

Pengaruh Temperatur dan Waktu Tahan Aging Presipitasi Hardening terhadap Struktur Mikro dan Sifat Mekanik Paduan Mg-6Zn-1Y

Winarto Hadi Candra dan Sutarsis

Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Kampus ITS, Keputih, Surabaya 60111

E-mail: sutarsis@mat-eng.its.ac.id

Abstrak—Paduan magnesium merupakan paduan yang banyak diaplikasikan pada komponen otomotif yang memerlukan sifat ringan dan mampu tahan pada temperatur kerja otomotif. Pada penelitian ini akan dilakukan penelitian pengerasan persipitasi paduan Mg-6Zn-1Y dengan menggunakan variabel temperatur 150°C, 175°C dan 200°C dengan waktu tahan 4 jam, 8 jam dan 24 jam. Setelah pengerasan presipitasi paduan Mg-6Zn-1Y dilakukan pengujian metalografi, pengujian XRD, pengujian kekerasan dan pengujian TMA. Dari hasil pengujian didapatkan bahwa fasa yang terbentuk adalah α Mg, Mg₃Y₂Zn₃ dan Mg₃YZn₆. Sedangkan microstructure yang didapatkan bererbentuk lamelar, Mg₃YZn₆ dan α Mg. Lamelar terbentuk dari fasa α Mg+Mg₃Y₂Zn₃. Sedangkan nilai kekerasan pada sampel aging 150°C dengan waktu tahan 4, 8 dan 24 jam adalah 75.4, 80.93 dan 84.6 BHN.

Kata Kunci—Mg-6Zn-1Y, persipitasi hardening, variabel temperatur aging 150°C, 175°C dan 200°C, waktu tahan aging 4 jam, 8 jam dan 24 jam

I. PENDAHULUAN

BERBAGAI logam langkah pada paduan magnesium telah digunakan. Salah satu logam langkah yang digunakan pada paduan magnesium adalah yttrium. Penggunaan logam langkah seperti yttrium bisa menjadi alternatif untuk menciptakan paduan ringan yang berbasis magnesium. Dengan menggunakan sedikit yttrium, maka bisa menciptakan paduan yang sudah memperbaiki sifat mekanik dari magnesium. Dimana yttrium bisa memperbaiki *creep properties* dan *tensile-compressive* [2]. Sehingga magnesium apabila dipaduh dengan zinc dan yttrium maka akan menjadi paduan Mg-Zn-Y. Dimana paduan ini memiliki kestabilan terhadap temperatur yang baik. Paduan tersebut dapat memiliki yield strength sampai 610MPa dan 5% elongation pada temperatur kamar. Selain itu paduan Mg-Zn-Y juga memiliki ketahanan korosi yang baik dan elongation mencapai 700% pada temperature 623K [1].

Dengan melakukan sedikit heat-treatment pada paduan Mg-Zn-Y dapat memperbaiki *mechanical properties*, ketahanan *thermal* dan struktur mikro. Kali ini *heat-treatment* yang digunakan adalah presipitasi hardening. *Presipitation hardening* adalah pengerasan dengan perlakuan panas yang sering dilakukan terhadap paduan non-ferrous. *Presipitation*

hardening dilakukan dalam 2 proses, yaitu *solution treatment* dan *aging*. Proses *solution treatment* merupakan proses pemnasan paduan sampai melewati garis solvus dan berada pada fasa α . Kemudian paduan ditahan pada temperatur tersebut untuk beberapa saat. Selanjutnya paduan tersebut diberikan perlakuan *quench*, yaitu menurunkan dengan cepat temperatur paduan tersebut. Paduan tersebut dicelupkan pada air garam atau oli. Setelah proses *solution treatment* adalah proses *aging*. Paduan magnesium dipanaskan kembali sekitar temperatur 150°C-200°C dan di tahan temperturnya untuk beberapa jam. Lalu proses penurunan temperturnya dilakukan dengan lambat [4].

II. METODOLOGI PENELITIAN

A. Pembuatan paduan Mg-6Zn-1Y

Paduan magnesium merupakan paduan logam ringan yang memiliki sifat mekanik yang kurang baik. Dengan pemberian heat treatment maka akan menaikkan sifat mekanik paduan magnesium. Pembuatan paduan Mg-6Zn-1Y menggunakan logam Mg dengan kemurnian 93%, Zn dengan kemurnian 99% berbentuk serbuk dan Y dengan kemurnian 99% berbentuk serbuk. Pembuatan paduan dengan menggunakan *furnace* yang dialiri dengan gas argon. Pembuatan paduan dengan memasukan logam Mg dan Zn. Selanjutnya menaikkan temperatur furnace hingga 740°C dan ditahan 50 menit. Pendinginan dilakukan dengan menggunakan pendinginan *furnace*.

B. Proses Pengerasan Presipitasi Paduan Mg-6Zn-1Y

Proses selanjutnya melakukan proses perlakuan panas pengerasan presipitasi. Proses pengerasan presipitasi dilakukan dengan 2 tahap, yaitu *solution treatment* dan *aging*.

Solution treatment merupakan proses dengan tujuan agar fasa yang terbentuk pada paduan Mg-6Zn-1Y adalah α Mg. Dimana proses ini dilakukan dengan cara menaikkan temperatur paduan hingga 340°C dan ditahan selama 1 jam. Pendinginan dilakukan dengan cara *quench*. *Quench* merupakan cara pendinginan cepat dimana suatu paduan dicelupkan ke dalam air.

Proses selanjutnya adalah *aging*. Dimana *aging* dilakukan dengan tujuan menimbulkan presipitat. *Aging* dilakukan pada variasi temperatur dan waktu. Untuk variasi temperatur dilakukan dengan menggunakan temperatur 150°C, 175°C dan

200°C. Sedangkan variasi waktu tahan dilakukan pada 4 jam, 8 jam dan 24 jam.

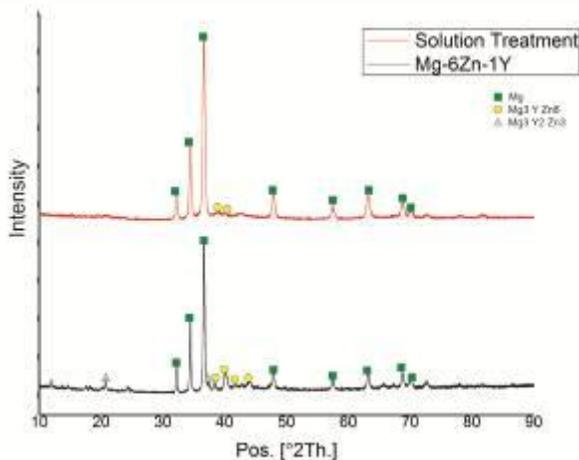
III. HASIL DAN DISKUSI

Proses pemaduan yang dilakukan adalah menggunakan paduan Mg-6Zn-1Y. Dimana pada logam paduan ini memiliki beberapa senyawa dan unsur. Unsur yang terdapat pada paduan adalah Mg. Sedangkan untuk senyawa yang terdapat adalah Mg₃ Y₂ Zn₃ dan Mg₃ Y Zn₆.

A. Hasil Pengujian XRD

Pengujian XRD dilakukan pada semua sampel yang ada. Pengujian dilakukan dengan sampel yang berbentuk solid dan berukuran kecil. Selanjutnya sampel dilakukan pengujian dengan menggunakan alat PAN Analytical. Pengujian pertama kali dilakukan dengan memakai sampel paduan Mg-6Zn-1Y. Pengujian pertama kali dilakukan untuk mengetahui apakah pada proses peleburan paduan Mg-6Zn-1Y telah menjadi sebuah paduan. Pengujian dilakukan dengan memakai range 10°-90°. Identifikasi fasa hasil pengujian dilakukan dengan menggunakan software High Score Plus serta dengan pencocokan manual dengan kartu PDF dari Software JCPDF untuk puncak – puncak yang teridentifikasi saat Search Match.

Pada paduan Mg-6Zn-1Y yang merupakan sampel pertama pengujian XRD, didapatkan hasil yang berupa beberapa senyawa. Dari hasil XRD didapatkan hasil berupa fasa Mg, Mg₃ Y₂ Zn₃ dan Mg₁₂ Y Zn₆.



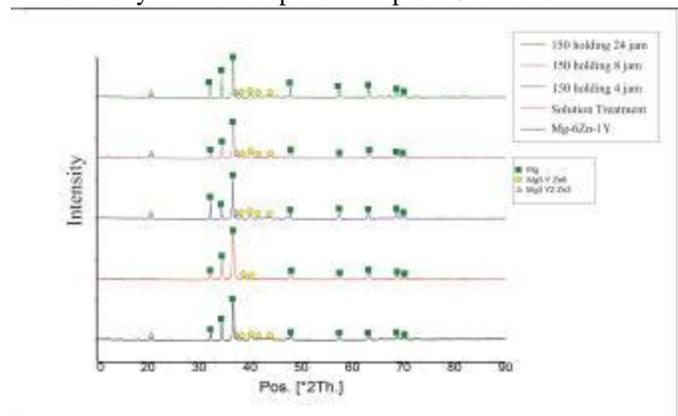
Gambar 1. Perbandingan hasil XRD paduan Mg-6Zn-1Y tanpa perlakuan dan diberikan perlakuan solution treatment.

Dari Gambar 1 dapat dilihat bahwa yang memiliki puncak tertinggi adalah fasa Mg. Dimana puncak tertingginya memiliki 2θ sebesar 36.6594. Fasa ini bersesuaian dengan (JCPDF# 00-035-0821). Untuk fasa Mg memiliki struktur kristal hexagonal. Sedangkan fasa Mg₃ Y₂ Zn₃ dan Mg₃ Y Zn₆ dalam Gambar 4.1 memiliki intensitas yang tidak terlalu tinggi. Untuk Mg₃ Y₂ Zn₃ memiliki 2θ sebesar 20.7289. Fasa ini bersesuaian dengan (JCPDF# 00-036-1275). Sedangkan untuk fasa Mg₃ Y Zn₆ memiliki 2θ sebesar 40.0101. Fasa ini bersesuaian dengan (JCPDF# 00-036-1275).

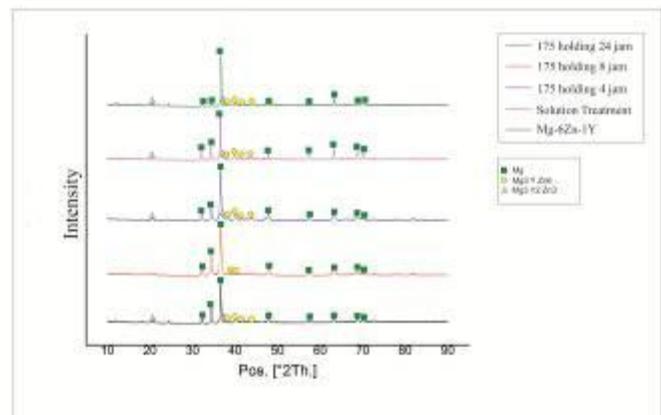
Pada pengujian selanjutnya menggunakan sampel paduan Mg-6Zn-1Y yang telah dilakukan proses solution treatment.

Dimana hasil XRD dapat dilihat pada Gambar 1. Pada Gambar 1 dapat dilihat bahwa puncak tertingginya fasa Mg memiliki 2θ sebesar 36.5863. Fasa ini bersesuaian dengan (JCPDF# 00-035-0821). Sedangkan untuk fasa Mg₃ Y Zn₆ memiliki 2θ sebesar 40.1556. Fasa ini bersesuaian dengan (JCPDF# 00-036-1275). Dari Gambar 2 juga dapat dilihat bahwa intensitas yang dimiliki oleh fasa Mg₃ Y Zn₆ semakin menurun. Setelah proses solution treatment dilanjutkan dengan proses aging. Dengan proses aging, maka senyawa Mg₃ Y Zn₆ akan kembali muncul dengan intensitas yang lebih tinggi. Proses aging dilakukan pada temperatur 150°C, 175°C dan 200°C dengan waktu tahan 4, 8 dan 24 jam.

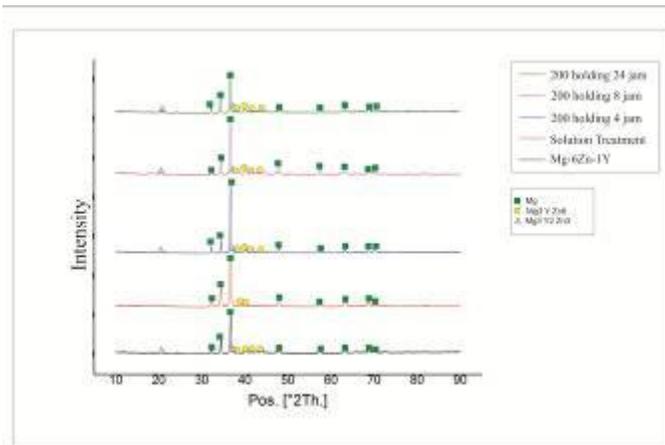
Pada aging 150°C dengan waktu tahan 4, 8 dan 24 jam terdapat berbagai perbedaan senyawa yang muncul dan intensitasnya. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Hasil XRD paduan Mg-6Zn-1Y yang telah diberikan perlakuan aging 150°C selama 4, 8 dan 24 jam



Gambar 3. Hasil XRD paduan Mg-6Zn-1Y yang telah diberikan perlakuan aging 175°C selama 4, 8 dan 24 jam.



Gambar 4. Hasil XRD paduan Mg-6Zn-1Y yang telah diberikan perlakuan aging 200°C selama 4 , 8 dan 24 jam.

B. Hasil Pengujian metalografi.

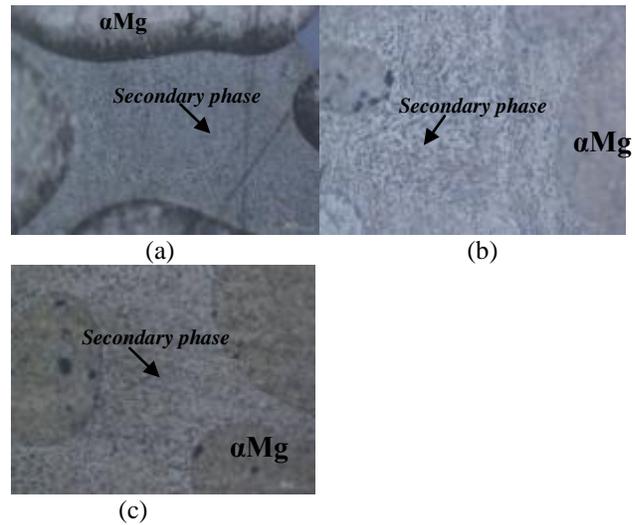
Pengujian metalografi merupakan pengujian yang dilakukan untuk mengetahui struktur mikro suatu sampel. Pada paduan Mg-6Zn-1Y dapat dilakukan pengujian metalografi. Dimana larutan etsa untuk paduan Mg-6Zn-1Y menggunakan standar ASTM E407. Larutan etsa yang digunakan merupakan kombinasi dari larutan 0.7 mL H3PO4, 4g picric acid dan 100 mL ethanol (95 %) atau methanol (95 %). Sampel yang ada dicelupkan pada larutan etsa selama 10 – 30 detik. Hal ini dilakukan agar batas butir sampel dapat terkorosi sehingga saat dilihat pada mikroskop optik dapat dilihat struktur mikronya. Gambar struktur mikro paduan Mg-6Zn-1Y dapat dilihat pada Gambar 8.



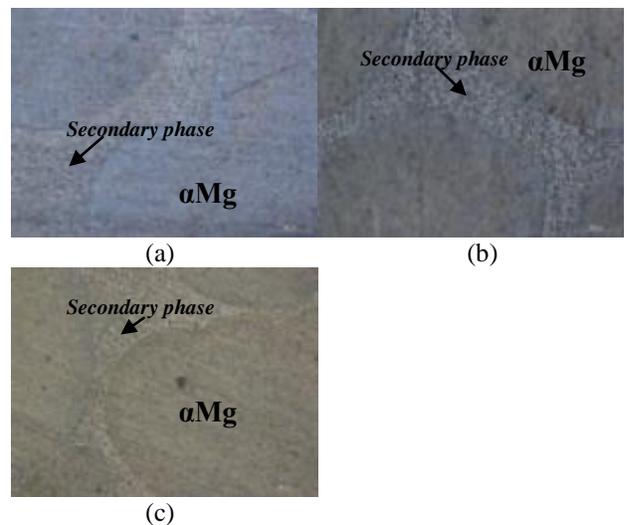
Gambar 5. Struktur mikro paduan Mg-6Zn-1Y dengan perbesaran 50x

Dari Gambar 5(a) dapat dilihat bahwa α Mg terlihat sangat dominan dari pada senyawa $Mg_3 Y_2 Zn_6$ dan $Mg_3 Y_2 Zn_3$. Dimana sifat dari unsur Mg adalah lunak. Pada gambar 4.6(b) secondary phase yang terbentuk hanya $Mg_3 Y_2 Zn_6$.

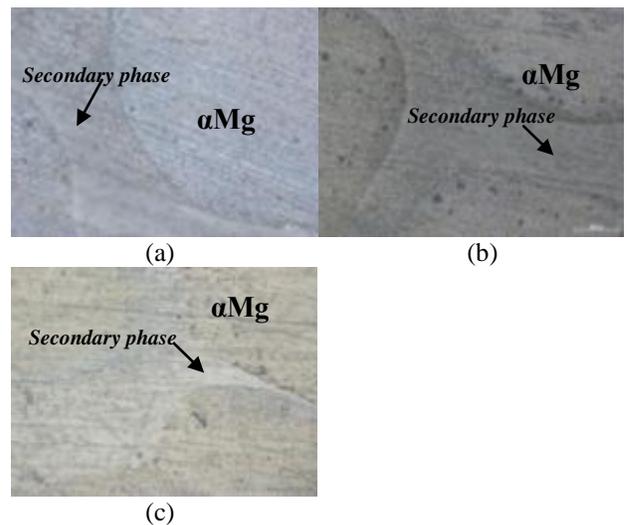
Pada proses pengerasan presipitasi dilakukan dengan dua tahapan. Tahapan pertama merupakan *solution treatment*. Untuk struktur mikro hasil proses *solution treatment* dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 6. Struktur mikro dengan perbesaran 500 pada sampel aging 150 °C dengan waktu tahan (a) 4 jam, (b) 8 jam, (c) 24 jam



Gambar 7. Struktur mikro dengan perbesaran 500x pada sampel aging 175°C dengan waktu tahan (a) 4 jam, (b) 8 jam, (c) 24 jam



Gambar 8. Struktur mikro dengan perbesaran 500x pada sampel aging 200°C dengan waktu tahan (a) 4 jam, (b) 8 jam, (c) 24 jam

Pada Gambar 6 dapat dilihat bahwa intensitas dari *secondary phase* yang terbentuk semakin bertambah. Sehingga intensitas fasa αMg semakin sedikit. Pada gambar 7 menunjukkan bahwa *secondary phase* yang terbentuk berupa lamelar. Lamelar yang terbentuk merupakan fasa $\alpha\text{Mg}+\text{Mg}_3\text{Y}_2\text{Zn}_3$. Dengan bertambahnya waktu tahan *aging*, lamelar yang terbentuk semakin membesar.

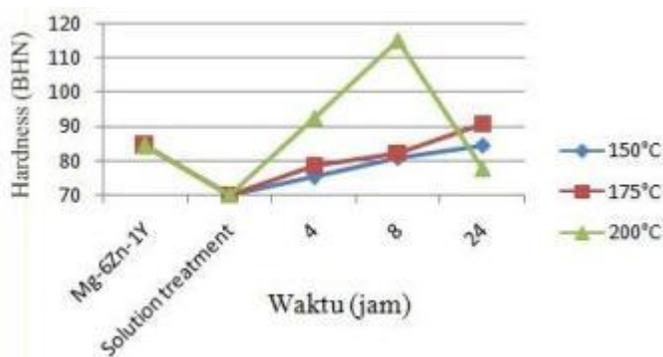
Pada sampel *aging* 175°C dengan waktu tahan 4, 8 dan 24 jam dapat dilihat bahwa dengan meningkatnya waktu tahan pada proses *aging* semakin meningkatnya intensitas presipitat yang terbentuk. Presipitat yang terbentuk lebih merata dari pada sampel *aging* 150°C. Pada gambar 4.8 menunjukkan dengan meningkatnya waktu tahan *aging* temperatur 175°C memberikan pengaruh pada ukuran fasa αMg yang semakin mengecil. Pada gambar 10 menunjukkan dengan meningkatnya waktu tahan *aging* temperatur 175°C meningkatkan ukuran lamelar yang terbentuk.

Dari Gambar 11 dan 12 dapat dilihat bahwa pada sampel *aging* 200°C dengan waktu tahan 24 jam tidak membentuk presipitat. Hal ini dikarenakan dengan waktu tahan yang terlalu lama akan memberikan energi lebih pada fasa $\text{Mg}_3\text{Y}_2\text{Zn}_3$ dan $\text{Mg}_3\text{Y}_2\text{Zn}_6$.

C. Hasil pengujian kekerasan

Pada pengujian kekerasan menggunakan pengujian kekerasan *brinell*. Dalam pengujian kekerasan ini menggunakan standar ASTM E10. Dimana pengujian ini menggunakan indenter bola dengan ukuran diameter 2.5mm dan diberikan beban sebesar 62.5 Kgf. Pengujian dilakukan pada sampel paduan Mg-6Zn-1Y yang tanpa diberikan perlakuan, sampel yang telah diberikan perlakuan *solution treatment* dan sampel yang diberikan perlakuan *aging* pada 150°C, 175°C dan 200°C dengan waktu tahan 4, 8 dan 24 jam.

Paduan Mg-6Zn-1Y tanpa perlakuan memiliki kekerasan sebesar 84.32 BHN. Sedangkan yang telah diberikan perlakuan *solution treatment* memiliki kekerasan rata-rata sebesar 70.2 BHN. Sedangkan pada sampel yang diberi perlakuan *aging* dapat dilihat dari tabel 1.



Gambar 10. Hasil uji kekerasan sampel *aging* 150, 175°C dan 200°C dengan waktu tahan 4, 8 dan 24 jam.

Pada tabel 1 didapatkan bahwa nilai kekerasan tertinggi terdapat pada *aging* temperatur 200°C dengan *holding* 8 jam. Sedangkan *aging* pada temperatur 150°C *holding* 4 jam memiliki nilai kekerasan yang paling rendah. *Aging* pada

temperatur 150°C memiliki kekerasan yang paling rendah dari pada *aging* pada temperatur 175°C dan 200°C.

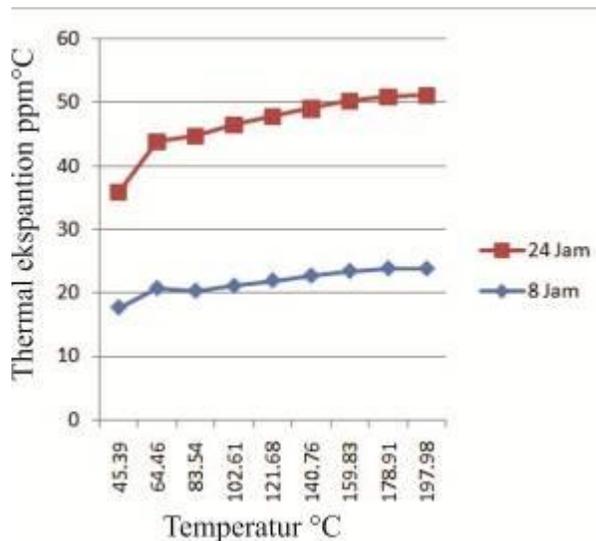
Aging pada temperatur 150°C dengan waktu tahan 4 jam didapatkan kekerasan sebesar 75.4. Pada sampel *aging* temperatur 150°C dengan waktu tahan 8 jam didapatkan nilai kekerasan sebesar 80.93. Untuk sampel *aging* temperatur 150°C dengan waktu tahan 24 jam didapatkan nilai kekerasan sebesar 84.6. Dengan meningkatnya waktu tahan *aging* pada temperatur 150°C berbanding lurus dengan meningkatnya nilai kekerasan.

Pada sampel *aging* temperatur 175°C didapatkan nilai kekerasan yang meningkat dari pada nilai kekerasan sampel dengan *aging* temperatur 150°C. Untuk sampel *aging* temperatur 175°C dengan waktu tahan 4 jam didapatkan nilai kekerasan sebesar 78.76. Nilai kekerasan sampel *aging* temperatur 175°C dengan waktu tahan 8 jam adalah sebesar 82.57. Untuk sampel *aging* temperatur 175°C dengan waktu tahan 24 jam memiliki kekerasan tertinggi dari pada sampel *aging* temperatur 175°C yang lain. Nilai kekerasannya sebesar 90.5.

Untuk sampel *aging* temperatur 200°C ini mengalami peningkatan yang sangat signifikan dalam hal kekerasan. Pada sampel *aging* temperatur 200°C waktu tahan 4 jam, nilai kekerasannya melebihi sampel-sampel sebelumnya. Nilai kekerasan sampel *aging* temperatur 200°C dengan waktu tahan 4 jam mencapai 92.88. Pada sampel *aging* temperatur 200°C dengan waktu tahan 8 jam memiliki nilai kekerasan yang tertinggi dari pada semua sampel yang ada. Nilai kekerasan yang didapatkan adalah 115. Sedangkan pada sampel *aging* temperatur 200°C dengan waktu tahan 24 jam nilai kekerasannya turun secara signifikan dari pada kekerasan sampel *aging* temperatur 200°C dengan waktu tahan 8 jam. Hal ini dikarenakan terjadinya *over aging*.

D. Hasil pengujian TMA

Pengujian ini dilakukan untuk membandingkan paduan Mg-6Zn-1Y yang telah diberikan perlakuan pengerasan presipitasi dengan perlakuan yang berbeda terhadap *stress thermal* yang bekerja dan sebagai pembanding spesifikasi *engine block*. Data yang didapat dari pengujian TMA ini adalah grafik thermal ekspansi.



Gambar 11. Perbandingan nilai koefisien temperatur pada sampel *aging* 200°C dengan waktu tahan 8 dan 24 jam

Sampel paduan Mg-6Zn-1Y yang diberikan perlakuan *aging* 200°C dengan waktu tahan 8 jam mempunyai nilai thermal expansion 23.77 ppm °C⁻¹. Sedangkan sampel perlakuan *aging* 200°C dengan waktu tahan 24 jam mempunyai nilai *thermal expansion* 27.35 ppm °C⁻¹.

IV. KESIMPULAN/RINGKASAN

Kesimpulan dari penelitian ini adalah:

1. Penambahan temperatur *aging* mengakibatkan pertumbuhan presipitat lebih terlihat dan tumbuhnya didaerah dekat batas butir.
2. *Secondary phase* (Mg₃ Y₂ Zn₃ dan Mg₃ Y Zn₆) yang lebih terbentuk dengan penambahan temperatur *aging* akan lebih membesar dan merata.
3. Penambahan temperatur dan waktu tahan *aging* mengakibatkan nilai kekerasan yang semakin meningkat

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Yoshimoto, Shintaro, Michiaki Yamasaki, Yoshihito Kamamura, "Microstructure and Mechanical Properties of Extruded Mg-Zn-Y Alloys with 14H Long Period Ordered Structure", (2006) 1-3
- [2] M, Julian Rosalie, Hidetoshi Somekawa, Alok Singh., Toshiji Mukai, "The effect of precipitation on strength and ductility in a Mg-Zn-Y alloy", (2012) 1-3
- [3] Lei, Xiaofei, Tianmo Liu, Jian Chen, Bin Mio, Wen Zeng, "Microstructure and Mechanical Properties of Magnesium Alloy AZ31 Processed by Compound Channel Extrusion", (2011) 1-6
- [4] O. Mihriban Pegguleryuz, Karl U. Kainer, A. Arslan Kaya, "Fundamentals of magnesium alloy metallurgy". Woodhead publishing in material. USA.(2013) 139-144