuai pengamatan gambar struktur mikro sample. Berdasarkan hasil uji *scanning electron microscopy* (SEM) dan *energy dispersive X-Ray analysis* (EDX), ditemukan adanya retakan produk hasil sinter pada suhu 550°C. Hasil penelitian ini menunjukkan semakin tinggi suhu sinter, semakin kecil dan banyak pori yang terbentuk sehingga menyebabkan nilai densitas dan kekerasan yang menurun. Berdasarkan hasil yang didapat, selanjutnya dapat dilakukan pengujian menggunakan alat cor tekan (*squeeze casting*) untuk meningkatkan kualitas sifat mekanik dan fisik produk pengecoran magnesium AZ31.

### Keyword:

Magnesium AZ31  
Sintering temperature  
*Tube furnace*  
Density  
Casting defect

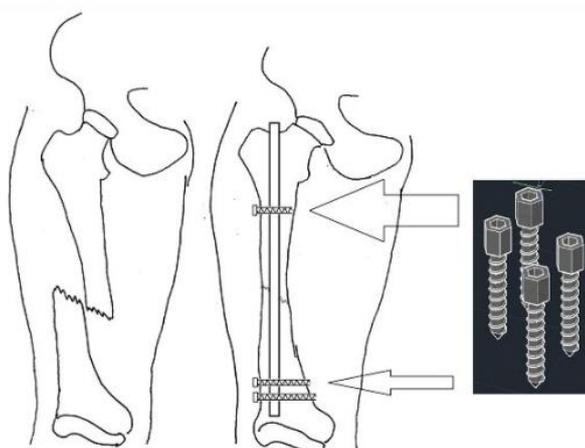
### ABSTRACT

*In this research, the effect of sintering temperature variations on the physical and mechanical properties of magnesium alloy AZ31 have been studied. First, chips from lathe process of magnesium AZ31 was ball-milled to get powder, then mashed, filtered up to 50 mesh, then compacted, before sintered at various temperatures, i.e.: 400°C, 450°C, 500°C, dan 550°C. The density of magnesium AZ31 sintered at sintering temperature of 400°C produced the highest density with a value of 1.82 grams/cm<sup>3</sup> while the smallest was at 550°C, which is 1.70 grams/cm<sup>3</sup>. Also, smallest porosity valued of 0.54% was obtained at sintering temperature of 400°C, while the highest number of 6.88% was from temperature 550°C. The hardness test shows the highest hardness value was obtained from sintering temperature of 400°C with value of 41.49 kgf, while the lowest value 21.74 kgf once sample were sintered at temperature of 550°C. Microstructural examination shows that at a temperature of 400°C the grain size was larger and longer in shape with dense and closer distance between one to another grain, when compare to other samples, based on the optical microscopy pictures. The results from scanning electron microscopy (SEM) dan energy dispersive X-Ray analysis (EDX) show that the cracks formed on sample sintered at temperature of 550°C (please reword this sentence). Based on these results, it is suggested to further analyze the potential use of squeeze casting technique on producing Magnesium AZ31 in order to increase the mechanical and physical properties of the product.*

## 1. PENDAHULUAN

Magnesium mempunyai keunggulan seperti nilai kepadatan yang rendah, keuletan yang baik, kekuatan yang menengah serta sifat ketahanan terhadap korosi yang baik, bila dipadukan dengan logam aluminium, magnesium mampu memperbaiki sifat pengelasan pada logam aluminium [1]. Dalam bidang Kesehatan, penggunaan material logam dengan sifat tahan karat seperti titanium memiliki kelebihan dalam keseimbangan yang maksimal pada tulang yang mengalami patah, namun disisi lain memiliki kekurangan yaitu kesulitan pengambilan gambar sinar-X dan MRI (*Magnetic Resonance Imaging*) dan juga adanya operasi kedua dengan tujuan pengambilan baut tulang yang diimplan kedalam tubuh namun tidak mampu luruh [2]. Dalam hal bedah implant dibutuhkan logam yang ringan tapi kuat, magnesium yang mempunyai berat sepertiga dari bahan titanium yang biasa dipakai dalam implan tulang mempunyai potensi sebagai material dikarenakan sifat ringan yang dimiliki [3].

Metode terbaik yang digunakan para ahli bedah menangani kasus fiksasi tulang yang mengalami patah adalah dengan pemasangan alat penyangga pada struktur tulang yang disebut dengan pelat kompresi dinamik. Metode pelat penyangga ini sendiri adalah jenis metode yang menggunakan dua bagian komponen utama dalam prosesnya yaitu bagian pelat yang berlubang dan bagian baut tulang yang berfungsi untuk mengikatkan pelat dengan tulang, sebagaimana gambar 1.



Gambar 1. Fiksasi fraktur tulang

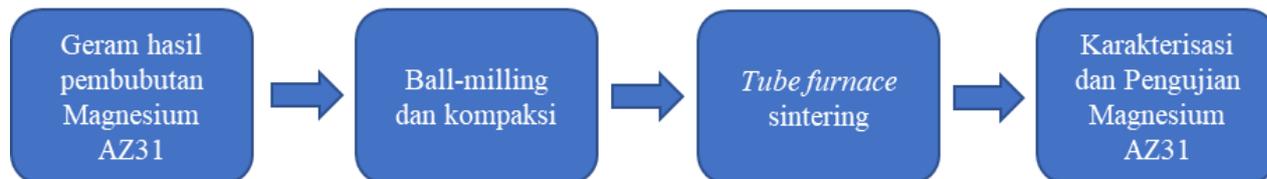
Logam magnesium dan paduannya mempunyai nilai modulus elastisitas sebesar 40 hingga 50 GPa, sangat mirip dengan tulang manusia yaitu 10-40 GPa [3]. Magnesium memiliki sifat yang mudah terdegradasi dalam tubuh jadi dinilai sangat cocok sebagai bahan dasar logam yang dapat digunakan sebagai bahan implan dalam dunia medis [4]. Mengacu pada nilai densitas magnesium yang rendah, kekurangan ini dapat ditingkatkan dengan penambahan logam lain seperti aluminium dan zinc menggunakan proses sinter. Untuk proses sinter, beberapa teknologi dapat digunakan seperti *tube furnace* dan *squeeze casting* yang masing-masing mempunyai kelebihan dan kekurangan.

*Tube furnace* mempunyai kelebihan pada keseragaman temperatur, sedikitnya gas pengotor dan juga dimungkinkannya penambahan gas yang hanya diperlukan selama proses sinter berlangsung, kekurangannya yaitu perlakuan secara fisik berupa penekanan, penambahan unsur paduan tidak dapat dilakukan, pengoperasian alat lebih susah dan prosesnya tidak kontinyu. Sedangkan proses sinter dengan *squeeze casting* mempunyai kelebihan dimungkinkannya perlakuan secara fisik berupa penekanan, penambahan unsur paduan, prosesnya bisa kontinyu ataupun tidak dan pengoperasiannya lebih mudah, akan tetapi mempunyai kekurangan dari ketidakeragaman temperature dan besarnya faktor gas dari luar masuk kedalam ruang pemanasan.

Dalam penelitian ini menggunakan bahan paduan Magnesium AZ31 sebagai bahan uji, tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui pengaruh perlakuan sinter terhadap perubahan sifat mekanis pada bahan Magnesium AZ31 dengan variasi temperature sinter pada 400°C, 450°C 500°C, dan 550°C, sesuai hasil penelitian awal sebelumnya [5].

## 2. BAHAN DAN METODE

Dalam pembuatan bahan uji Magnesium AZ31, geram hasil bubut logam paduan AZ31 yang memiliki kandungan unsur yang kompatibel untuk manusia [5], dan dikumpulkan dan dihancurkan menggunakan *ball mill* selama 3 menit dengan putaran 650 RPM, dilakukan 10 kali pengulangan dengan waktu jeda 2 menit. Setelah serbuk disaring dengan ayakan hingga 50 mesh, serbuk halus yang lolos pada ayakan dimasukkan kedalam cetakan mesin kompaksi berdiameter 10 mm. Proses kompaksi dilakukan selama 3 menit dengan tekanan 300 psi dan ditambah 2 menit dengan tekanan 400 psi. Bahan uji Magnesium AZ31 hasil kompaksi dimasukkan kedalam *tube furnace*. Secara umum, metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagaimana gambar 2.



Gambar 2. Diagram Proses Penelitian dan Pengujian

Pada *tube furnace*, kenaikan temperatur di tentukan 5°C/menit dengan penahanan selama 45 menit pada setiap temperatur yang diinginkan. Variasi temperatur pada proses sinter ditentukan sebesar 400°C, 450°C 500°C, 550°C untuk setiap bahan uji. Selama proses sinter, gas argon diinjeksikan kedalam tube furnace untuk menjaga agar magnesium tidak teroksidasi. Bahan uji setelah dingin disimpan untuk dilakukan karakterisasi.

Karakterisasi yang di lakukan meliputi uji densitas dengan menggunakan persamaan (1), uji porositas dengan menggunakan persamaan (3), uji kekerasan menggunakan mesin Vickers AFFRI/206 RTD, uji struktur mikro menggunakan Mikroskop optik MEIJI MT 7000, uji SEM dan EDX menggunakan SEM-EDX Zeiss Evo ® MA 10.

Pada uji densitas dilakukan dengan metode Archimedes, yaitu dengan cara menimbang paduan logam memakai timbangan Analitik merk WBA 320 pada udara bebas ( $m_{udara}$ ) kemudian membandingkannya dengan berat material logam yang ditimbang didalam air aquades ( $m_{fluida}$ ). Persamaan yang digunakan untuk menghitung nilai densitas dari suatu material logam.

$$\rho_{aktual} = \left( \frac{m_{kering}}{m_{basah}} \right) \times \rho_{air} \dots\dots\dots (1)$$

dimana:

- $\rho_{aktual}$  : densitas pengujian (gram/cm<sup>3</sup>)
- $m_{kering}$  : massa ditimbang di udara (gram)
- $m_{basah}$  : massa ditimbang di air (gram)
- $\rho_{air}$  : 0,97471 gram/cm<sup>3</sup>

Nilai porositas didapatkan dari hasil perbandingan antara nilai densitas sebenarnya dan nilai densitas teoritik dari spesimen bahan dasar serbuk metal yang digunakan. Standar pengujian porositas memakai standar uji ASTM 378-88. Perhitungan untuk mendapatkan nilai densitas teoritik dapat menggunakan metode Archimedes yaitu dengan persamaan berikut:

$$\rho_{teoritik} = (\rho_{Mg} \cdot V_{Mg} + \rho_{Al} \cdot V_{Al} + \rho_{Zn} \cdot V_{Zn} ) \dots\dots\dots (2)$$

dimana:

- $\rho_{teoritik}$  : densitas teori (gram/cm<sup>3</sup>)
- $V_{Mg}$  : % volume Magnesium
- $V_{Al}$  : % volume Aluminium
- $V_{Zn}$  : % volume Zinc

Setelah didapatkan hasil dari perhitungan diatas, kemudian dapat dihitung nilai porositas suatu material dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\Phi = 1 - \left( \frac{\rho_{rata-rata\ aktual}}{\rho_{teoritik}} \right) \times 100\% \dots\dots\dots (3)$$

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Uji Densitas

Berikut adalah data yang dihasilkan dari proses uji densitas terhadap material uji magnesium AZ31 yang mengalami beda perlakuan pada suhu sinter.

Tabel 2. Data uji densitas

Temperatur Sinter (°C)	Spesimen 1		Spesimen 2		Densitas Aktual (Gram/cm <sup>3</sup> )
	m <sub>kering</sub>	M <sub>basah</sub>	m <sub>kering</sub>	M <sub>basah</sub>	
400	1,443	0,750	1,405	0,777	1,82
450	0,820	0,47	0,91	0,475	1,78
500	1,400	0,75	1,5	0,864	1,76
550	1,500	0,86	1,5	0,857	1,70

Nilai densitas tertinggi terdapat pada material uji dengan temperatur sinter 400°C dan terendah pada material uji dengan suhu sinter 550°C. Hal ini disebabkan karena terbentuknya pori yang semakin banyak seiring kenaikan temperatur sintering akibat proses *degassing* pada sampel serta tidak terjadinya proses *liquid bridge (necking)* pada temperature 550 °C yang dapat mengeliminasi porositas [5]. Sehingga seiring kenaikan suhu, nilai den sitas semakin menurun.

#### 3.2 Porositas Bahan

Tabel 3 di bawah ini adalah data yang dihasilkan dari proses uji porositas yang telah dilakukan terhadap material uji magnesium AZ31 yang mengalami beda perlakuan pada suhu sinter.

Tabel 3. Data uji porositas

Temperatur Sinter (°C)	Densitas Aktual (Gram/cm <sup>3</sup> )	Densitas Teoritik	Porositas (%)
400	1,82	1,8288	0,54
450	1,78	1,8288	2,45
500	1,76	1,8288	3,99
550	1,70	1,8288	6,88

Porositas terjadi diantara partikel serbuk logam yang disebabkan oleh adanya sisa pelumas yang menempel dan tidak menguap dengan sempurna saat proses pemanasan. Juga disebabkan oleh proses penyimpanan yang kurang baik. Banyaknya pori yang terdapat pada suatu material uji berakibat berkurangnya kemampuan material dalam menerima beban tekan yang dihasilkan oleh material uji tersebut.

Proses pemanasan awal yang bertujuan untuk menghilangkan adanya kandungan oksigen juga pelumas dan unsur lainnya yang mungkin dapat mengganggu material tidak dilakukan, sehingga menyebabkan masih banyaknya oksigen dan pelumas yang masih terperangkap diantara partikel serbuk logam yang tidak mampu menguap serta berdifusi dengan sempurna sehingga ikatan antar partikel tidak terjadi dengan baik.

Hasil pengujian tertinggi pada material uji dengan suhu sinter 550°C bernilai 6,88%, porositas terendah didapatkan dari material dengan perlakuan sinter 400°C yaitu 0,54%. Kenaikan porositas terjadi seiring dengan kenaikan temperature sintering akibat proses *degassing* yang menimbulkan pori-pori, pada penelitian ini, proses difusi antar partikel yang dapat mengeliminasi porositas tidak terjadi [6].

### 3.3 Uji Keras

Tabel 4 berikut adalah data yang dihasilkan dari proses uji keras menggunakan metode vickers yang dilakukan terhadap material uji magnesium AZ31 yang mengalami beda perlakuan pada suhu sinter.

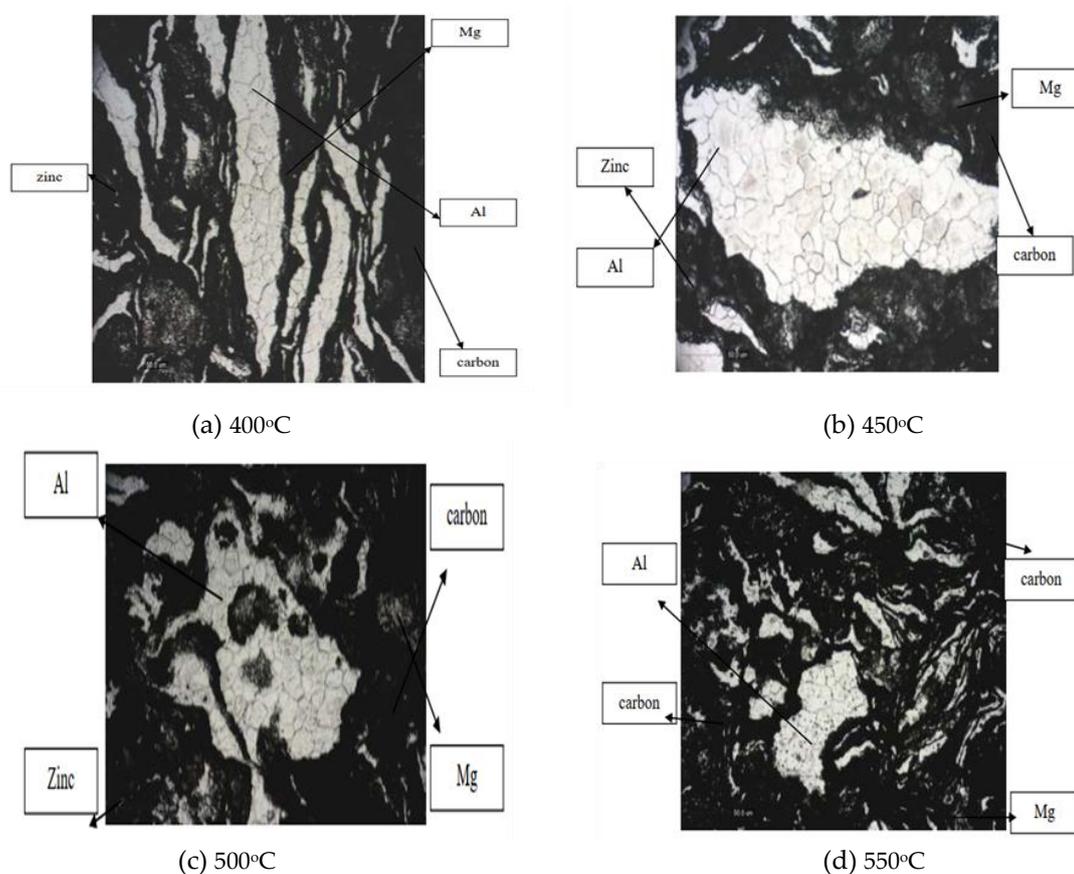
Tabel 4. Data uji kekerasan Vickers

Temperatur Sinter (°C)	Titik Uji kekerasan			Nilai rata-rata uji Vickers (kgf)
	Titik 1	Titik 2	Titik 3	
400	32,08	37,53	54,85	41,49
450	32,08	32,08	32,08	32,08
500	30,26	32,08	27,09	28,65
550	22,01	23,18	20,04	21,74

Pengujian kekerasan merupakan pengujian yang dilakukan untuk mengetahui nilai kekerasan yang dimiliki oleh suatu material uji. Dimana nilai kekerasan suatu material dapat didefinisikan sebagai kemampuan ketahanan suatu material terhadap deformasi. Dari data tabel 4 diatas ditampilkan hasil uji kekerasan terhadap logam magnesium AZ31 yang telah dibedakan dalam perlakuan sinter. Suhu 400°C yaitu sebesar 41,49 kgf. Kemudian data uji kekerasan terendah didapat dari material logam magnesium AZ31 yang diberi perlakuan sinter 550°C yaitu 21,74 kgf. Walaupun penambahan unsur aluminium dan zinc pada magnesium dapat meningkatkan kekuatan, namun dengan tidak terjadinya proses difusi antar partikel (*necking*) ketika dilakukan sintering maka pori yang banyak terbentuk akibat pelepasan gas seiring bertambahnya suhu tidak terisi oleh logam yang mencair (*liquid bridging*) mengakibatkan kekerasannya berkurang, sebagaimana dijelaskan dalam penelitian lain [6,7].

### 3.4 Struktur Mikro

Berikut ini adalah gambar struktur mikro Mg AZ31, sebagaimana Gambar 3.



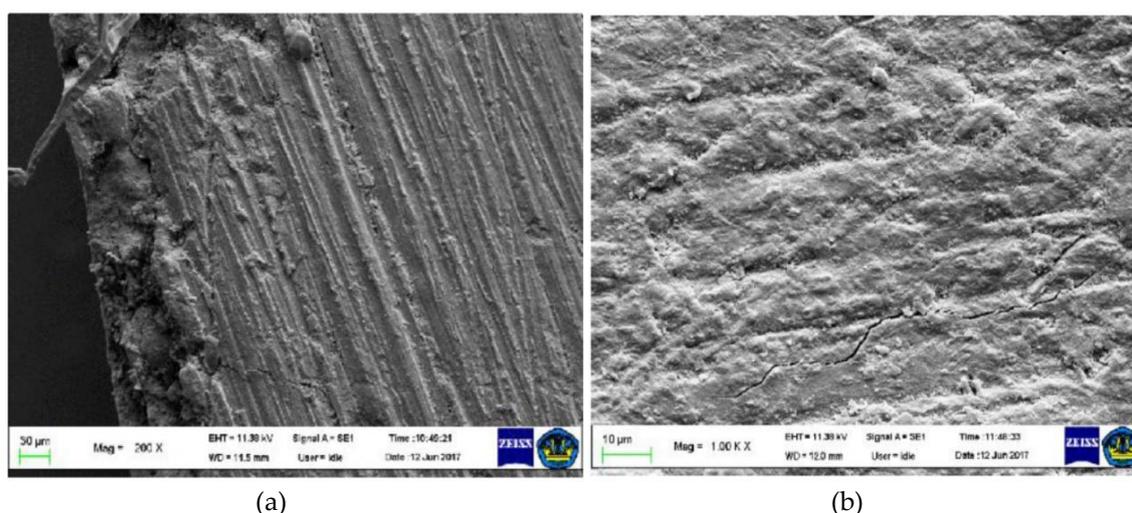
Gambar 3. Struktur mikro Magnesium AZ31 pada berbagai temperature sinter

Berdasarkan gambar struktur mikro diatas, dapat diketahui semakin banyak titik titik hitam yang merupakan pori terbentuk pada permukaan sampel, terlihat jelas pada permukaan aluminium pori-pori yang terbentuk tersebar semakin banyak dengan semakin tingginya temperatur, yang tentunya ini akan menurunkan kekerasan dari sampel yang diuji. Munculnya karbon pada bahan uji disebabkan adanya pelumas pada saat kompaksi yang mencair, menguap dan meninggalkan jelaga hitam sehingga Ketika di Analisa dengan SEM EDX, muncul unsur karbon. Walaupun karbon bisa dipakai untuk membuat pori sebagaimana hasil penelitian sebelumnya, dimana dapat tetapi pori yang banyak dan tidak diinginkan dalam penelitian tersebut [7,8].

Dengan temperatur sintering yang semakin meningkat akan mengakibatkan pori antar batas butir menyusut kemudian terjadi pertumbuhan grain serta peningkatan ikatan antar partikel yang berdekatan [8] namun pada penelitian ini, dikarenakan temperatur yang diaplikasikan lebih rendah dari titik cair bahan maka tidak terjadi proses liquid bridging (necking) yang dapat mengisi pori-pori yang terbentuk

### 3.5 Pengujian SEM

Hasil pengujian SEM ditampilkan pada Gambar 4, dimana temperatur di atas merupakan hasil pengujian SEM yang dilakukan pada spesimen uji yang diberikan perlakuan sinter 400°C dan suhu 550°C. Berdasarkan gambar (a) diatas tidak banyak kita lihat adanya retakan atau pori yang membuat spesimen ini memiliki nilai uji keras tertinggi, sifat keras disebabkan karena tingginya nilai densitas dan kecilnya nilai porositas yang dimiliki bahan uji.



Gambar 4. Hasil uji SEM pada (a) suhu 400°C (perbesaran 200x) dan (b) suhu 550°C (perbesaran 1000x)

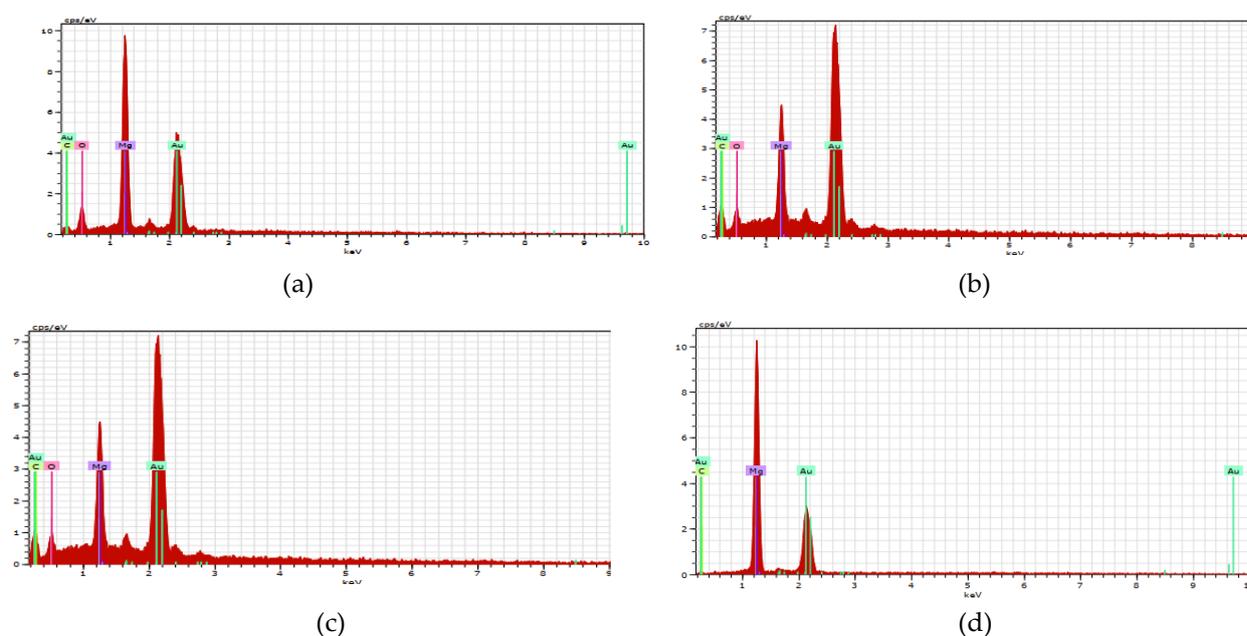
Berikutnya adalah gambaran uji SEM pada material uji yang mengalami pemanasan dengan suhu sinter 550°C. Material uji yang dihasilkan memiliki nilai kekerasan dengan nilai terendah yaitu 21,74 kgf. Kecilnya nilai uji kekerasan yang dihasilkan disebabkan besarnya nilai uji porositas serta kecilnya nilai densitas material uji. Adanya porositas yang terjadi dapat dilihat menggunakan metode pengamatan yang disini dilakukan dengan metode SEM.

Pada gambar 4 (b) diatas terlihat dengan jelas adanya pori sehingga terjadinya retakan pada material dan berakibat turunya nilai uji keras. Dari kedua gambar hasil uji diatas dapat disimpulkan dari variasi suhu sinter yang dilakukan terhadap material uji magnesium AZ31 suhu sinter terbaik yang dapat digunakan yaitu pada temperatur sinter 400°C dimana gambar permukaan yang dihasilkan tanpa adanya retakan atau porositas yang tinggi.

### 3.6 Analisa EDX

Pada gambar 4, tampak adanya unsur Magnesium, Aurum, Oksigen dan Carbon. Unsur magnesium terlihat dalam hasil uji EDX karena magnesium merupakan unsur utama dalam bahan uji. Unsur Zn tidak terbaca pada hasil EDX lebih disebabkan karena penentuan titik uji yang kurang banyak, Unsur Au tampak pada hasil EDX karena Au sebagai lapisan konduktif tipis yang berfungsi untuk merangsang generasi elektron sekunder pada permukaan bahan uji [9]. Unsur Carbon dimungkinkan terjadi karena panas geram yang terbakar. Kemudian peningkatan kandungan karbon dapat disebabkan juga dari jalanya proses ballmill, dimana ada logam magnesium dan kandungan lain yang terbakar yang kemudian tercampur pada serbuk metal. Hal ini disebabkan tidak adanya pemanasan awal untuk menghilangkan air dan pengotor seperti sisa-sisa oli bahan uji yang membuat material teroksidasi.

Kandungan oksigen tampak di hasil EDX diasumsikan karena kondisi kurang vakum pada saat proses sinter sehingga Mg berikatan dengan oksigen [11]. Kandungan oksigen banyak pada tahap awal tampak di hasil EDX karena pada saat sinter, terjadi proses pelepasan gas, sedangkan pada saat temperatur 550°C, terjadi reaksi antara Mg dengan O sehingga Mg berikatan dengan oksigen [10]. Kandungan oksigen bisa juga disebabkan karena gas argon yang dilepaskan jumlahnya kurang banyak sehingga bahan uji mengalami proses oksidasi [11]. Kandungan oksigen yang ada pada paduan magnesium dinilai sangat berbahaya. Dilihat dari sifat mekaniknya, kandungan oksigen ini dapat menyebabkan kerapuhan pada material [12,13].



Gambar 4. Hasil EDX sampel pada berbagai suhu sinter: (a) 400°C, (b) 450°C, (c) 500°C, dan (d) 550°C

Jika paduan magnesium tersebut digunakan sebagai material implant, material implan yang teroksidasi dapat bereaksi dengan cairan yang ada ditubuh manusia terutama air yang terkandung dalam darah sehingga menyebabkan terbentuknya gelembung hydrogen yang akan menumbuhkan kantong gas pada material implant yang berbahaya bagi kesehatan manusia [13,14]. Selain itu, oksigen yang berikatan dengan magnesium dan membentuk fasa MgO akan meningkatkan laju korosi material Mg [15].

## 4. KESIMPULAN

Pada penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa pada bahan uji Magnesium AZ31, semakin tinggi temperature sinter maka semakin rendah densitasnya yang disebabkan oleh semakin banyaknya pori yang terbentuk akibat pengotor pada geram magnesium AZ31. Selain itu, seiring dengan tinggi temperature sinter, maka semakin besar nilai porositasnya. Hal ini menunjukkan banyak pori yang terbentuk akibat unsur pengotor yang terjebak. Semakin rendah nilai densitas akibat kenaikan temperatur, semakin rendah

nilai kekerasan pada Magnesium AZ31, hal ini disebabkan oleh ketidakmampuan benda uji menahan beban yang diberikan pada saat penekanan akibat banyaknya pori di dalam benda uji. Hasil uji struktur mikro menunjukkan adanya peningkatan prosentase unsur carbon dan aluminium yang tersebar seiring dengan kenaikan temperatur. Hal tersebut menyebabkan ikatan antar struktur magnesium semakin berkurang dan menyebabkan penurunan nilai kekerasannya produk. Hasil uji SEM menunjukkan bahwa semakin tingginya temperature sinter maka semakin banyak struktur pori pada bahan yang terbentuk dari ikatan unsur pengotor carbon dan aluminium sehingga menyebabkan timbulnya patahan pada produk hasil pengecoran pada temperatur sinter 550°C. Semakin tingginya temperature sinter, unsur pengotor karbon semakin banyak terbentuk. Berdasarkan hasil di atas, maka dapat disarankan untuk dilakukan analisa kandungan unsur awal terhadap bahan uji sebelum dilakukan sinter untuk mengetahui semua unsur yang terkandung didalamnya, bahan uji di masukan ke dalam tempat penyimpanan yang kedap agar tidak mudah teroksidasi, perlunya memakai bahan uji yang mempunyai kemurnian tinggi dan bebas pengotor, dibutuhkan pemanasan awal (*pre-heating*) di atas temperature leleh pengotor untuk mengurangi kontaminasi bahan dengan pengotor. Selanjutnya juga disarankan untuk dapat melakukan pengujian selanjutnya menggunakan teknik pengecoran tekan (*squeeze casting*) untuk dapat meningkatkan densitas dan dalam waktu yang sama juga kekerasan bahan sehingga memiliki potensi aplikasi yang lebih luas.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan ini diucapkan terimakasih atas support finansial DIPA FT Unila melalui Penelitian Kerja Sama Internasional FY 2021 nomor kontrak 4062 /UN26.15/LK.03/2021. Support atas fasilitas peralatan dan kerja sama penelitian juga disampaikan terima kasih kepada Pusat Penelitian Metalurgi dan Material – LIPI, PUSPIPTEK Tangerang.

## REFERENSI

- [1] B. Buldum and A. Sik, "Investigation of machining alloy machinability.," International Journal of Electronic: Mechanical and Mechatronics Engineering, vol. 2, no. 3, pp. 216-268, 2011.
- [2] F. Witte, Application use of magnesium in medical application, 342-345: Woodhead Publishing Limited, 2013.
- [3] J. Black, Orthopaedic Biomaterials in Research and Practice, New York, 1988.
- [4] C. Blawert and N. Hort, "Automotive application of magnesium and its alloy," Trans Indian Ins. Met, vol. 57, no. 4, pp. 397-408, 2004.
- [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 CaCO<sub>3</sub> dan Temperatur Sintering," Jurnal Teknik, vol. 40, no. 3, pp. 142-148, 2019.
- [6] D. Yang, W. Chen, J. Lu, Z. Hu, Y. Feng, J. Chen, J. Jiang, A. Ma, L. Wang and H. Wang, "Fabrication of Cellular Mg Alloy by Gas Release Reaction Via Powder Metallurgi Approach," Metal Powder Report, vol. 72, no. 2, pp. 124-127, 2017.
- [7] A. Hermanto, Y. Burhanuddin and I. Sukmana, "Peluang dan Tantangan Aplikasi Baut Tulang Mampu Terdegradasi Berbasis Logam Magnesium," Dinamika Teknik Mesin, vol. 6, pp. 93-98, 2016.
- [8] G.-j. Li, Z.-r. Sun, H. Zhao and R.-m. R. Chun-huan Chen, "Effect of temperature on the porosity, microstructure, and properties of porous La<sub>0.8</sub>Sr<sub>0.2</sub>MnO<sub>3</sub> cathode materials," Ceramics International, vol. 33, p. 1503–1507, 2007.
- [9] D. Ratnasari and H. Purwaningsih, "Pengaruh Variasi Kecepatan Stirring dan Temperatur Sintering terhadap Perubahan Struktur Mikro dan Fase Material Sensor Gas TiO<sub>2</sub>," Jurnal Teknik POMITS, vol. 3, no. 1, 2014.
- [10] N. E. Setyaningsih, R. Muttaqin and I. Mar'ah, "Optimalisasi Waktu Pelapisan Emas-Palladium pada Bahan Komposit Alam untuk Karakterisasi Morfologi dengan Scanning Electron Microscopy (SEM) – Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (EDX)," Physics Communication, vol. 1, no. 2, pp. 36-40, 2017.

- [11] H. Nurrohman, "Pengaruh Variasi Temperatur Dan Waktu Holding Sintering Terhadap Sifat Mekanik Dan Morfologi Biodegradable Material Mg-Fe-Zn Dengan Metode Metalurgi Serbuk Untuk Aplikasi Orthopedic Devices," Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri, ITS, Surabaya, 2016.
- [12] Kusharjanto, Sutarno and R. H. Mulyani, "Pengaruh Temperatur Semi-solid Casting pada Paduan Magnesium AZ91D terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro," in SNIPS, Bandung, 2016.
- [13] F. P. Lestari, D. Annur, I. N. G. P. Astawa, , A. Erryani and I. Kartika, "Proses Sinter Logam Berpori Paduan Magnesium Dengan Kalsium Hidrida Sebagai Agen Pengembang," in Seminar Nasional Sains dan Teknologi 2017, Jakarta, 2017.
- [14] S. Gonzalez, Pellicer, S. S. E., M. Baro and J. Sort, "Biodegradable and Mechanical Integrity of Magnesium and Magnesium Alloys Suitable for Implants," InTech. Biodegradation - Engineering and Technology, 2013.
- [15] Singh I.B., Singh M., Das M. "A comparative corrosion behavior of Mg, AZ31 and AZ91 alloys in 3.5% NaCl solution", Journal of Magnesium and Alloys, Elsevier, 2015.