

# Pengaruh Penambahan Yttrium Terhadap Struktur Mikro, Sifat Mekanik Dan Ketahanan Termal Pada Paduan Mg-6Zn Sebagai Aplikasi *Engine Block*

Indra Bagas Pramasta dan Sutarsis,

Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)  
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia  
*e-mail*: sutarsis@mat-eng.its.ac.id

**Abstrak**— Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi penambahan Yttrium (Y) terhadap struktur mikro, kekerasan dan ketahanan termal pada paduan magnesium – zinc. Magnesium (Mg) telah menjadi solusi untuk pengembangan material ringan. Paduan magnesium yang memiliki rasio kekuatan material berbanding massa material yang tinggi membuatnya baik digunakan pada aplikasi otomotif seperti steering wheel, gearbox house, seat frames dan cylinder block. Penelitian ini memadukan magnesium-zinc-yttrium dalam komposisi yang berbeda. Komposisi yttriumnya adalah 0,5% wt ; 2% wt dan 4% wt. Pegecoran yang dilakukan adalah pengecoan konvensional dengan temperatur melting 750°C dengan waktu penahanan 60 menit. Pengujian yang dilakukan yaitu pengujian struktur mikro, identifikasi fasa, komposisi fasa, ketahanan termal dan kekerasan. Berdasarkan pengujian yang dilakukan menunjukkan bahwa yttrium dapat menyebabkan berubahnya struktur mikro dan fasa serta meningkatkan kekerasan dan ketahanan termal pada sampel. Hasil analisa menunjukkan 4 fasa dominan yang muncul pada sampel yaitu  $\alpha$ -Mg, MgZn, Mg<sub>3</sub>YZn<sub>6</sub> dan Mg<sub>3</sub>Y<sub>2</sub>Zn<sub>3</sub>. Kekerasan tertinggi adalah 74 BHN pada sampel 4% wt yttrium dan rata-rata sampel dapat digunakan sampai temperatur dibawah 250 °C.

**Kata Kunci**— *Engine block*, Paduan Magnesium, Mg-Zn-Y.

## I. PENDAHULUAN

Dewasa ini persediaan sumber daya alam mineral di bumi yang semakin berkurang menuntut industri untuk mencari solusi guna mengefisienkan penggunaan bahan bakar fosil. Industri otomotif menemukan solusi dalam konstruksi ringan dengan cara penggantian penggunaan besi dan baja oleh bahan yang lebih ringan. Magnesium (Mg) menjadi alternatif dalam penggantian sebagian komponen otomotif karena sifatnya yang merupakan logam paling ringan dengan densitas 1,80 g/cm<sup>3</sup> dan paduan magnesium (Mg) 30% lebih ringan dari aluminium (Al) serta 70% lebih ringan dari baja (Fe). Magnesium yang memiliki rasio kekuatan material berbanding massa material yang tinggi membuatnya baik digunakan pada aplikasi otomotif seperti *steering wheel*, *gearbox house*, *seat frames* dan *cylinder block*.

Diantara paduan lain seperti baja dan aluminium, paduan magnesium sangat terbatas. Hal ini dikarenakan magnesium mempunyai mempunyai keuletan yang relatif rendah pada temperature dibawah 200°C dan pertumbuhan orientasi

kristalografi yang secara substansional membatasi sifat mampu tempa terutama pada temperatur kamar. Cara yang paling efektif untuk meningkatkan kekuatan dan keuletan dari magnesium adalah dengan menambahkan elemen paduan terhadap magnesium. [1]. Di sisi lain paduan Mg-Zn memiliki sifat mekanik yang relatif rendah karena adanya fasa Mg-Zn yang kasar. Solusi yang dapat dilakukan untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah penambahan unsur *rare earth element* (RE) guna meningkatkan sifat mekanik paduan Mg-Zn. Perlu dicatat bahwa penambahan RE biasanya menyebabkan pengendapan beberapa fasa seperti I-phase dan W-phase. I-phase dan W-phase dalam kadar tertentu dapat membuat material memiliki sifat mekanik yang baik karena dapat meningkatkan kekerasan dalam material [2].

*Rare earth element* (RE) yang dapat digunakan untuk meningkatkan sifat mekanik terhadap paduan magnesium salah satunya adalah Yttrium (Y). Yttrium telah digunakan pada penambahan terhadap paduan komersial tertentu guna meningkatkan sifat mekanik khususnya pada peningkatan sifat kekerasan dan biasanya diaplikasikan pada material yang bekerja pada temperatur yang relatif tinggi. Yttrium dapat meningkatkan kekerasan melalui solid solution dan modifikasi rekristalisasi struktur. Pengaruh penambahan Yttrium dan zinc terhadap struktur mikro dan sifat mekanik paduan Mg-Zn-Y telah diteliti sebelumnya. Penambahan Yttrium meningkatkan temperatur eutektik paduan Mg-Zn-Y. Peningkatan penambahan Yttrium akan menaikkan kekuatan dan menurunkan elongasi paduan Mg-Zn-Y [3].

Penelitian ini akan membahas mengenai pengaruh penambahan yttrium pada paduan Mg6Zn terhadap struktur mikro, kekerasan dan ketahanan termal guna nantinya akan diaplikasikan pada *engine block*.

## II. METODOLOGI PENELITIAN

Bongkahan magnesium, serbuk zinc dan serbuk yttrium dipersiapkan di awal untuk bisa membuat paduan magnesium-zinc-yttrium sesuai dengan komposisi yang sudah ditentukan. Proses peleburan yang dilakukan adalah *Conventional Melting* yang dilakukan pada lingkungan inert (gas argon). Peleburan dilakukan hingga *melting temperature* 750°C dan waktu penahanan selama 60 menit. Peleburan

dilakukan menggunakan kotak stainless untuk menghindari oksidasi.

Tabel 1. Komposisi Unsur Paduan

Paduan	Massa (gram)		
	Mg-6Zn	Y	Mg-6Zn-xY
1 Mg-6Zn	40	0	40
2 Mg-6Zn-0,5Y	39,8	0,2	40
3 Mg-6Zn-2Y	39,2	0,8	40
4 Mg-6Zn-4Y	38,4	1,6	40

Peleburan pertama dilakukan untuk paduan Mg-6Zn dengan total massa 40 gr untuk 4 sampel. Setelah itu peleburan selanjutnya dilakukan pada 4 sampel tersebut setelah ditambahkan komposisi yttrium dalam presentase tertentu ( $x = 0 ; 0,5 ; 2 ; 4$ ) yang memiliki total massa 40 gr.

Pengujian yang dilakukan terdiri atas pengujian struktur mikro, pengujian identifikasi fasa, pengujian komposisi fasa, pengujian ketahanan termal dan pengujian kekerasan. Pengujian struktur mikro dilakukan dengan mikroskop optik Metallurgical Microscope Olympus BX51M-RF S/N 4K09974. Pengujian identifikasi fasa dilakukan dengan *X-Ray Diffraction* (XRD). Pengujian komposisi fasa dengan *Scanning Electron Microscope – Energy Dispersive X-Ray* (SEM – EDX). Pengujian ketahanan termal dengan *Differential Scanning Calorimetry – Thermal Gravimetry Analysis* (DSC-TGA). Pengujian kekerasan dengan Universal Hardness Tester HBRV 187,5A.

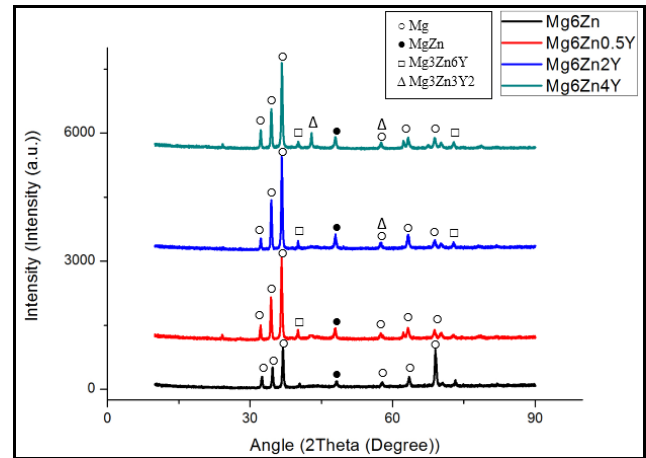
### III. HASIL DAN DISKUSI

A.

#### asil Pengujian Identifikasi Fasa

Pengujian identifikasi fasa dilakukan untuk dapat mengidentifikasi fasa-fasa tertentu yang terdapat pada material. Alat yang digunakan dalam pengujian identifikasi fasa adalah *X-Ray Diffraction* (XRD). Pengujian XRD (X-ray Diffraction) dapat dilakukan dengan memberikan sampel berupa padatan kecil (ukuran maksimal 1cm x 1cm x 4mm) yang dapat di sesuaikan dengan sebuah *holder* untuk melakukan pengujian dengan menggunakan alat *PAN Analytical*. Pengujian dilakukan dengan melakukan penembakan sinar – x terhadap sampel guna mengidentifikasi fasa yang terdapat pada sampel. Hasil yang didapatkan berupa *peak* yang kemudian disamakan dengan *PDF Card* yang tersedia guna menterjemahkan *peak* tersebut. Gambar 1 menunjukkan hasil XRD dari sampel yang diujikan. Secara keseluruhan bahwa hasil pengujian XRD menunjukkan ada 4 fasa dominan yang muncul dari keempat sampel yaitu fasa  $\alpha$ -mg, MgZn,  $Mg_3YZn_6$  dan  $Mg_3Y_3Zn_2$ . Perbedaan tiap sampel dapat terlihat langsung dari grafik hasil pengujian XRD. Sampel pertama (Mg-6Zn) belum menunjukkan adanya fasa  $Mg_3YZn_6$  dan  $Mg_3Y_3Zn_2$ . Sampel kedua setelah penambahan 0,5% wt Y menyebabkan bertambahnya fasa baru yang muncul yaitu fasa  $Mg_3YZn_6$ . Sampel ketiga

( $Mg_6Zn_2Y$ ) dan keempat ( $Mg_6Zn_4Y$ ) menunjukkan fasa baru yang muncul yaitu fasa  $Mg_3Y_3Zn_2$ . Hal ini dibuktikan dengan semakin bertambahnya *peak* yang bersesuaian dengan fasa  $Mg_3Zn_6Y$  (*I-phase*) dan  $Mg_3Y_2Zn_3$  (*W-phase*).



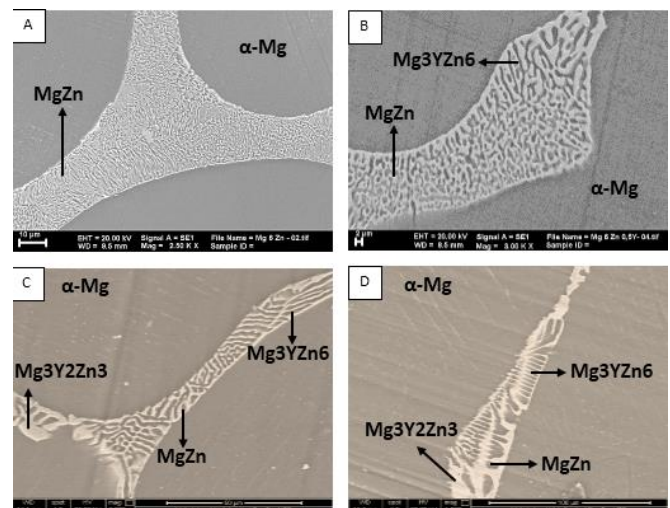
Gambar 1. Komposisi fasa sampel hasil XRD (a).  $Mg_6Zn$  (b).  $Mg_6Zn_{0,5}Y$  (c).  $Mg_6Zn_2Y$  (d).  $Mg_6Zn_4Y$

Saat rasio Zn/Y bernilai dibawah 1,1 maka fasa yang dominan terbentuk adalah *W-phase*. Saat rasio Zn/Y bernilai diantara 1,1 – 4,38 maka fasa dominan yang terbentuk adalah *I-phase* dan *W-phase*. Saat rasio Zn/Y bernilai diatas 4,38 maka fasa dominan yang terbentuk adalah *I-phase*. *I-phase* memiliki struktur kristal *quasicrystal* sedangkan *W-phase* memiliki struktur kristal berbentuk *cubic* (kubik). [2].

B. H

#### asil Pengujian Komposisi Fasa

Pengujian komposisi fasa dilakukan selain untuk mengetahui struktur mikro dari material dengan perbesaran yang lebih besar dari metalografi juga untuk mengetahui komposisi dari fasa-fasa tertentu yang terdapat pada material. Gambar 2 menunjukkan hasil SEM dari material dengan perbesaran 1500 kali:



Gambar 2. Struktur mikro sampel (a).  $Mg_6Zn$  (b).  $Mg_6Zn_{0,5}Y$  (c).  $Mg_6Zn_2Y$  (d).  $Mg_6Zn_4Y$

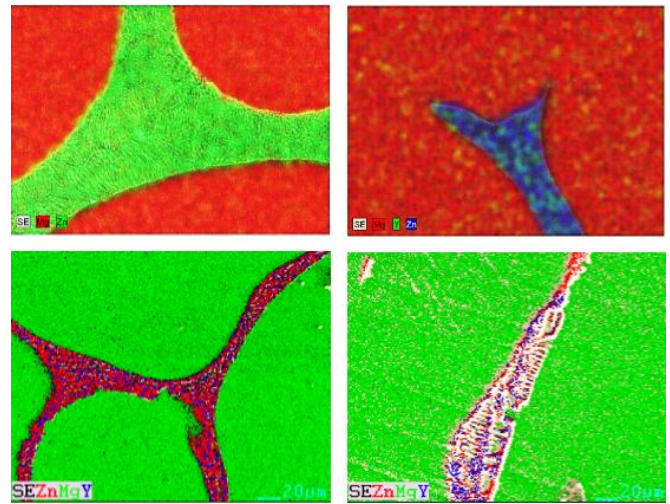
Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui komposisi dari fasa yang terdapat pada material. Alat yang digunakan dalam pengujian identifikasi fasa adalah *Scanning Electron Microscope – Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX). Gambar 2 menunjukkan hasil SEM dari material yang diujikan. Sampel pertama ( $Mg_6Zn$ ) menunjukkan fasa yang terbentuk yaitu fasa  $\alpha$ -mg dan MgZn. Sampel kedua ( $Mg_6Zn_2Y$ ) menunjukkan fasa  $\alpha$ -mg, MgZn dengan fasa  $Mg_3Zn_6Y$  (*I-phase*). *I-phase* juga menunjukkan fasa yang berbentuk lamel, namun perbedaannya adalah bahwa MgZn membentuk lamel yang halus sedangkan *I-phase* membentuk lamel yang kasar. Sampel ketiga ( $Mg_6Zn_2Y$ ) dan keempat ( $Mg_6Zn_4Y$ ) menunjukkan 4 fasa dominan yaitu  $\alpha$ -mg, MgZn,  $Mg_3Zn_6Y$  (*I-phase*) dengan fasa  $Mg_3Y_2Zn_3$  (*W-phase*). *W-phase* ditunjukkan dengan fasa yang berbentuk putih di dekat lamel. *W-phase* dapat terbentuk di batas butir dan *I-phase* terbentuk di akhir *W-phase*. [2].

Tabel 2. Komposisi Unsur Paduan (a). Fasa Sekunder (b). Fasa Primer

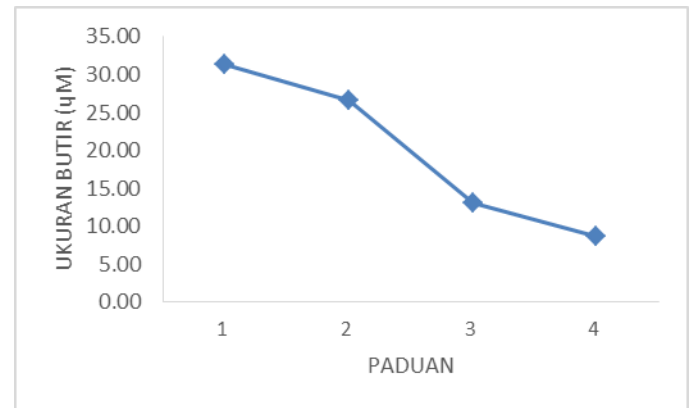
Paduan	Unsur	(a) Fasa Sekunder		(b) Fasa Primer	
		Wt.%	At.%	Wt.%	At.%
$Mg_6Zn$	Mg	51.46	74.04	93.26	97.38
	Zn	48.54	25.96	6.74	2.62
	Y	0	0	0	0
$Mg_6Zn_{0.5}Y$	Mg	32.52	56.56	95.28	98.29
	Zn	66.37	42.91	3.82	1.46
	Y	1.11	0.53	0.9	0.25
$Mg_6Zn_2Y$	Mg	67.25	85.58	94.48	2.13
	Zn	24.15	11.43	5.52	97.87
	Y	8.6	2.99	0	0
$Mg_6Zn_4Y$	Mg	14.32	6.5	93.68	97.62
	Zn	73.17	89.32	5.61	2.18
	Y	12.51	4.18	0.71	0.2

Hasil pengujian EDX dilakukan di 2 titik (bagian dalam dan luar fasa sekunder) yang berbeda pada tiap sampel I-IV dengan memakai EDX *area*. Tabel 2 menunjukkan hasil EDX pada sampel I-IV yang telah diambil secara luasan (*area*) pada bagian dalam dan luar fasa sekunder. Komposisi zinc dan yttrium yang melebihi batas kelarutannya dalam magnesium mengakibatkan terbentuknya senyawa intermetalik biner ataupun terner dari tiga unsur tersebut. Secara keseluruhan dari hasil pengujian XRD menunjukkan ada 4 fasa dominan yang muncul dari keempat sampel yaitu fasa  $\alpha$ -mg, MgZn,  $Mg_3YZn_6$  dan  $Mg_3Y_3Zn_2$ . Gambar 3 menunjukkan *mapping* yang dilakukan pada sampel I-IV. *Mapping* dilakukan untuk mengetahui persebaran unsur pada suatu titik (luasan) pada perbesaran tertentu yang terdapat pada permukaan material sampel setelah dilakukan penembakkan SEM sebelumnya. Penambahan komposisi yttrium pun juga bisa menyebabkan berlangsungnya proses penghalusan butir seperti terlihat pada gambar 4. Grafik

menunjukkan ukuran rata-rata butir yang semakin mengecil dikarenakan semakin banyaknya fasa sekunder yang terbentuk yang membuat fasa primer semakin berkurang. Ukuran rata-rata terkecil didapatkan pada sampel  $Mg_6Zn_4Y$  sebesar 8,62  $\mu m$ .



Gambar 3. Hasil *Mapping* Sampel (a).  $Mg_6Zn$  (b).  $Mg_6Zn_{0.5}Y$  (c).  $Mg_6Zn_2Y$  (d).  $Mg_6Zn_4Y$



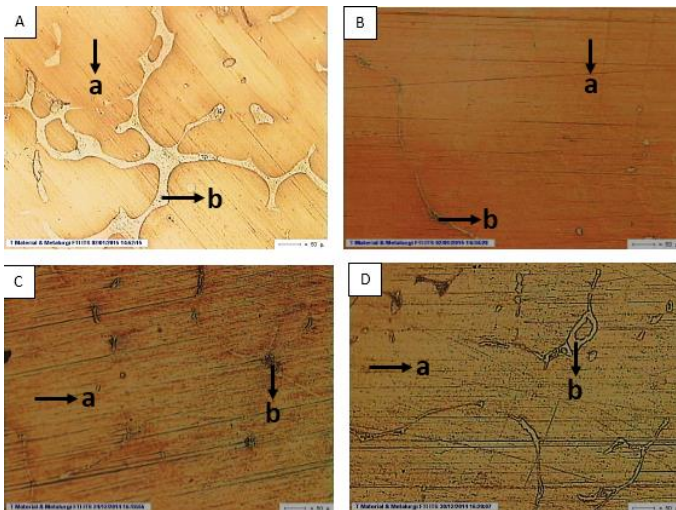
Gambar 4. Grafik Ukuran Butir Paduan

### C. Hasil Pengujian Struktur Mikro

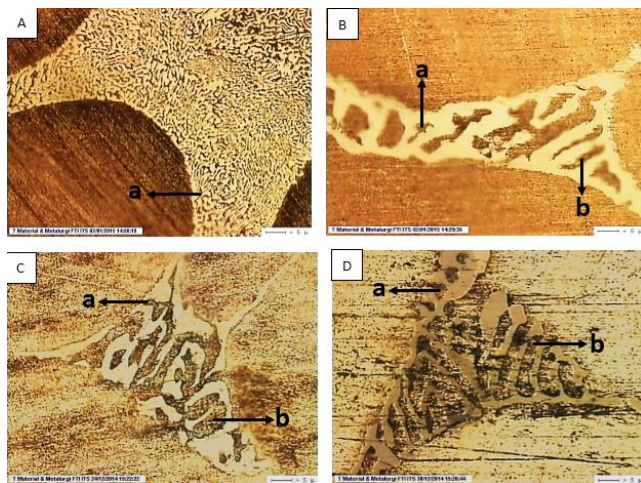
Pengujian struktur mikro dilakukan untuk menganalisa perubahan yang terjadi pada struktur mikro sampel. Pengujian Metalografi dilakukan sesuai standar ASTM E407. Larutan etsa yang digunakan adalah campuran 6 gr asam pikral, 5 ml asam asetat, 10 ml aquades dengan 100 ml alkohol 96%. Gambar 5 merupakan gambar struktur mikro dari tiap material dengan perbesaran 100 kali. Gambar tersebut sekilas menunjukkan perbedaan besar dan banyak fasa pada tiap sampel. Huruf **a** adalah fasa primer sedangkan huruf **b** adalah fasa sekunder. Hal ini dikarenakan penambahan unsur yttrium. Y menyebabkan butir yang terbentuk semakin kecil dan fasa baru yang terbentuk semakin banyak serta merata. Gambar 6 merupakan gambar struktur mikro dari tiap material dengan perbesaran 1000 kali. Gambar ini menjelaskan perbedaan fasa yang terdapat pada setiap material. Hal ini dikarenakan sejumlah magnesium menguap atau teroksidasi saat dalam pengecoran

sehingga menggeser komposisi zinc ke sebelah kanan diagram fasa yang melebihi batas kelarutan maksimum zinc pada magnesium yaitu 6,2% wt. Zinc masuk ke dalam daerah eutektik sehingga menyebabkan terbentuknya struktur lamel. Struktur lamel yang terbentuk terdiri dari  $\alpha$ -mg – zinc. Lamel yang terbentuk adalah lamel halus ditunjukkan dengan huruf *a*.

Hal serupa juga terjadi saat material ditambahkan unsur paduan yttrium. Yttrium berfungsi sebagai *grain refinement* dimana juga bisa membuat paduan magnesium-zinc lebih memiliki butiran yang makin halus dari fasa bertambahnya fasa baru (fasa sekunder). Penambahan 0,5% wt yttrium menyebabkan mulai terbentuknya struktur lamel yang tersusun sedikit berbeda terlihat pada paduan. Lamel tersebut berbentuk lamel kasar (*coarse*) ditunjuk dengan *b* yang tersusun seperti garis – garis. Penambahan 2% wt dan 4% wt yttrium makin menyebabkan struktur lamel kasar tersebut terlihat lebih banyak dan rapat (*solid*). Penambahan komposisi yttrium pada fasa sekunder berubah dari *discontinuous distribution* ke *continous network distribution*, lebar dari fasa sekunder juga bertambah secara signifikan. [3].



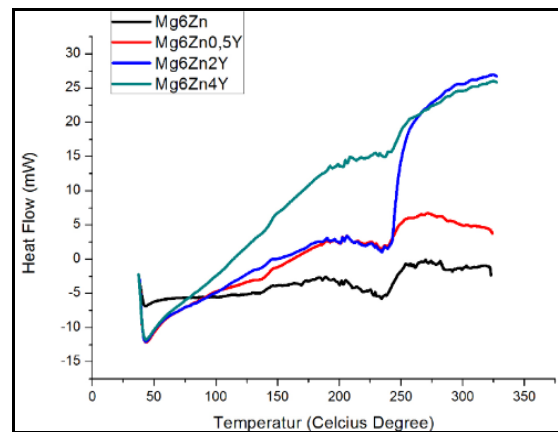
Gambar 5. Struktur mikro sampel (a).  $Mg_6Zn$  (b).  $Mg_6Zn_{0,5}Y$  (c).  $Mg_6Zn_2Y$  (d).  $Mg_6Zn_4Y$  dengan perbesaran 100 kali.



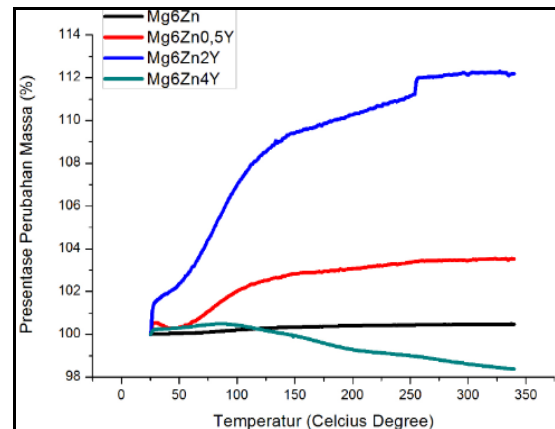
Gambar 6. Struktur mikro sampel (a).  $Mg_6Zn$  (b).  $Mg_6Zn_{0,5}Y$  (c).  $Mg_6Zn_2Y$  (d).  $Mg_6Zn_4Y$  dengan perbesaran 1000 kali.

D. Hasil Pengujian Ketahanan Termal

Pengujian ketahanan termal dilakukan untuk mengetahui nilai dari kemampuan material untuk bisa bertahan dalam temperatur yang tinggi. Pengujian yang dilakukan adalah *Differential Scanning Calorimetry – Thermal Gravimetry Analysis* (DSC-TGA). DSC bertujuan untuk mengetahui aliran panas (*heat flow*) yang terjadi terhadap material selama material mengalami pemanasan hingga temperatur tertentu. GA bertujuan untuk mengetahui pengurangan massa dari material saat berada dalam temperatur yang tinggi. Pengujian DSC-TGA ini menggunakan variabel temperatur kamar (25°C) hingga mencapai temperatur eutektik dari paduan magnesium-zinc dan yttrium yaitu sebesar 340°C. Gambar 7 menunjukkan grafik ketahanan termal oleh pengujian *Differential Scanning Calorimetry* (DSC). Gambar 8 menunjukkan grafik ketahanan termal oleh pengujian *Thermal Gravimetry Analysis* (TGA). Yttrium dapat meningkatkan ketahanan termal terbukti dengan semakin sedikitnya *peak* yang terjadi pada pengujian DSC yang mengakibatkan makin sedikit terjadi reaksi saat dilakukan pemanasan hingga temperatur eutektiknya. Hal ini menunjukkan material sampel IV ( $Mg_6Zn_4Y$ ) lebih stabil dan kuat ikatannya sehingga tidak mudah bereaksi dengan nitrogen dan mengakibatkan terbentuknya  $Mg_3N_2$  (*Magnesium Nitride*).



Gambar 7. Grafik Ketahanan Termal oleh DSC pada sampel (a).  $Mg_6Zn$  (b).  $Mg_6Zn_{0,5}Y$  (c).  $Mg_6Zn_2Y$  (d).  $Mg_6Zn_4Y$

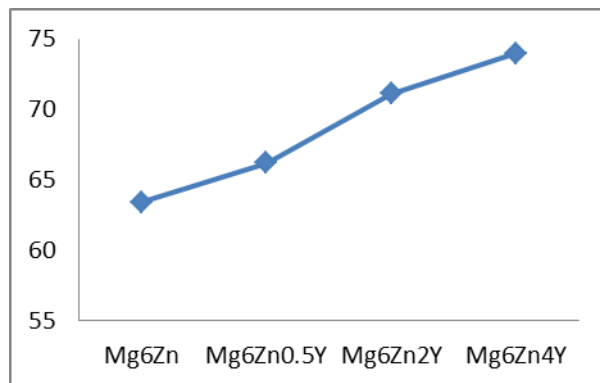


Gambar 8. Grafik Ketahanan Termal oleh TGA pada sampel (a).  $Mg_6Zn$  (b).  $Mg_6Zn_{0,5}Y$  (c).  $Mg_6Zn_2Y$  (d).  $Mg_6Zn_4Y$

Hal ini menunjukkan material sampel IV ( $Mg_6Zn_4Y$ ) lebih stabil dan kuat ikatannya sehingga tidak mudah bereaksi dengan nitrogen dan mengakibatkan terbentuknya  $Mg_3N_2$  (*Magnesium Nitride*). Yttrium yang juga meningkatkan kekuatan termal dapat dilihat pada pengujian TGA yang menghasilkan pengurangan massa 1,32% di akhir sampel IV ( $Mg_6Zn_4Y$ ) pada akhir temperatur eutektiknya. Fasa sekunder  $Mg_3YZn_6$  (*I-phase*) masih ada saat dipanaskan hingga temperatur 460 °C [4]. Fasa sekunder  $Mg_3Y_2Zn_3$  (*W-phase*) masih terdapat pada sampel saat dipanaskan hingga temperatur 510 °C [2].

#### E. Hasil Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui nilai kekerasan material. Alat yang digunakan dalam pengujian kekerasan ini adalah Universal Hardness Tester HBRV 187,5A. Pengujian ini menggunakan metode Brinell dengan indenter berbentuk bola yang memiliki ukuran diameter 2,5 mm dan pembebanan sebesar 62,5 Kg dengan waktu indentasi yang diberikan selama 10 detik. Gambar 9 menunjukkan grafik nilai rata-rata kekerasan sampel:



Gambar 9. Grafik Nilai Rata – Rata Kekerasan Sampel

Kekerasan yang semakin bertambah terjadi karena pengaruh dari penghalusan butir (*grain refinement*) dan fasa sekunder yang terbentuk seperti  $Mg_3Zn_6Y$  (*I-phase*) dan  $Mg_3Y_2Zn_3$  (*W-phase*). Penghalusan butir terjadi seiring bertambahnya komposisi yttrium karena mengakibatkan fasa  $\alpha$ -Mg yang semakin mengecil dan membuat fasa sekunder lainnya semakin bertambah dan tersebar merata dalam material tersebut. Kekerasan juga dapat terjadi setelah material diberi tambahan komposisi yttrium yang menyebabkan fasa baru dapat terbentuk. Sampel II dengan penambahan 0.5% wt komposisi yttrium menyebabkan terbentuknya  $Mg_3Zn_6Y$  (*I-phase*) yang berbentuk *quasicrystal* (lipatan kristal yang tak membentuk simetri) yang terlihat seperti lamel hitam yang bisa meminimalisir terjadinya dislokasi dan menyebabkan material menjadi lebih keras. Pada sampel III dan IV dengan penambahan 2% wt dan 4% wt komposisi yttrium menyebabkan terbentuknya  $Mg_3Zn_6Y$  (*I-phase*) dan  $Mg_3Y_2Zn_3$  (*W-phase*) yang membuat sampel menjadi lebih keras dibandingkan dari 2 sampel sebelumnya. Hal ini dikarenakan  $Mg_3Y_2Zn_3$  (*W-phase*) yang terbentuk memiliki struktur kristal kubik. Struktur kristal kubik memiliki tingkat kepadatan yang lebih baik daripada

struktur kristal *quasicrystal* karena struktur kristal kubik bisa membentuk lipatan yang simetris tak seperti struktur kristal *quasicrystal*. *I-phase* memiliki struktur kristal *quasicrystal* sedangkan *W-phase* memiliki struktur kristal berbentuk *cubic* (kubik).

#### IV. KESIMPULAN/RINGKASAN

Fasa yang terbentuk dalam paduan awal Mg-6Zn adalah  $\alpha$ -Mg dan MgZn. Penambahan yttrium menyebabkan terbentuknya fasa  $Mg_3YZn_6$  (*I-phase*) dan fasa  $Mg_3Y_2Zn_3$  (*W-phase*) dalam paduan magnesium. Penambahan yttrium membuat stabilitas termal paduan meningkat karena meningkatkan ikatan antar fasa dan membuat sampel tidak mudah bereaksi dengan lingkungan sekitar. Fasa  $Mg_3YZn_6$  (*I-phase*) dan fasa  $Mg_3Y_2Zn_3$  (*W-phase*) membuat kekerasan paduan meningkat. Kekerasan tertinggi diperoleh pada paduan  $Mg_6Zn_4Y$  dengan nilai 74 BHN.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Chen, Bin. 2007. *Effect of yttrium and zinc addition on the microstructure and mechanical properties of Mg-Y-Zn alloys*. Tong University, China.
- [2] Fardzadfar, Seyed Amir. 2012. *Effect of yttrium on the microstructure and texture of deformed magnesium*. McGill University Quebec, Canada.
- [3] Liu, Li. 2007. *Effect of w-phase on the mechanical properties of as-cast Mg-Zn-Y-Zr alloys*. Institute of Metal Research, Chinese Academy of Sciences, China.
- [4] Zhao, Xian-feng. 2012. *Effect of heat treatment on microstructure and mechanical properties of Mg-5Zn-0,63Er alloy*. Beijing University of Technology, China.