

Pengaruh Temperatur Aging dan Waktu Holding Aging Presipitasi Hardening pada Struktur Mikro dan Sifat Mekanik Paduan Mg-5Al-1%Y untuk Aplikasi Komponen Otomotif Temperatur Tinggi

Rieco Malik Darmawan 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 banyak diaplikasikan pada dunia otomotif mobil atau motor dan mesin pesawat terbang. Hal ini dikarenakan berat dari magnesium sendiri yang sangat ringan dan memiliki kekuatan tinggi. Serta paduan magnesium memiliki konduktifitas termal yang baik, modulus elastisitas yang tinggi dan memiliki sifat mekanik yang baik. Pada penelitian ini menggunakan paduan Mg 5Al 1%Y proses conventional melting pada temperatur 720°C waktu holding 1 jam dan didinginkan secara lambat. Variasi temperatur aging adalah 150°C, 200°C dan 250°C dan waktu holding aging 8 jam, 16 jam dan 24 jam. Tujuan dilakukan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh temperatur dan waktu holding aging terhadap mikro struktur, kekerasan dan stabilitas termal. Hasil pengujian karakterisasi yang menggunakan alat uji XRD yang menunjukkan adanya fasa α -Mg, β -Mg₁₇Al₁₂ dan Al₂Y. Hasil pengujian kekerasan yang bersesuaian dengan aplikasi *engine block* adalah ketika paduan diberikan perlakuan panas 200°C waktu holding 16 jam yang memiliki nilai kekerasan sebesar 81.40 HB. Hasil koefisien termal yang sesuai dengan aplikasinya adalah ketika temperatur aging 200°C waktu holding 16 jam dengan nilai koefisien termal sebesar 26.73 ppm°C⁻¹.

Kata Kunci—Paduan Mg-5Al-1%Y, Presipitasi *Hardening*, Metalografi, XRD, *Hardness*.

I. PENDAHULUAN

BERKURANGNYA persediaan bahan bakar fosil dunia dan kenaikan harga bakar yang drastis, telah memaksa industri otomotif untuk mencari bahan pengganti besi dan baja dengan bahan yang lebih ringan. Terdapat kenaikan minat pada konstruksi ringan sejak industri mobil berkomitmen akan mengurangi sebesar 25 % konsumsi bahan bakar untuk semua mobil baru mulai tahun 2005 [3]. Dalam industri otomotif, pengurangan berat kendaraan berarti juga mengurangi biaya bahan bakar dan juga mengurangi jumlah emisi gas buang kendaraan [2]. Material magnesium merupakan salah satu bahan yang mulai dijadikan bahan alternatif. Magnesium adalah logam yang paling ringan, diantara logam yang paling ringan dalam suatu struktur. Selain itu, magnesium merupakan elemen

terbanyak kedelapan yang membentuk 2% berat kulit bumi, serta merupakan unsur terlarut ketiga terbanyak pada air laut [8]. Namun ada kekurangan dari material magnesium, magnesium merupakan material yang mudah terbakar terutama pada saat pemesinan dengan kecepatan potong dan pengikisan yang tinggi. Seiring dengan peningkatan kecepatan potong terjadi penumpukan magnesium pada rusuk pahat disebabkan karena pelengketan antara pahat potong dan benda kerja. Ini mengakibatkan masalah pemesinan yang serius berkaitan dengan getaran dan toleransi. Hal yang lebih penting adalah bahaya penyalaan api pada pemesinan kering paduan magnesium. Api akan terjadi bila titik leleh (400-600°C) tercapai [3].

Magnesium dalam aplikasi otomotif biasanya di padukan dengan unsur paduan seperti; Al, Ag, Mn, Zn, Si, Zr. Dalam salah satu jurnal lain menyebutkan metode efektif yang digunakan untuk meningkatkan kekerasan pada magnesium (Mg) ditambahkan unsur yttrium atau RE (rare element). Menurun [4]. Waktu yang cocok untuk penahan temperatur pada paduan magnesium tidak lebih dari 30 jam. Karena semakin lama penahanan temperatur menyebabkan kekerasan menurun dan sifat mekaniknya juga akan berubah, begitu pula pada struktur mikronya [7].

Penambahan yttrium (Y) sangat banyak ditemukan pada paduan Mg. Kelarutan maksimum dari yttrium pada paduan Mg adalah sebesar 7% pada temperatur kamar. Yttrium dianggap sebagai salah satu elemen yang paling efektif untuk meningkatkan sifat mekanik paduan magnesium (Mg) [5] Yttrium efektif pada proses pengerasan melalui solid solution, dan modifikasi rekristalisasi struktur. Namun belum dapat sepenuhnya dibuktikan bagaimana elemen yttrium (Y) mempengaruhi sifat mekanik paduan magnesium. Maka dari itu, perlu dipelajari kembali pentingnya pengaruh penambahan yttrium (Y) terhadap sifat mekanik dan beberapa sifat lainnya pada paduan magnesium (Mg) [6].

Oleh karena itu dalam penelitian ini akan dilakukan pengembangan *precipitation hardening* dengan variasi temperatur 150°C, 200°C dan 250°C dengan waktu *holding* 8 jam, 16 jam dan 24 jam untuk paduan Mg-5Al-1%Y dengan focus analisis pengaruh perubahan struktur mikro dan sifat mekaniknya.

II. METODOLOGI PENELITIAN

Proses preparasi paduan Mg-5Al-1%Y diawali dengan proses pencampuran magnesium, aluminium dan yttrium dengan komposisi 94% magnesium, 5% aluminium dan 1% yttrium kemudian diletakkan ke dalam krusibel keramik untuk dilakukan proses *conventional melting* dengan temperatur 720 °C dan waktu *holding* 1 jam serta dialiri gas argon selama proses *conventional melting* untuk mencegah terjadinya oksidasi. Dalam proses *conventional melting* tidak dilakukan pengadukan, hal ini dikarenakan pada saat proses *conventional melting* krusibel keramik diletakkan dalam kotak *stainless steel* dan di tutup rapat. Proses selanjutnya adalah memberikan perlakuan *solution treatment* pada paduan Mg 5Al 1%Y dengan menggunakan temperatur 400 °C dengan waktu *holding* 1 jam dan dialiri gas argon selama proses *solution treatment*, proses *solution treatment* ini bertujuan agar fasa yang terbentuk adalah fasa α -Mg. Setelah itu dilakukan proses *quench* menggunakan air. Pada proses *aging* dilakukan pada 2 alat yaitu furnace dan oven. Untuk oven dilakukan proses *aging* dengan temperatur 150 °C dengan waktu *holding* 8 jam, 16 jam dan 24 jam kemudian di dinginkan di dalam oven. Sedangkan untuk temperatur 200 °C dan 250 °C dengan waktu *holding* 8 jam, 16 jam dan 24 jam dilakukan di dalam furnace, proses pendinginan dilakukan di dalam furnace. Selanjutnya dilakukan pengujian XRD (X-ray diffraction), Kekersan, metalografi dan Thermomechanical Analysis.

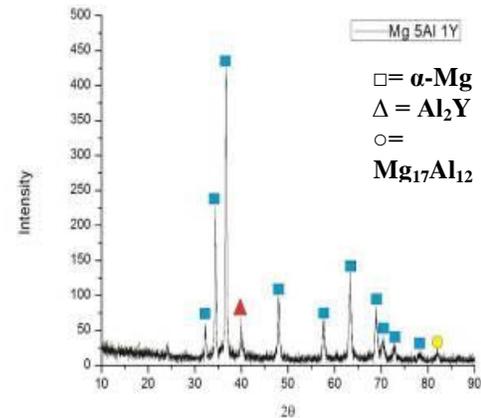
III. HASIL DAN DISKUSI

A. Hasil Pengujian XRD (X-ray Diffraction)

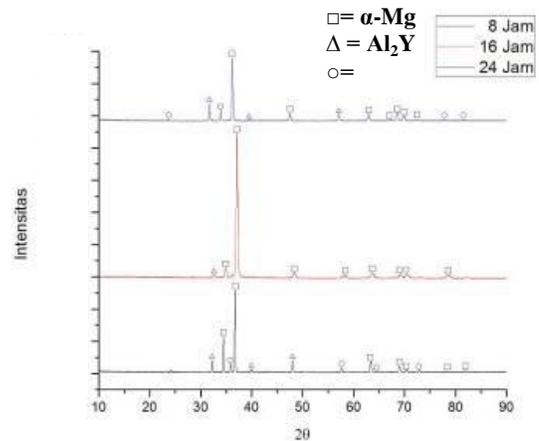
Pengujian XRD dilakukan dengan mengambil sampel hasil perlakuan panas yang berupa padatan kemudian diletakkan di sebuah *holder* untuk selanjutnya diuji dengan menggunakan alat *PAN Analytical*. Pertama yang dilakukan adalah indentifikasi hasil perlakuan panas Mg-5Al-1%Y terhadap hasil pengujian difraksi sinar-X (XRD) untuk mengetahui terbentuknya Al_2Y , $\text{Mg}_{17}\text{Al}_{12}$, dan fasa α -Mg. pengujian dilakukan dengan sinar X menggunakan range sudut $10^\circ - 90^\circ$ dan menggunakan panjang gelombang $\text{CuK}\alpha$ sebesar 1.54056 Å. Identifikasi fasa hasil pengujian XRD pada penelitian ini melalui search match dengan *Software High Score Plus*.

Hasil analisa *X-ray Diffraction* (XRD) paduan Mg-5Al-1%Y tanpa dilakukan proses perlakuan panas pada gambar 1 menunjukkan adanya fasa α -Mg, fasa Al_2Y dan fasa $\text{Mg}_{17}\text{Al}_{12}$. Pada hasil *conventional melting* paduan Mg-5Al-1%Y ini terdapat fasa α -Mg dengan 2θ sesuai dengan CCPDF 01-071-6543 ditunjukkan pada 2θ sebesar 32.3165, 34.4873, 36.6952, 47.9111, 57.5659, 63.3138, 68.8930, 70.3025, 72.8589, dan

77.9367. Fasa Al_2Y dengan 2θ yang sesuai dengan CCPDF 00-029-0103 ditunjukkan pada 2θ sebesar 39.9454. Fasa $\text{Mg}_{17}\text{Al}_{12}$ dengan 2θ yang sesuai dengan CCPDF 01-073-1148 ditunjukkan pada 2θ sebesar 82.0708.

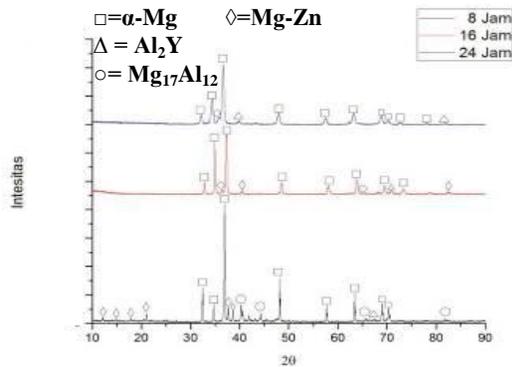


Gambar 1. Hasil uji XRD Mg 5Al 1%Y sebelum diberikan proses perlakuan panas.



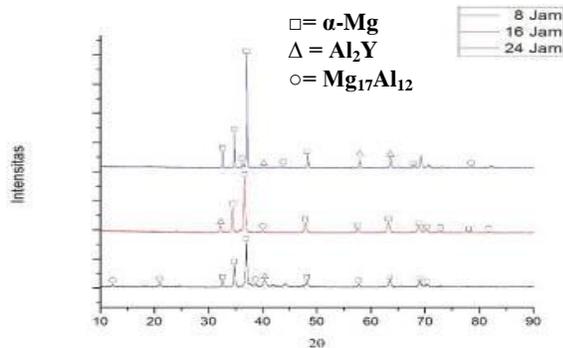
Gambar 2. Hasil uji XRD Mg-5Al-1%Y setelah proses perlakuan panas temperatur 150°C

Hasil analisa *X-ray Diffraction* Mg-5Al-1%Y dengan dilakukan proses perlakuan panas temperatur 150 °C dengan waktu *holding* 8jam, 16 jam dan 24 jam ditunjukkan pada gambar 2. Pada gambar dengan waktu *holding* 8jam 2θ tertinggi sebesar 36.7192 untuk α -Mg, 2θ tertinggi sebesar 32.2576 untuk fasa Al_2Y dan 2θ tertinggi sebesar 63.5133 untuk fasa β - $\text{Mg}_{17}\text{Al}_{12}$. Gambar dengan waktu *holding* 16 jam, 2θ tertinggi sebesar 37.1522 untuk fasa α -Mg, 2θ tertinggi sebesar 63.6680 untuk fasa β - $\text{Mg}_{17}\text{Al}_{12}$, 2θ tertinggi sebesar 32.7442 untuk fasa Al_2Y . Gambar dengan waktu *holding* 24 jam 2θ tertinggi sebesar 36.2561 untuk fasa α -Mg, 2θ tertinggi sebesar 39.6169 untuk fasa Al_2Y , dan 2θ tertinggi sebesar 57.1517 untuk fasa β - $\text{Mg}_{17}\text{Al}_{12}$.



Gambar 3. Hasil uji XRD Mg-5Al-1%Y setelah proses perlakuan panas temperatur 200 °C

Gambar 3 diatas adalah grafik hasil uji *X-ray Diffraction* paduan Mg-5Al-1%Y setelah proses perlakuan panas dengan temperatur 200°C. Gambar dengan waktu holding 8 jam 2θ tertinggi untuk fasa α-Mg sebesar 36.9033, 2θ tertinggi fasa β-Mg₁₇Al₁₂ sebesar 40.2600 dan 2θ tertinggi untuk fasa Al₂Y sebesar 68.9707, 2θ tertinggi untuk fasa Mg-Zn sebesar 37.6559 fasa Mg-Zn adalah impuritas akibat proses peleburan. Gambar dengan waktu holding 16 jam 2θ tertinggi untuk fasa α-Mg sebesar 37.3798, 2θ tertinggi untuk fasa β-Mg₁₇Al₁₂ sebesar 36.2664, 2θ tertinggi untuk fasa Al₂Y sebesar 78,7116. Gambar dengan waktu holding 24 jam 2θ tertinggi untuk fasa α-Mg sebesar 36.7115, 2θ tertinggi untuk fasa β-Mg₁₇Al₁₂ sebesar 34.3757, dan 2θ tertinggi untuk fasa Al₂Y sebesar 39.8643.



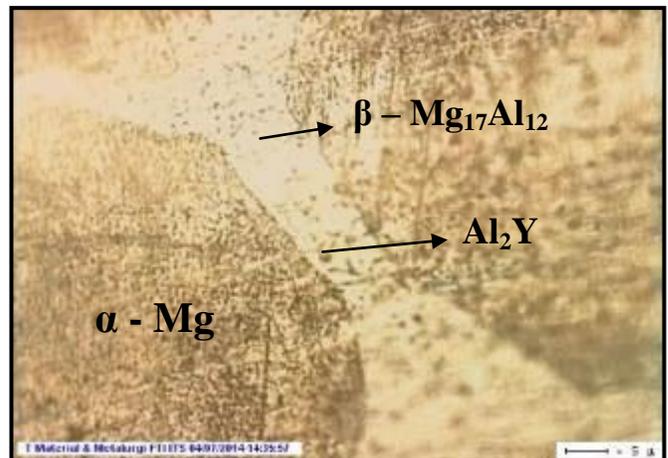
Gambar 4. Hasil uji XRD Mg-5Al-1%Y setelah proses perlakuan panas temperatur 250 °C

Gambar 4 diatas adalah grafik hasil uji *X-ray Diffraction* Mg-5Al-1%Y setelah proses perlakuan panas dengan temperatur 250 °C. Gambar dengan waktu holding 8 jam 2θ tertinggi sebesar 36.9802 untuk fasa α-Mg, 2θ tertinggi sebesar 21.0406 untuk fasa β-Mg₁₇Al₁₂, 2θ tertinggi sebesar 38.7615 untuk fasa Al₂Y. Gambar dengan waktu holding 16 jam 2θ tertinggi sebesar 36.6192 untuk fasa α-Mg, 2θ tertinggi sebesar 40.0295 untuk fasa β-Mg₁₇Al₁₂, 2θ tertinggi sebesar 32.2480 untuk fasa Al₂Y. Gambar dengan waktu holding 24 jam 2θ tertinggi sebesar 37.0778 untuk fasa α-Mg, 2θ tertinggi sebesar 58.1049 untuk fasa β-Mg₁₇Al₁₂, 2θ tertinggi sebesar 34.7763 untuk fasa Al₂Y.

B. Hasil Pengujian Metalografi

Material awal dari percobaan ini adalah material paduan Mg-5Al-1%Y yang dibuat dengan cara *conventional melting* dalam kondisi sebelum diberikan perlakuan panas. Material awal ini telah mengalami serangkaian proses diantaranya *cutting* dan *grinding* untuk preparasi spesimen. Pada proses etsa menggunakan larutan etsa (4 mL picric acid dan 96 mL ethanol atau methanol)

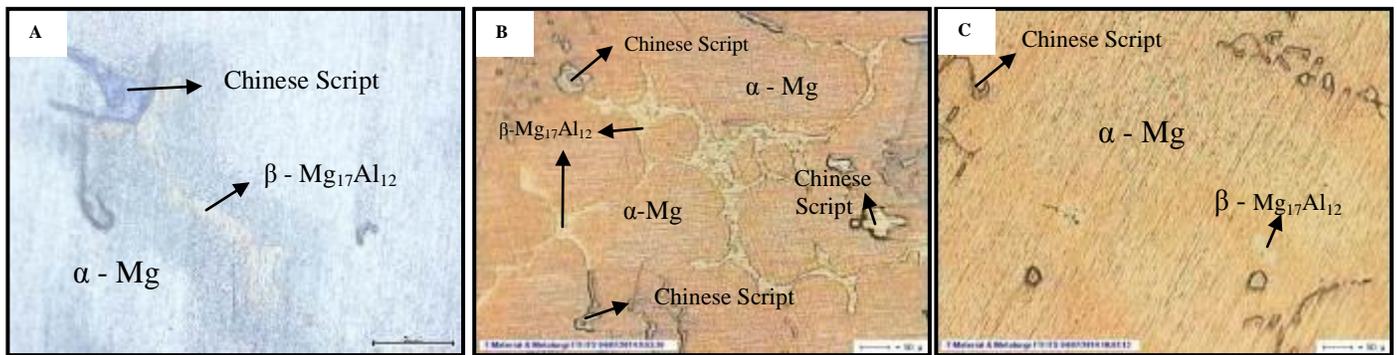
Pada gambar 5 hasil struktur mikro paduan Mg-5Al-1%Y tanpa proses perlakuan panas sebelumnya, menunjukkan keberadaan fasa α-Mg, fasa β-Mg₁₇Al₁₂ dan fasa Al₂Y. Dengan perbesaran 1000x terlihat bawa bentuk dari fasa Al₂Y sebelum dilakukan proses perlakuan panas memiliki berbentuk pipihan dan memiliki ukuran yang kecil dan sebarannya merata di daerah fasa sekunder β-Mg₁₇Al₁₂.



Gambar 5. Struktur mikro Mg 5Al 1%Y sebelum dilakukan proses perlakuan panas dengan perbesaran 1000x

Proses perlakuan panas dilakukan terlebih dahulu proses *solution treatment* dengan temperature 400 °C dan di *holding* selama 1 jam, kemudian di *quench* cepat menggunakan media air. Proses selanjutnya adalah proses *aging* pada temperatur 150°C, 200°C dan 250°C dengan waktu *holding* selama 8 jam, 16 jam dan 24 jam.

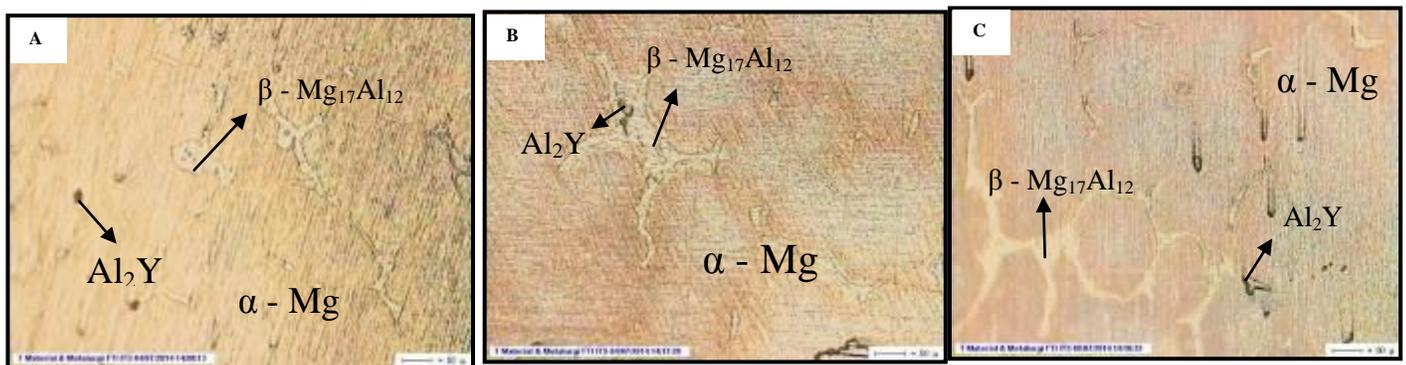
Berikut adalah hasil struktur mikro Mg 5Al 1%Y temperatur 150°C, 200°C dan 250°C dengan waktu *holding* 8 jam, 16 jam dan 24 jam



Gambar 6. Struktur mikro paduan Mg-5Al-1%Y temperatur 150°C dengan waktu *holding* (a) 8 jam (b) 16 jam (c) 24 jam.



Gambar 7. Struktur mikro paduan Mg-5Al-1%Y temperatur 200°C dengan waktu *holding* (a) 8 jam (b) 16 jam (c) 24 jam.



Gambar 8. Struktur mikro paduan Mg-5Al-1%Y temperatur 250°C dengan waktu *holding* (a) 8 jam (b) 16 jam (c) 24 jam.

Pada penelitian ini dengan menggunakan variasi temperatur 150 °C, 200 °C, 250 °C akan mengakibatkan pertumbuhan fasa presipitat Al_2Y akan semakin membesar seiring dengan lamanya waktu *holding* yang diberikan. Dan semakin lama waktu yang diberikan akan mengakibatkan pertumbuhan presipitat Al_2Y menjadi lebih terpusat pada satu tempat dan akan berkumpul menjadi satu. Sehingga pada hasil metalografi dapat diidentifikasi bahwa adanya penambahan waktu mengakibatkan perubahan luas dari presipitat Al_2Y .

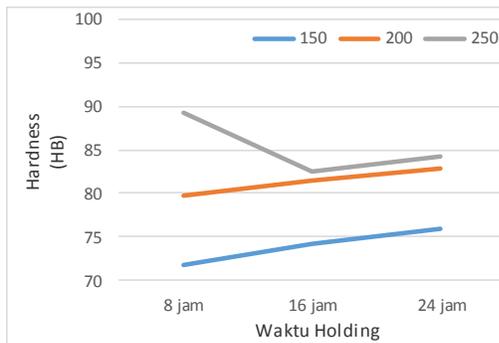
Chinese script terbentuk ketika fasa solid α dan fasa solid β tercampur pada inti butiran sampai semua fasa solid α dan fasa solid β berubah menjadi padatan [1] *Chinese script* juga dapat diidentifikasi pada paduan Mg-5Al-1%Y. Hasil dari tercampurnya fasa solid α dan fasa solid β mengakibatkan adanya endapan pada struktur mikro yang terdiri partikel yang berbentuk khas dari satu fasa didalam fasa lainnya. Semakin cepat proses pendinginannya maka *chinese script* ini akan

menjadi lebih besar. Penambahan *yttrium* pada paduan Mg 5Al menyebabkan adanya pengerasan butiran. Fasa yang terbentuk yaitu fasa Al_2Y . Fasa Al_2Y pada paduan Mg 5Al Y menurut diagram fasa terneri akan terbentuk sempurna ketika temperatur nya mencapai 1100 °C. Keberadaan struktur mikro dari fasa Al_2Y itu terdapat pada fasa sekunder $\beta-Mg_{17}Al_{12}$. Pada penelitian ini fasa Al_2Y sudah dapat diidentifikasi keberadaannya, warna fasa Al_2Y pada struktur mikro berwarna hitam. Struktur mikro Al_2Y terdapat didalam fasa sekunder $\beta-Mg_{17}Al_{12}$.

C. Hasil Pengujian Kekerasan (Hardness)

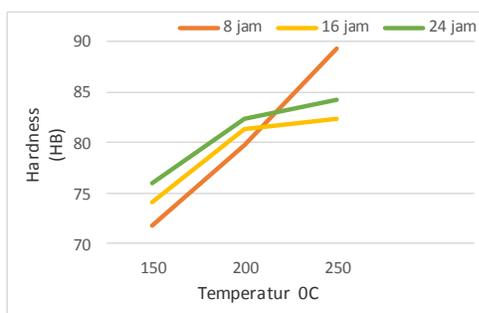
Pada pengujian kekerasan paduan Mg-5Al-1%Y menggunakan metode *Brinell* dengan indentasi bola pejal berukuran 2.5mm dan menggunakan pembebanan sebesar 62.5 Kg. Dari hasil pengujian kekerasan menggunakan metode *Brinell* didapatkan grafik pengaruh temperatur *aging* terhadap

nilai kekerasan dan grafik pengaruh waktu *holding* terhadap nilai kekerasan seperti dibawah ini.



Gambar 9. Grafik kekerasan paduan Mg-5Al-1%Y terhadap temperatur *aging*.

Pengaruh penambahan variasi temperatur terhadap nilai kekerasan paduan Mg-5Al-1%Y seperti pada gambar 9 terlihat bahwa semakin tinggi temperatur yang diberikan maka akan berpengaruh terhadap nilai kekerasannya. Pada saat temperatur 150 °C terlihat nilai kekerasannya meningkat seiring dengan waktu *holding* yang diberikan yaitu 71.80 HB, 74.21 HB dan 75.40 HB. Begitu pula pada saat material di lakukan proses *aging* dengan temperatur 200 °C. Material yang telah diberikan proses *aging* dengan temperatur 200 °C memiliki nilai kekerasan yang terus meningkat seiring dengan waktu *holding* yang diberikan hingga 24 jam. Nilai kekerasan dari temperatur 200 °C adalah 79.80 HB, 81.40 HB, 82.78 HB. Namun kenaikan nilai kekerasan ini tidak berlaku pada material yang telah dilakukan proses *aging* dengan menggunakan temperatur 250 °C. Dari hasil pengujian ketika material dengan proses *aging* 250 °C waktu *holding* diatas 8 jam terjadi penurunan nilai kekerasan. Hal ini dikarenakan material mengalami *over aging*.

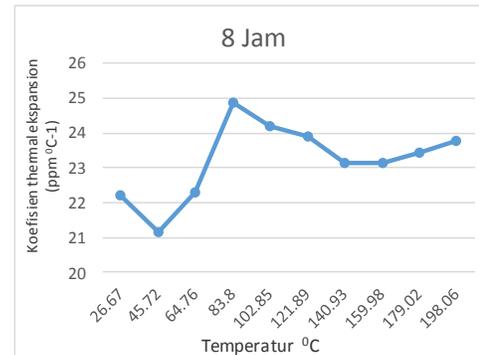


Gambar 10. Grafik kekerasan paduan Mg-5Al-1%Y terhadap waktu *holding*.

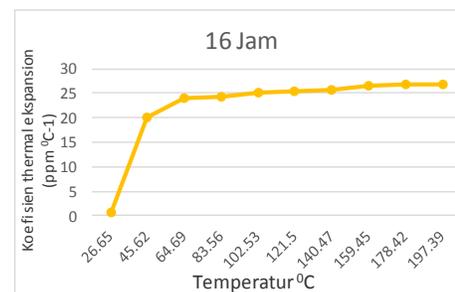
Pada Gambar 10 yang menjelaskan pengaruh variasi waktu terhadap nilai kekerasan material Mg 5Al 1%Y terlihat bahwa ketika waktu *holding* 8 jam nilai kekerasan akan terus meningkat drastis seiring dengan bertambahnya temperatur yang diberikan. Hal ini berbeda ketika waktu *holding* yang diberikan 16 jam dan 24 jam. Terlihat jelas bahwa ketika temperatur diatas 200 °C kenaikan nilai kekerasan tidak cukup signifikan dibandingkan dengan waktu *holding* 8 jam.

D. Hasil Pengujian Thermomechanical Analysis (TMA)

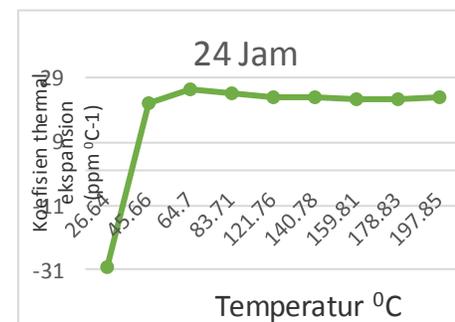
Pada pengujian TMA material yang di uji adalah paduan Mg-5Al-1%Y temperatur 200°C dengan variasi waktu *holding* 8 jam, 16 jam dan 24 jam dengan temperatur pemanasan 200°C dengan temperatur *rate* 5°C/menit. Dari pengujian TMA didapatkan nilai koefisien termal seperti pada Gambar 11.



Gambar 11. Grafik Koefisien ekspansi termal terhadap penambahan temperatur material paduan Mg-5Al-1%Y dengan temperature *aging* 200°C waktu *holding* 8 jam.



Gambar 12. Grafik Koefisien ekspansi termal terhadap penambahan temperatur material paduan Mg-5Al-1%Y dengan temperature *aging* 200°C waktu *holding* 16 jam.



Gambar 13. Grafik Koefisien ekspansi termal terhadap penambahan temperatur material paduan Mg-5Al-1%Y dengan temperature *aging* 200°C waktu *holding* 16 jam.

Aplikasi *engine block* diperlukan koefisien material yang rendah didalam aplikasinya. Pada penelitian ini material Mg-5Al-1%Y juga telah dilakukan pengujian *Thermomechanical Analysis* (TMA). TMA adalah salah satu pengujian yang bertujuan untuk mengetahui koefisien termal suatu material. Pada hasil pengujian TMA terlihat 3 grafik koefisien termal yang berbeda untuk material paduan Mg-5Al-1%Y temperatur 200°C dengan menggunakan variasi waktu *holding* 8 jam, 16

jam, dan 24 jam. Material paduan Mg-5Al-1%Y yang memiliki koefisien termal yang rendah adalah ketika material tersebut telah dilakukan perlakuan panas dengan menggunakan variasi waktu *holding* 8 jam, namun pada material ini memiliki grafik yang tidak stabil dibandingkan dengan grafik dengan waktu *holding* 16 jam. Jika dihubungkan dengan nilai kekerasan, paduan Mg 5Al 1%Y temperatur 200⁰C waktu *holding* 16 jam ini memiliki nilai kekerasan yang cukup untuk aplikasinya yaitu sekitar 92HV atau setara dengan 80HB (ASTM E-140) meskipun nilai koefisien termalnya bernilai 26,73 ppm⁰C⁻¹.

IV. KESIMPULAN

1. Penambahan temperatur *aging* mengakibatkan pertumbuhan presipitat Al₂Y yang lebih terpusat pada daerah β-Mg₁₇Al₁₂ dan memiliki luasan yang semakin besar.
2. Penambahan waktu *holding aging* mengakibatkan pertumbuhan presipitat Al₂Y yang semakin banyak.
3. Pengaruh persebaran dan ukuran Al₂Y mengakibatkan nilai kekerasan yang terus menunjukkan peningkatan

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Moosa Ahmed, 2011. *Effect of Lanthanum Addition on the Microstructure of Mg-4Al Alloy*. Al-Khwarizmi Engineering Journal.
- [2] BYRON B, Global Overview of Automotive Magnesium Requirements and Supply & Demand^o, Automotive Seminar der International Magnesium Association (IMA); Aalen, 09.10.1997.
- [3] C. Blawert, N. Hort and K.U. Kainer. 2004. *Automotive Applications of Magnesium and Its Alloys*. Trans. Indian Inst. Met. Vol.57, No. 4, pp. 397-408.
- [4] Jiang-Feng Nie, 2012. *Precipitation and Hardening in Magnesium Alloys*. Australia
- [5] R. Muraliraja, H. Vettrivel, Dr. R. Elansezhian, 2013. *Synthesis and Characteristic of Magnesium Alloy added with Yttrium To Study the Microstructure and Mechanical Properties*. Pondicherry
- [6] Ren Wenliang, Li Quan'an, Li Jianhong, Li Kejie and Zhang Xingyuan, 2010. *Effects of yttrium on microstructure and mechanical properties of Mg-6Al magnesium alloy*. China
- [7] Qiuming Peng, Ning Ma, Daqing Fang, Hui Li, Riping Liu, Yongjun Tian, 2012. *Microstructures, aging behaviour and mechanical properties in hydrogen and chloride media of backward extruded Mg-Y based biomaterials*. China
- [8] S.K. Panigrahi, W. Yuan, R.S. Mishra, R. DeLorme, B. Davis, R.A. Howell, K. Cho, 2011. *A study on the combined effect of forging and aging in Mg-Y-RE alloy*. USA