



TUGAS AKHIR – TL-141584

**PENGARUH PENAMBAHAN YTTRIUM TERHADAP
STRUKTUR MIKRO, KEKERASAN DAN
STABILITAS TERMAL PADA PADUAN Mg-5Al
SEBAGAI APLIKASI
*ENGINE BLOCK***

MUHAMMAD SAYID DWI TANTORO
NRP. 2711 100 132

Dosen Pembimbing
Sutarsis S.T., M. Sc.

JURUSAN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2015

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT –TL 141584

**EFFECT OF YTTRIUM ADDITION ON THE
MICROSTRUCTURE, HARDNESS AND THERMAL
STABILITY OF Mg–5Al ALLOY AS ENGINE BLOCK
APPLICATION**

MUHAMMAD SAYID DWI TANTORO
NRP. 2711 100 132

Advisor
Sutarsis S.T., M. Sc.

Materials And Metallurgicals Engineering Department
Faculty Of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya
2015

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**PENGARUH PENAMBAHAN YTTRIUM TERHADAP
STRUKTUR MIKRO, KEKERASAN DAN STABILITAS
TERMAL PADA PADUAN Mg-5Al SEBAGAI APLIKASI**

ENGINE BLOCK

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik

Pada
Bidang Studi Metalurgi Manufaktur
Program Studi S1 Jurusan Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya

Oleh :
Muhammad Sayid Dwi Tantoro
NRP. 2711100132

Disetujui Oleh Pembimbing Tugas Akhir :

Sutarsis S.T., M. Sc.(Pembimbing)



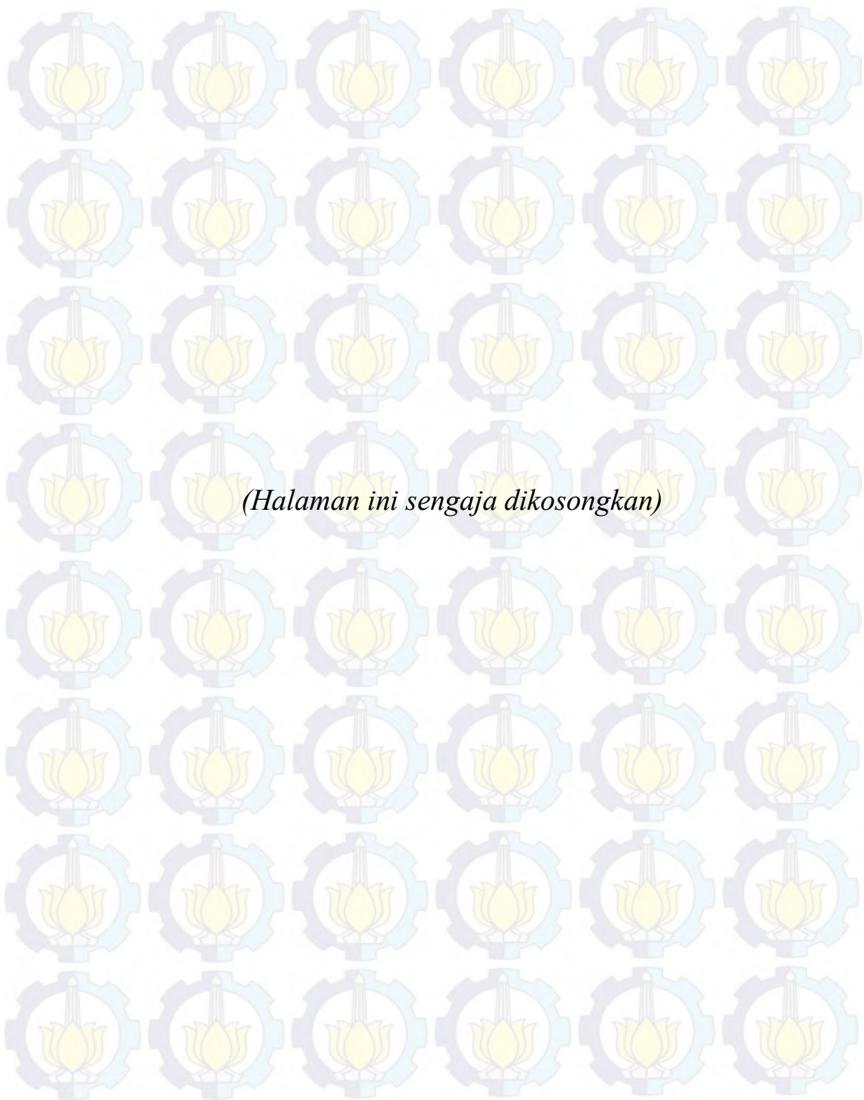
Pengaruh penambahan variasi Yttrium terhadap Struktur mikro, Kekerasan dan Stabilitas termal pada paduan Mg-5Al sebagai aplikasi *Engine block*

Nama Mahasiswa : Muhammad Sayid Dwi Tantoro
NRP : 2711100132
Jurusan : Teknik Material dan Metalurgi
Dosen Pembimbing : Sutarsis,S.T.,M.Sc.

ABSTRAK

Paduan magnesium telah banyak dikembangkan untuk aplikasi komponen otomotif dan pesawat terbang. Hal ini disebabkan karena magnesium memiliki densitas yang sangat ringan memiliki kekuatan yang tinggi serta konduktivitas termal yang baik. Penambahan yttrium pada paduan umumnya meningkatkan kemampuan kerja, menambah ketahanan terhadap temperature tinggi dan secara signifikan meningkatkan ketahanan terhadap oksidasi temperature tinggi Pada penelitian telah dilakukan sintesa pada Mg-5Al-xY (x:1,2,4) dengan menggunakan metode peleburan. Pengujian yang telah dilakukan adalah pengujian struktur mikro, identifikasi fasa, komposisi fasa,kekerasan dan ketahanan termal. Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan fasa- fasa yang terbentuk adalah α -Mg, $Mg_{17}Al_{12}$ dan Al_2Y . Pengujian struktur mikro memperlihatkan bentuk struktur mikro setiap fasa. Nilai kekerasan tertinggi dimiliki oleh paduan Mg-5Al-4Y sebesar 76,5 HB dan memiliki ketahanan termal paling baik pada temperature tinggi.

Kata Kunci : Mg-5Al-xY (x:1, 2, 4) , struktur mikro,identifikasi fasa, kekerasan, ketahanan termal



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**Effect of addition Yttrium variation on Microstructure,
Hardness, and Thermal stability of Mg-5Al alloy as Engine
block application**

Name : Muhammad Sayid Dwi Tantoro
NRP : 2711100132
Department : Materials and Metallurgical Engineering
Advisor : Sutarsis,S.T.,M.Sc.

ABSTRACT

Magnesium alloy has been developed for application in automotive and aeroplane components. It is because magnesium has a very low density and high strength also good thermal conductivity. Addition of yttrium in magnesium alloy improve workability, resistance of high temperature and significantly improve resistance from high temperature oxides. This research focusing on synthezation of Mg-Al-xY (x:1,2,4) with casting method. Metallography test, Phase Identification, Phase Composition, Hardness and Thermal resistant had been done. According to the test result, phases formed are α -Mg, $Mg_{17}Al_{12}$ and Al_2Y . Metallography test shows morphology of every phase microstructure. Highest Hardness number are possessed by Mg-5Al-4Y which is 76,5 HB and Highest thermal resistant at high temperature.

Keywords : Mg-5Al-xY (x: 1, 2 , 4), microstructure , phase identification , hardness, thermal resistance.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji syuktu kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya penulis mampu menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul :

“Pengaruh penambahan unsur Yttrium terhadap Struktur mikro, Sifat kekerasan dan Stabilitas Termal pada paduan Mg-5Al untuk aplikasi Engine block”

Tugas akhir ini dibuat untuk memenuhi syarat kelulusan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST) Jurusan Teknik Material dan Metalurgi Fakultas Teknologi Industri Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Allah SWT yang senantiasa memberikan kemampuan serta kemudahan dalam proses pengerjaan tugas akhir ini.
2. Orang tua Bambang Mardianto (alm), Sri budiwati (alm) dan Rahmawati, serta seluruh keluarga yang memberikan dukungan , pengertian dan kasih sayang.
3. Bapak Sutarsis S.T, M.Sc. selaku dosen pembimbing Tugas akhir yang telah memberikan banyak ilmu dalam pengecoran dan dukungan yang sangat bermanfaat
4. Bapak Dr Sungging Pintowantoro selaku Ketua Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI – ITS
5. Ibu Hariyati sebagai dosen wali
6. Bapak- ibu dosen penguji seminar dan sidang tugas akhir,
7. Seluruh Karyawan Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, Mbak Iis, Pak Chanan, Pak Tari dan seluruh pegawai yang telah banyak membantu dalam pengerjaan

8. Teman-teman pejuang magnesium ,Mas Sinai, Bagas, Yogie dan Pras yang selalu membantu dan memberi semangat dalam proses pengerjaan.
9. Serta teman teman MT 13 yang selalu memberi semangat dalam pembuatan tugas akhir ini.

Penulis menyadari adanya keterbatasan didalam penyusunan laporan ini. Besar harapan penyusun akan saram dan kritik yang bersifat membangun. Selanjutnya semoga tulisan ini dapat bermanfaat. Amin

Surabaya, Januari 2015

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	v
ABSTRAK.....	vii
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR TABEL.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	vii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. LatarBelakang.....	1
1.2. Perumusan Masalah.....	2
1.3. Batasan Masalah.....	3
1.4. Tujuan Penelitian.....	3
1.5. Manfaat.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Magnesium.....	5
2.2. Aluminium.....	7
2.3. Yttrium.....	8
2.4. Paduan Magnesium.....	9
2.5. Paduan Mg-Al.....	13
2.6. Pengaruh Penambahan Yttrium pada paduan Magnesium..	13
2.7. Aplikasi Paduan Magnesium pada bidang otomotif.....	16
2.8. Spesifikasi Engine Block.....	18

2.9. Kajian Penelitian Sebelumnya	19
BAB III `METODOLOGI DAN PENELITIAN	
3.1. Diagram Alir Penelitian	29
3.2. Rancangan Penelitian.....	30
3.3. Komposisi Massa Sampel	31
3.4. Bahan dan Peralatan Penelitian.....	31
3.4.1 Bahan Penelitian	31
3.4.2.Peralatan Penelitian.....	33
3.5. Pelaksanaan Penelitian.....	38
3.5.1 Persiapan Bahan.....	38
3.5.2.Proses Pengujian	39
3.6.2.1. Pengujian Komposisi Fasa	39
3.6.2.2. Pengujian Struktur Mikro.....	40
3.6.2.3. Pengujian Identifikasi Fasa	41
3.6.2.4. Pengujian Kekerasan	42
3.6.2.5. Pengujian Ketahanan Termal	43
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN	
4.1. Analisa Data.....	45
4.1.1.Hasil Pengujian Identifikasi Fasa.....	46
4.1.2.Hasil Pengujian Komposisi Kimia	48
4.1.3.Hasil Pengujian Struktur Mikro	53
4.1.4.Hasil Pengujian Ketahanan Termal.....	58
4.1.5.Hasil Pengujian Kekekerasan.....	58
4.2. Pembahasan.....	61
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	

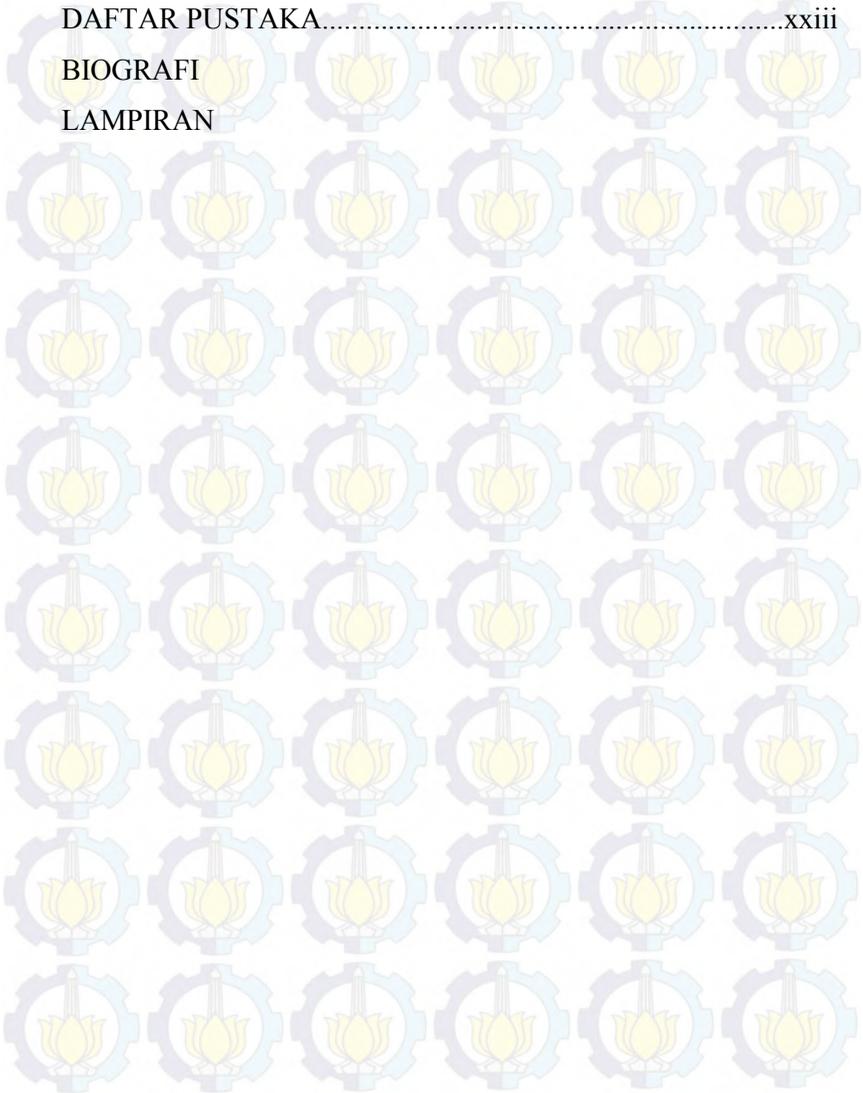
5.1. Kesimpulan71

5.2. Saran71

DAFTAR PUSTAKA.....xxiii

BIOGRAFI

LAMPIRAN





(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Karakteristik Magnesium	5
Tabel 2.2. Karakteristik Aluminium.....	8
Tabel 2.3. Karakteristik Yttrium	9
Tabel 2.4. Kode ASTM pada unsur paduan Magnesium	10
Tabel 2.5. Efek unsur-unsur pada paduan magnesium.....	11
Tabel 2.6. Efek penambahan yttrium terhadap sifat mekanik pada paduan AZ91D	16
Tabel 2.7. Aplikasi paduan magnesium pada <i>automobiles</i>	17
Tabel 2.8. Paduan Aplikasi <i>Engine Block</i>	19
Tabel 3.1. Rancangan penelitian	30
Tabel 3.2. Komposisi massa paduan Mg-5Al-xY (x=0,1,2,4... 31	
Tabel 4.1. Komposisi unsur paduan Mg-5Al (a). Fasa primer dan (b). Fasa sekunder	49
Tabel 4.2. Komposisi unsur paduan Mg-5Al-1Y digambar (a),(b), dan (c).....	50
Tabel 4.3. Komposisi unsur paduan Mg-5Al-2Y digambar (a),(b), dan (c).....	51
Tabel 4.4. Komposisi unsur paduan Mg-5Al-4Y digambar (a),(b), dan (c).....	52
Tabel 4.5. Nilai kekerasan dari paduan dalam satuan Brinell ..	61



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

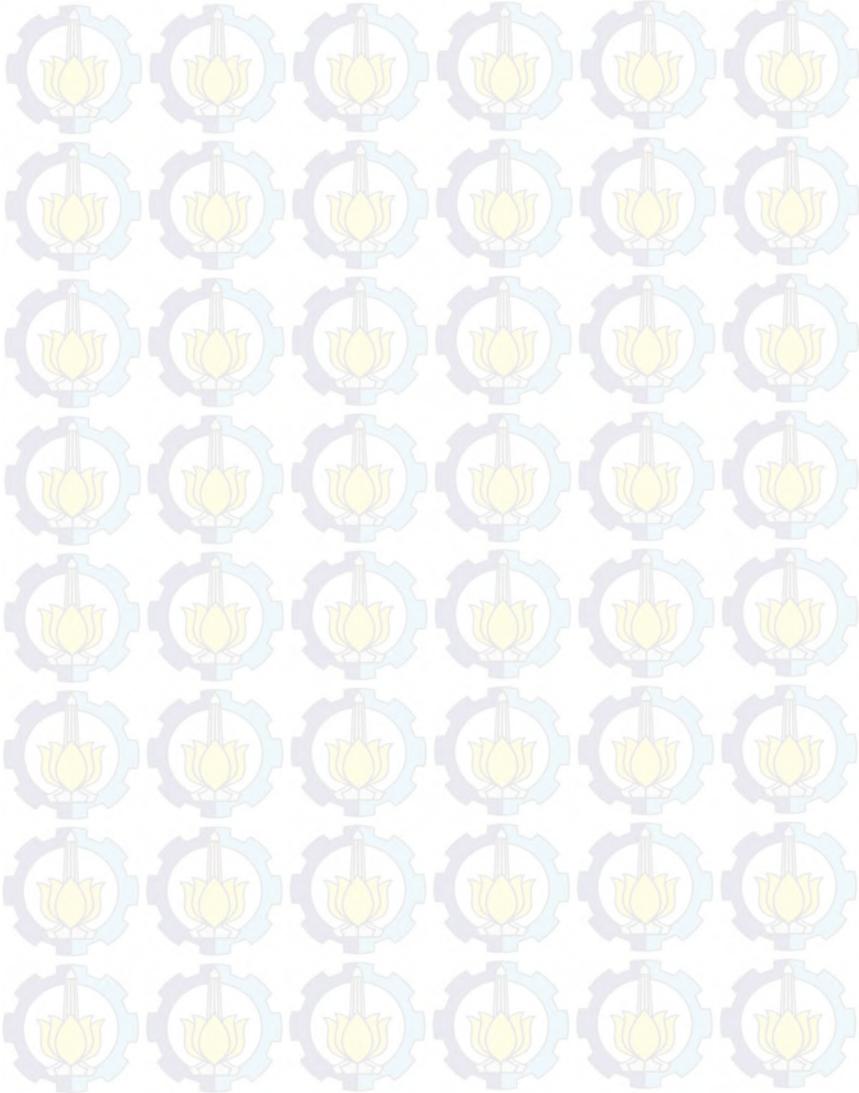
DAFTAR GAMBAR

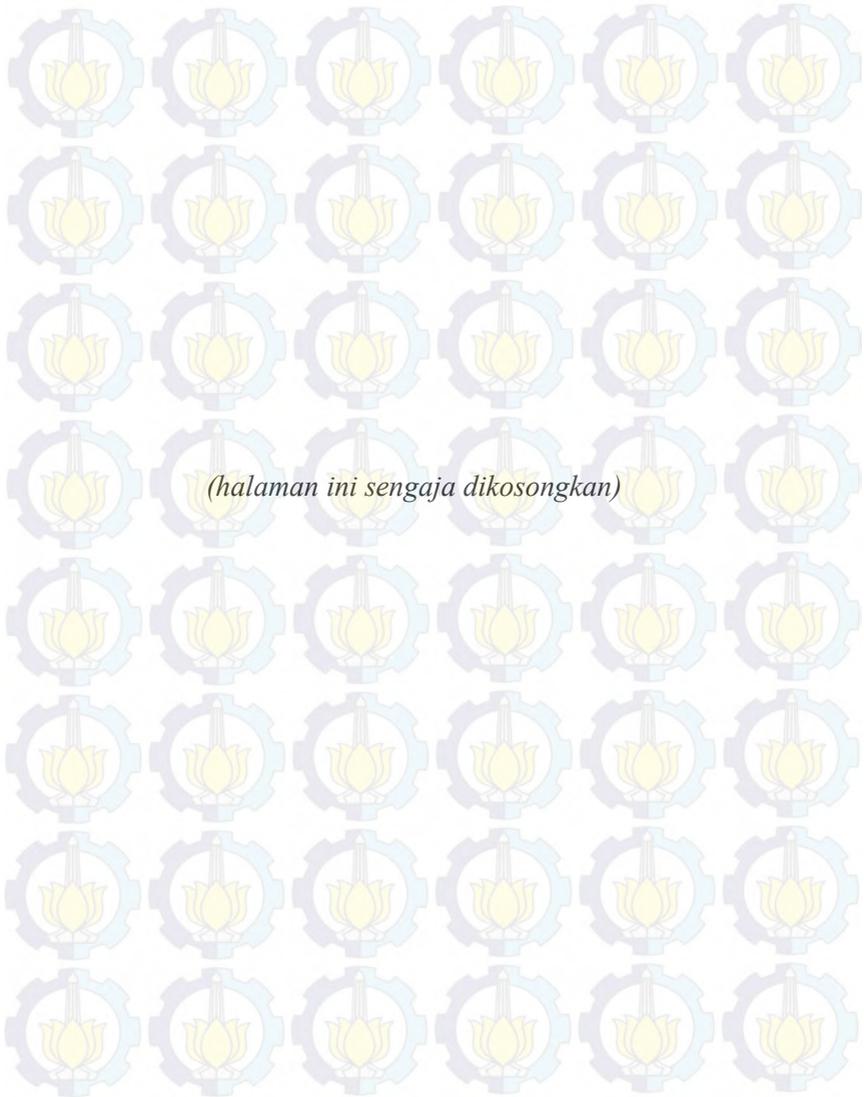
Gambar 2.1. Diagram fasa Mg-Al.....	13
Gambar 2.2. Diagram fasa Mg-Y	15
Gambar 2.3. Diagram fasa Mg-Y	16
Gambar 2.4. Komponen paduan magnesium : (a) <i>Steering column holder and bracket</i> -pada mobil Audi (AZ91D) , (b) <i>gear box housing</i> pada VW (AZ91D) , (c) <i>Fuel tank covering</i> (AM60B), (d) <i>Dashboard</i> pada mobil Cadillac (AM60B)	18
Gambar 2.5. Grafik XRD pada paduan (a). Mg-3Al-3Y (b). Mg-3Al-2Y-1Ce (c). Mg-3Al-1Y-2Ce (d). Mg-3Al-3Ce	20
Gambar 2.6. Strukturmikro (a). Mg-3Al-3Y (b). Mg-3Al-2Y-1Ce (c). Mg-3Al-1Y-2Ce (d). Mg-3Al-3C	21
Gambar 2.7. Uji Kekerasan (A) Mg-3Al-3Y, (B) Mg-3Al-2Y-1Ce (C) Mg-3Al-1Y-2Ce, (D) Mg-3Al-3Ce	22
Gambar 2.8. Strukturmikro pada paduan (a) AZ31, (b) AZ31+0,5Y, (c) AZ31+0,99Y, (d) AZ31+1,48Y, (e) AZ31+1,96Y (f) AZ31+2,16Y.....	23
Gambar 2.9. Grafik XRD pada paduan (a) AZ31, (b) AZ31+0,5Y , (c) AZ31+0,99Y, (d) AZ31+1,48Y, (e) AZ31+1,96Y (f) AZ31+2,16 Y.....	24
Gambar 2.10. Strukturmikro (a) Mg-5Al-0,5Y, (b) Mg-5Al-1Y (c) Mg-5Al-1,5Y, (d) Mg-5Al-3Y.....	25

Gambar 2.11. Grafik nilai kekerasan pada paduan Mg-Al dengan penambahan unsur Yttrium (0,5;1;1,5;3).....	26
Gambar 2.12. Grafik nilai TMA paduan Mg-5Al-1Y,Mg-5Al-1,5Y dan Mg-5Al-3Y.....	27
Gambar 3.1. Flow chart Metodologi Penelitian	29
Gambar 3.2. Magnesium	31
Gambar 3.3. Serbuk Aluminium	32
Gambar 3.4. Serbuk Yttrium	32
Gambar 3.5. Gergaji tangan	33
Gambar 3.6. Neraca Digital.....	33
Gambar 3.7. Cawan Stainless Steel.....	34
Gambar 3.8. Mesin Furnace	34
Gambar 3.9. Kikir.....	35
Gambar 3.10. Kertas amplas/kertas grinding.....	35
Gambar 3.11. Mesin Grinding dan Polishing.....	35
Gambar 3.12. Mikroskop Optik	36
Gambar 3.13. Mesin pengujian kekerasan	36
Gambar 3.14. Mesin SEM (Scanning Electron Microscope	37
Gambar 3.15. Mesin XRD (X-Ray Diffraction).....	37
Gambar 3.16. Mesin DSC-TGA (Differential Scanning Calorimetry-Thermo Gravimetric Analysis	38
Gambar 4.1. Hasil pola XRD setiap paduan.....	46
Gambar 4.2. Hasil EDX dan <i>Mapping</i> paduan Mg-5Al (a). Fasa primer (b). Fasa Sekunder (c) <i>Mapping</i> dengan perbesaran 1500 kali	48

Gambar 4.3. Hasil EDX dan <i>Mapping</i> paduan Mg-5Al-1Y dengan perbesaran 1500 kali	49
Gambar 4.4. Hasil EDX dan <i>Mapping</i> paduan Mg-5Al-2Y dengan perbesaran 1500 kali	50
Gambar 4.5. Hasil EDX dan <i>Mapping</i> paduan Mg-5Al-4Y dengan perbesaran 1500 kali	51
Gambar 4.6. Struktur mikro dengan SEM paduan (a). Mg-5Al (b).Mg-5Al-1Y (c). Mg-5Al-2Y (d). Mg-5Al-4Y dengan perbesaran 1500 kali.....	53
Gambar 4.7. Pengukuran batas butir paduan Mg-5Al.....	54
Gambar 4.8. Pengukuran batas butir paduan Mg-5Al-1Y	55
Gambar 4.9. Pengukuran batas butir paduan Mg-5Al-2Y	55
Gambar 4.10. Pengukuran batas butir paduan Mg-5Al-4Y	56
Gambar 4.11. Grafik hasil pengukuran batas butir berbagai paduan.....	56
Gambar 4.12. Struktur mikro paduan (a). Mg-5Al (b). Mg-5Al-1Y (c). Mg-5Al-2Y (d). Mg-5Al-4Y dengan perbesaran 50 kali	57
Gambar 4.13. Struktur mikro paduan (a). Mg-5Al (b). Mg-5Al-1Y (c). Mg-5Al-2Y (d). Mg-5Al-4Y dengan perbesaran 1000 kali	58
Gambar 4.14. Grafik hasil pengujian <i>Differential Scanning Calorimetry</i>	59
Gambar 4.15. Grafik hasil pengujian <i>Thermo Gravimetry Analysis</i>	60

Gambar 4.16. Grafik hasil uji kekerasan berbagai paduan.....63





BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Perkembangan teknologi otomotif yang semakin maju di era modern ini mengakibatkan mobilitas manusia meningkat. Sehingga membutuhkan transportasi yang nyaman dan efisien, sebagai contoh kendaraan yang irit bahan bakar dan ramah lingkungan. Dengan bertambahnya permintaan produksi pada sektor otomotif mengakibatkan tingginya pemakaian bahan bakar fosil. Oleh sebab itu pemerintah berupaya meningkatkan efisiensi energi terutama energi pendukung pada kendaraan. Berkurangnya persediaan bahan bakar, telah memaksa industri otomotif untuk mencari bahan pengganti komponen otomotif dari material besi dan baja dengan bahan-bahan yang lebih ringan. Pada industri otomotif pengurangan berat pada kendaraan berarti juga mengurangi biaya bahan bakar dan jumlah emisi gas buang pada kendaraan. Langkah strategis yang dapat dilakukan adalah dengan mengurangi berat struktur komponen dan mesin penggerakannya. Dengan cara pengembangan material ringan berbasis Magnesium (Mg) dan Aluminium (Al) sebagai pengganti dari baja dan besi cor pada komponen kendaraan bermotor (Kenneth Lee 2010)

Magnesium adalah unsur ke-enam yang sangat melimpah terletak di kerak bumi yang mewakili 2,7 % dari kerak bumi (H.Okamoto,1998). Paduan Magnesium adalah salah satu bahan struktur yang ringan, dengan densitas $1,78 \text{ g/cm}^3$, lebih ringan dibandingkan dengan aluminium (Al) dan 70% lebih ringan daripada besi (Ti Jun Chen, 2001). Karena keunggulan sifatnya, banyak industri manufaktur otomotif mengembangkan paduan Magnesium untuk aplikasi *gear box*, piston, pedal, *dashboard*, *framing of doors*, dan lain-lain (Song Changjiang,2009).

Pada aplikasi otomotif magnesium biasanya dipadukan dengan unsur paduan seperti Al, Ag, Mn, Zn, Si, dan Zr. Paduan yang sering digunakan adalah seri AZ dan AM (AZ91D, AM50A, dan AM60B), yang mana memiliki sifat mekanik, ketahanan



korosi dan sifat mampu cor yang baik. Namun memiliki kekurangan pada ketahanan *creep* sekitar 125 °C (C. Suman, 1991). Hal tersebut menjadikan paduan magnesium tidak memadai untuk aplikasi *powertrain*. Dibutuhkan peningkatan ketahanan *creep* pada paduan magnesium, karena penggunaan pada rumah transmisi agar dapat beroperasi hingga temperatur 175 °C, pada *engine block* 200 °C, sedangkan pada piston lebih dari 300 °C.

Dengan adanya penambahan *rare element* (RE) pada paduan magnesium dapat menghasilkan perbaikan struktur mikro dan sifat mekanik, termasuk ketahanan *creep*. Menurut Saher Al Shakhshir (2005), paduan material Mg-Al-Y merupakan pengembangan paduan magnesium yang baru. Penambahan Aluminium sangat penting pada paduan ini karena, dapat meningkatkan kekuatan pada temperatur kamar (27°C), ketahanan terhadap korosi dan *castability* pada paduan ini. Penambahan Yttrium yang merupakan *rare element* dapat mempengaruhi peningkatan kekuatan paduan dalam keadaan temperatur tinggi. Penambahan Yttrium pada paduan Mg juga meningkatkan *ignition resistance* secara signifikan (Ravi Kumar, 2003)

Seperti paduan WE 43 (Mg-Al-Y) yang memiliki ketahanan pembakaran sekitar 690 °C dapat diperlakukan panas, sifat mekanik yang baik pada temperatur diatas 250°C, dapat dilas dan ketahanan korosi yang baik. Menurut Tomasz Rzychon (2009), pengembangan material paduan magnesium yang baru yaitu series AE42 (Mg-4Al-2RE) yang memiliki ketahanan *creep* yang baik, sifat mekanik dan ketahanan korosi yang lebih baik.

Maka dari itu pada penelitian ini akan dilakukan modifikasi paduan Mg-5Al dengan variasi penambahan unsur yttrium dan dianalisa pengaruhnya terhadap struktur mikro, kekerasan, dan stabilitas termal.

1.2. Perumusan Masalah

Permasalahan yang diteliti dalam tugas akhir ini adalah bagaimana pengaruh penambahan variasi komposisi Yttrium(Y) terhadap struktur mikro, kekerasan dan stabilitas termal paduan Mg-5 Al.



1.3. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a) Paduan Mg-5 Al + x Y dianggap homogen.
- b) Unsur pengotor Mg-Al-Y dianggap tidak ada (kemurnian 99,9 %).
- c) Tidak terjadi oksidasi karena atmosfer dalam furnace diberi gas Argon (Ar).
- d) Fluktuasi temperatur dianggap stabil.
- e) Tidak ada reaksi material dengan cetakan (cawan).

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengalisa pengaruh variasi komposisi unsur Yttrium terhadap struktur mikro, kekerasan dan stabilitas termal pada paduan Mg-5Al.

1.5. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut :

1. Memberikan pengetahuan mengenai paduan logam ringan berbasis paduan magnesium pada aplikasi komponen otomotif.
2. Memberikan informasi mengenai penambahan unsur Yttrium (Y) terhadap struktur mikro dan sifat mekanik paduan Mg-5Al



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Magnesium

Ditemukan pada tahun 1774 di kota Magnesia, magnesium adalah unsur ke-enam yang sangat melimpah terletak di kerak bumi, mewakili 2 % dari kerak bumi (H. Okamoto 1998). Magnesium merupakan material yang paling ringan dari semua logam, memiliki densitas 1.738 g/cm^3 , kira-kira seperempat kepadatan baja dan dua-pertiga dari aluminium (G. Neite, 2005). Hal ini menjadikan magnesium sebagai material yang digunakan untuk aplikasi kebutuhan sehari-hari. Nilai densitas yang rendah dan kekuatan yang tinggi dari magnesium menjadikan pilihan untuk komponen material ringan. Adapun karakteristik lain dari magnesium ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Karakteristik Magnesium (M.M Avedesian, 1999)

Simbol	Mg
Nomor Atom	12
Berat Atom	24.3050
Densitas (gr/cm^3)	1,738
Titik Lebur ($^{\circ}\text{C}$)	650
Titik Didih ($^{\circ}\text{C}$)	1091
Konduktivitas Termal ($\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$)	156
Termal Ekspansi ($\mu\text{m}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$)	24.8 (pada 25°C)
Modulus Young (GPa)	45
Kekerasan brinell (MPa)	260
Struktur Kristal	Hexagonal Close Packed

Titik lebur yang rendah menjadikan magnesium memiliki *castability* yang baik sehingga efisien untuk produksi dengan cara pengecoran. Magnesium dapat dipadukan dengan beberapa unsur untuk meningkatkan sifat mekanik, mampu bentuk, dan ketahanan



korosi. Unsur paduan utama yang biasa ditambahkan adalah aluminium zinc dan yttrium. Magnesium murni tidak dapat digunakan sebagai material struktur maupun otomotif karena memiliki sifat mekanik yang tidak begitu bagus. Agar magnesium dapat digunakan sebagai material struktural, magnesium perlu memiliki kekuatan dan keuletan yang cukup terhadap beban dinamik maupun statis pada temperatur kamar (27°C). Kekuatan dapat dipengaruhi oleh kombinasi mekanisme pengerasan seperti *solid solution hardening* dan *precipitation hardening*. Ductility magnesium dapat ditingkatkan dengan penghalusan butir (grain refining). Penguatan dapat diperoleh dengan penambahan unsur paduan tertentu. Penambahan ini juga mempengaruhi sifat lain seperti titik lebur dan castability. Elemen paduan yang sering digunakan seperti aluminium, seng, mangan, zirconium, dan *rare element* (RE). Penambahan yttrium digunakan untuk aplikasi temperature tinggi (Garcia, 2010).

Banyak paduan magnesium menunjukkan *machinability* dan *processability* yang baik, dan bahkan bagian paling rumit pada *die-cast* dapat mudah diproduksi. Pada aspek lainnya memiliki sifat redam yang baik, yang membuat pengguna paduan ini lebih menarik untuk meningkatkan siklus hidup mesin. Magnesium murni menunjukkan sifat redam lebih tinggi dibandingkan besi cor (Bayron.B,1997), sifat ini sangat bergantung pada perlakuan panas. Magnesium memiliki kelemahan untuk aplikasi paduan pada kemampuan kerja dingin dan ketahanan korosi pada paduan magnesium sangat rendah. Disamping itu magnesium sangat reaktif. Pada saat pengecoran, magnesium mengalami pembentukan penyusutan yang tinggi sekitar 4% ,ketika pepadatan dan juga pendinginan sekitar 5% (Norsk Hydro,1996). Penyusutan dengan derajat yang tinggi menyebabkan terjadinya *microporosity*, ketangguhan rendah, dan memiliki sensitivitas tinggi yang tidak bisa dihindarkan. Perilaku ini sama seperti nilai thermal ekspansi koefisien ca 10% sesuai dibawah nilai untuk aluminium.

Menurut K.U. Keiner 2003, kelemahan yang dimiliki tersebut, dapat diupayakan peningkatan paduan magnesium dengan peningkatan paduan magnesium menggunakan paduan



unsur untuk mengurangi kelemahan untuk pencapaian presipitasi dan solid solution hardening yang lebih baik. Dengan cara ini semua kelebihan yang dimiliki oleh paduan ini akan terealisasi :

- Kemampuan untuk cor yang sangat baik
- Spesifikasi kekuatan yang baik (kekuatan, densitas, rasio)
- Kemampuan mesin yang baik (pegeboran, pembubutan, pemotongan)
- Meningkatkan ketahanan korosi dengan paduan yang memiliki kemurnian tinggi.
- Dapat didaur ulang secara intergrasi
- Kemampuan redam yang baik

2.2. Aluminium

Aluminium merupakan logam ringan yang mempunyai sifat ketahanan korosi yang baik. Aluminium memiliki beberapa kelebihan daripada logam lainnya. Aluminium relatif lebih ringan daripada baja, tembaga, maupun kuningan. Sebagai konduktor listrik dan panas yang baik. Aluminium juga memiliki titik lebur yang rendah, sehingga lebih mudah difabrikasi dibandingkan dengan logam lainnya (Charis Sonny Harsono, 2006). Aluminium tahan terhadap korosi karena fenomena pasivasi. Pasivasi adalah pembentukan lapisan pelindung akibat reaksi logam dengan komponen udara sehingga lapisan tersebut melindungi lapisan dalam logam tersebut dari korosi. Selama 50 tahun terakhir ini, aluminium telah menjadi logam yang luas penggunaannya setelah baja. Hal ini didasarkan karena aluminium memiliki sifat ringan, tahan terhadap korosi, memiliki kekuatan dan ductility yang cukup baik, mudah diproduksi dan cukup ekonomis (Gusti Randa Atmaja, 2011). Adapun karakteristik lain dari aluminium ditunjukkan pada tabel 2.2



Tabel 2.2 Karakteristik Alumunium

Simbol	Al
Nomor Atom	13
Berat Atom	26.98
Densitas (gr/cm ³)	2,7
Titik Lebur (°C)	660
Titik Didih (°C)	2520
Konduktivitas Termal (W m ⁻¹ K ⁻¹)	237
Termal Ekspansi (μm·m ⁻¹ ·K ⁻¹)	23.1 (pada 25 °C)
Modulus Young (GPa)	70
Kekerasan brinell (Mpa)	245
Struktur Kristal	Face Centered Cubic

2.3. Yttrium

Yttrium ditemukan oleh J. Gadolin pada tahun 1794 di Abo, Finlandia. Yttrium digunakan dalam bentuk Yttrium (III) oksida yang digunakan sebagai paduan tambahan untuk meningkatkan kekuatan paduan magnesium dan alumunium, Yttrium merupakan material yang lembut berwarna silver-metalik yang berkilau. Yttrium murni relatif stabil di udara dalam bentuk bongkahan, karena energi pasivasi yang dihasilkan dari pembentukan oksida pelindung (Y_2O_3) pada lapisan permukaannya. Lapisan ini dapat mencapai ketebalan 10 μm ketika yttrium dipanaskan pada temperatur 750 °C. Sejumlah kecil yttrium (0,1 – 0,2 %) telah digunakan untuk mengurangi butiran dari Cr, Mo, Ti, dan Zr. Yttrium juga digunakan untuk meningkatkan kekuatan pada paduan aluminium dan magnesium. Penambahan dari yttrium pada paduan umumnya meningkatkan kemampuan kerja, menambah ketahanan terhadap temperatur tinggi dan meningkatkan ketahanan terhadap oksidasi temperatur tinggi.



Tabel 2.3 Karakteristik Yttrium

Simbol	Y
Nomor Atom	39
Berat Atom	88.9
Densitas (gr/cm ³)	4.47
Titik Lebur (°C)	1526
Titik Didih (°C)	3336
Konduktivitas Termal (W m ⁻¹ K ⁻¹)	17.2
Termal Ekspansi (µm·m ⁻¹ ·K ⁻¹)	10.6 (pada 25 °C)
Modulus Young (GPa)	63.5
Kekerasan brinell (Mpa)	589
Struktur Kristal	Hexagonal Close Packed

2.4. Paduan Magnesium

Magnesium adalah logam yang ringan dan memiliki sifat redam getaran yang baik. Paduan ini sering digunakan dalam aplikasi struktural dan non struktural dimana berat sangat diutamakan. Karena magnesium tidak cukup kuat dalam bentuk yang murni, magnesium sering dipadukan dengan berbagai elemen untuk mendapatkan sifat khusus tertentu, terutama kekuatan rasio berat yang tinggi. Sifat-sifat mekanik magnesium, terutama kekuatan tarik memiliki nilai yang sangat rendah. Oleh karena itu magnesium murni jarang digunakan untuk aplikasi ini. Paduan magnesium pada umumnya memiliki sifat-sifat mekanik yang lebih baik serta unsur-unsur yang banyak digunakan pada paduan dasar magnesium adalah aluminium, seng dan mangan.

Pada paduan *magnesium-aluminium-manganese with and without zinc* (AM dan AZ). Pada pengecoran menggunakan metode *sand casting* dan *permanent mold casting* paduan magnesium yang mengandung aluminium sebagai bahan paduan utama (AM100A, AZ63A, AZ81A, AZ91C, AZ91E, dan AZ92A) menunjukkan *castability*, *ductility* dan kekuatan yang baik pada temperature 120° C. Dalam salah satu paduan magnesium-aluminium-seng, peningkatan kadar aluminium dapat meningkatkan nilai kekuatan luluh tetapi mengurangi nilai



keuletannya untuk pengerjaan panas. Pada paduan *magnesium-yttrium-rare earth-zirconium* (WE). WE 54 dan WE 43 memiliki kekuatan tarik yang tinggi dan menghasilkan kekuatan, dan menunjukkan sifat yang baik di temperature 300° C dan 250° C. Pada paduan WE54, paduan ini dapat mempertahankan sifat-sifatnya pada temperature tinggi hingga 1000 jam., sedangkan WE43 dapat mempertahankan sifat-sifatnya pada temperature tinggi hingga 5000 jam.

Kedua paduan ini memiliki *castability* yang baik dan *weldability* yang baik pula, tetapi kedua paduan ini butuh perlakuan khusus untuk mengoptimalkan sifat mekaniknya. Kedua paduan ini memiliki tahan korosi yang baik dengan laju korosi yang sama dengan paduan aluminium pada umumnya. Pada dasarnya paduan ini jarang digunakan untuk banyak aplikasi, hal ini dikarenakan mahalnya unsur yttrium itu sendiri (ASM Handbook Vol 2, 2002). Mengidentifikasi paduan magnesium menggunakan standar ASTM, masing-masing paduan ditandai dengan huruf yang menunjukkan elemen paduan utama dan diikuti dengan presentase berat unsur paduan. Pada tabel 2.4 menunjukkan symbol huruf pada setiap unsur paduan

Tabel 2.4 Kode ASTM pada unsur paduan Magnesium
(K.U. Keiner, 2003)

Huruf Singkatan	Unsur Paduan	Huruf Singkatan	Unsur Paduan
A	Aluminium	N	Nikel
B	Bismut	P	Timbal
C	Tembaga	Q	Perak
D	Kalsium	R	Krom
E	Tanah Jarang	S	Silikon
F	Besi	T	Timah
H	Thorium	W	Yttrium
K	Zirconium	Y	Antimon
L	Litium	Z	Zinc
M	Mangan		



Contoh pada paduan AZ19D dimana menjelaskan unsur aluminium (A) mengandung 9% dan Zinc (Z) mengandung 1% dan juga huruf terakhir pada paduan ini menjelaskan tahap perkembangan paduan ini yaitu 4 (D). Sesuai dengan spesifikasi DIN yaitu MgAl9Zn1. Pada paduan magnesium ASTM menentukan standar komposisi (nilai berat %): Al 8.3-9.7; Zn 0.35-1.0; Si maks 0.1; Mn maks 0.15; Cu maks 0.3; Fe maks 0.005; Ni maks 0.002; unsur lainnya 0.02. Unsur yang perlu diperhatikan yaitu unsur besi, nikel dan tembaga karena dapat mengurangi ketahanan korosi (K.U. Keiner, 2003).

Cara yang bisa digunakan untuk meningkatkan kekuatan dan keuletan dari magnesium adalah dengan menambahkan unsur paduan. Peningkatan sifat mekanik ini dapat dipengaruhi secara langsung dengan meningkatkan kandungan unsur zat terlarut, ataupun secara tidak langsung misalnya dengan efek penghalusan butir dan pengembangan fasa intermetalik. Unsur paduan yang umum digunakan pada magnesium adalah zinc dan aluminium. Mangan, zirconium, silikon dan *rare earth element* juga mempunyai sifat yang baik jika dijadikan unsur paduan magnesium. Tabel 2.5 menunjukkan pengaruh beberapa unsur pada sifat paduan magnesium (V.P. Sharifi, 2012)

Tabel. 2.5 Efek unsur-unsur pada paduan magnesium
 (K.U. Keiner,2003)

Unsur	Efek
Aluminium	Penambahan unsur ini dapat meningkatkan kekerasan dan kekuatan. Hal ini juga meningkatkan kemampuan cor (system eutektik, $T_E = 437^\circ\text{C}$). Paduan lebih dari 6% berat aluminium dapat dipanaskan.
Berilium	Berilium hanya digunakan untuk leleh dengan jumlah yang kecil (<30 ppm). Tambahan unsur dapat mengurangi permukaan leleh oksidasi secara signifikan selama pengecoran, pelelehan, dan proses pengelasan. Dapat juga menghasilkan pengkasaran butir.

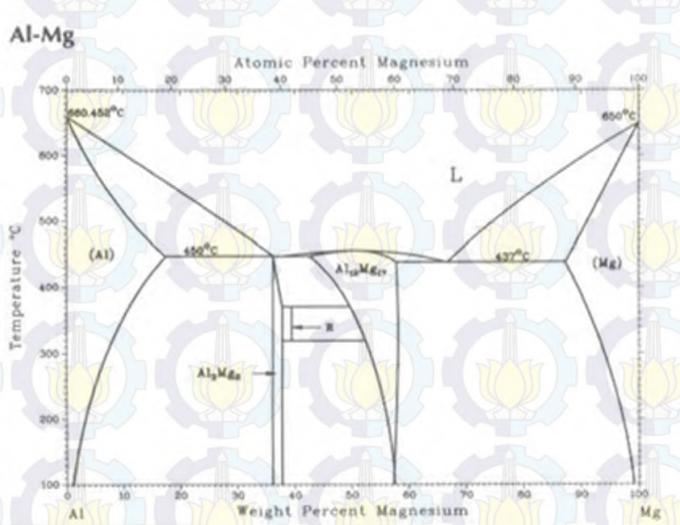


Kalsium	Kalsium memiliki efek positif pada ketahanan <i>creep</i> dan penghalusan butir (<i>grain refinement</i>). Ketika kalsium digabungkan melalui pengecoran paduan dapat mengurangi leleh oksidasi dan juga oksidasi selama proses <i>heat treatment</i> . Disisi lain, kalsium (0.3 wt%) dapat menyebabkan pelekatan pada alat selama pengecoran dan <i>hot cracking</i> .
Cerium	Tambahan cerium dapat meningkatkan <i>elongation</i> secara signifikan.
Tembaga	Dapat meningkatkan temperature kamar dan kekuatan pada temperature tinggi. Dapat mengurangi ketahanan korosi.
Litium	Secara relatife memiliki kelarutan padat yang tinggi, mengurang densitas, dan meningkatkan keuletan. Bagaimanapun, litium memiliki efek negative yang sangat kuat yaitu dapat membakar dan sifat penguapan pada saat terjadi leleh.
Mangan	Diatas 1.5 berat% mangan, meningkatkan kekuatan tarik. Unsur ini, dapat meningkatkan ketahanan korosi terutama di air garam.
Tanah Jarang	Dapat meningkatkan kekuatan temperature tinggi, ketahanan <i>creep</i> dan ketahanan korosi
Silikon	Kemampuan cor yang rendah, tetapi ketahanan <i>creep</i> dapat ditingkatkan dengan pembentukan <i>stable silazide</i> .
Perak	Unsur ini digunakan sebagai penghubung tanah jarak yang dapat meningkatkan kekuatan temperature tinggi dan ketahanan mulur.
Yttrium	Unsur ini memiliki <i>solid solubility</i> yang tinggi di magnesium. Dapat meningkatkan kekuatan temperature tinggi dan ketahanan mulur.
Zink	Unsur sebagai penghubung aluminium unutm meningkatkan kekuatan tanpa adanya pengurangan keuletan. Penambahan diata 3% Zn, penyusutan dapat di kompensasi dan kekuatan tarik meningkat.



2.5. Paduan Mg-Al

Aluminium merupakan salah satu unsur yang sering dipadukan dengan magnesium. Variasi yang sering digunakan untuk penambahan unsur aluminium pada peleburan magnesium adalah 3-9% dari massa paduaan. Pada penambahan tersebut akan menghasilkan paduan yang memiliki sifat mekanik dan ketahanan korosi yang baik. Efek negatif dari penambahan aluminium terlalu banyak adalah pembentukan fasa $Mg_{17}Al_{12}$ yang terlalu besar, yang mana dapat menurunkan kekuatan dan keuletan dari paduan tersebut (K.U. Kainer, 2003). Berikut adalah diagram fasa mg-al sebagai dasar acuan penelitian ini



Gambar 2.1 Diagram fasa Mg-Al
(ASM Metal Handbook vol.3)

Pada diagram fasa dapat dilihat batas kelarutan Aluminium pada Magnesium dimulai dari 2 % hingga 12,6 wt % Al dengan temperatur eutektik sebesar 437 °C. Hal tersebut menunjukkan dari reaksi eutektik membentuk fasa magnesium primer (α Mg)

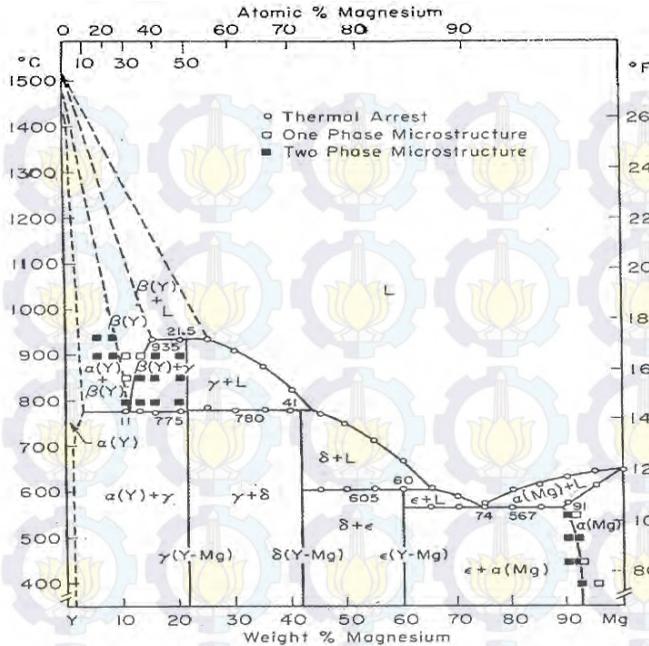


dan fasa intermetalik β ($Mg_{17}Al_{12}$). fasa - β terbentuk pada saat temperatur $437^{\circ}C$ dengan kadungan aluminium sekitar 33wt.%. Fasa - β terbentuk selama proses pendinginan pengecoran dan membentuk presipitat pada batas butir. Fasa - β intermetalik sangat getas dan mengurangi keuletan, tetapi disamping itu juga meningkatkan kekerasan pada paduan tersebut. Jumlah dari fasa - β tergantung dari laju pendinginan proses pengecoran dan jumlah aluminium yang diberikan (A.K. Dahle (2001))

2.6. Pengaruh penambahan Yttrium pada paduan Magnesium

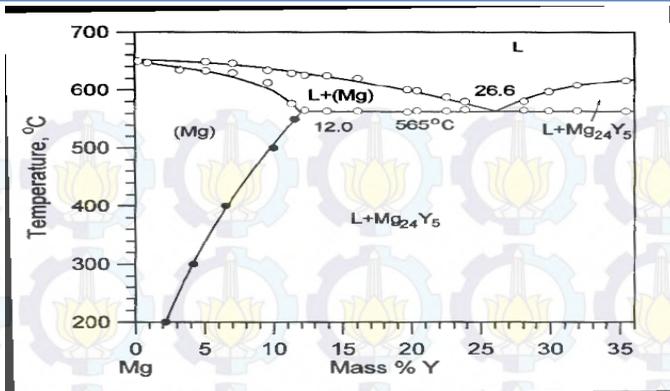
Paduan logam dengan penambahan elemen Yttrium menunjukkan adanya penambahan kekuatan yang sangat tinggi pada saat berada di temperatur kamar ($27^{\circ}C$). Pada paduan Mg penambahan elemen yttrium juga dapat menambahkan kekuatan yang sangat tinggi dibandingkan elemen lainnya seperti cerium, lanthanum, praseodymium, thorium, dan neodymium (LL Rokhlin, 2003). Dengan penambahan yttrium pada paduan Mg dapat meningkatkan *Ignition resistance* secara signifikan (Ravi Kumar, 2009).

Pada diagram fasa Mg-Y menunjukkan kelarutan yttrium berkurang seiring bertambahnya temperatur. Menurut Gibson dan Carlson maksimal batas kelarutan Y pada Mg sekitar 9 wt% Y pada temperatur eutektik sebesar $567^{\circ}C$. Seiring banyaknya komposisi yttrium dalam Mg (26,6%) maka kelarutan yttrium pada Mg akan menurun seiring dengan menurunnya temperatur $565^{\circ}C$.



Gambar 2.2 Diagram fasa Mg-Y, kelarutan maximum pada 567 °C (E. D Gibson, 1990)

Reaksi peritektik yang terjadi pada 60 wt% Mg, 41 wt% Mg dan 21,5wt% terbentuk 3 senyawa yaitu $Mg_{24}Y_5$, Mg_2Y , dan MgY .



Gambar 2.3 Diagram fasa Mg-Y, batas kelarutan Y pada Mg (K.U. Kainer, 2003)

Alloy (Wt %)	Compression Test (Mpa)	Hardness (HV5)
AZ91D		54
Mg-2Y	51	68
Mg-4Y	72	75
Mg-6Y	109	90

Tabel 2.6 Efek penambahan yttrium terhadap sifat mekanik pada paduan AZ91D (M. Socjusz Podosek, 2003)

2.7. Aplikasi Paduan Magnesium pada bidang otomotif

Paduan magnesium merupakan paduan yang dapat digunakan dalam berbagai aplikasi. Adapun contoh dari penggunaan paduan magnesium terdapat seperti pada material otomotif, pesawat terbang, olahraga, bidang kesehatan dan industri elektronik.



Paduan magnesium biasa digunakan dalam bidang otomotif sebagai material untuk *interior, body, chasis, dan power train*. Berikut ini merupakan aplikasi magnesium dalam hal industri otomotif.

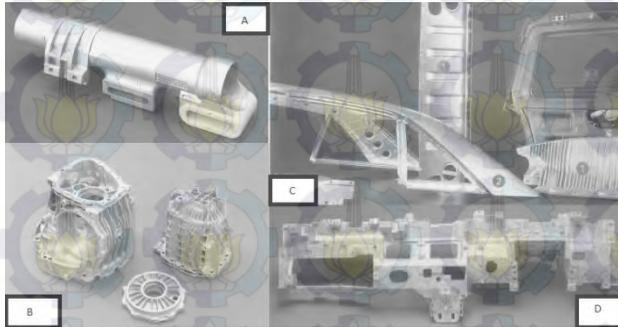
System	Component	North America	Europe	Asia
Interior	Instrument panel	Yes	Yes	Yes
	Knee bolster retainer	Yes		
	Seat frame	Yes	Yes	Yes
	Seat riser	Yes	Yes	Yes
	Seat pan	Yes	Yes	
	Console bracket	Yes		
	Airbag housing	Yes		
	Center console cover		Yes	
	Steering wheel	Yes	Yes	Yes
	Keylock housing	Yes		
	Steering column parts	Yes	Yes	Yes
	Radio housing	Yes		
	Glove box door	Yes		
	Window motor housing	Yes	Yes	
Body	Door frame		Yes	
	Liftgate	Yes	Yes	
	Roof frame	Yes	Yes	
	Sunroof panel	Yes	Yes	
	Mirror bracket	Yes	Yes	
	Fuel filler lid		Yes	
	Door handle		Yes	Yes
	Spare tire carrier	Yes		
Chassis	Wheel (racing)	Yes	Yes	Yes
	ABS mounting bracket	Yes		
	Brake pedal bracket	Yes		Yes
	Brake/accelerator bracket	Yes		
	Brake/clutch bracket	Yes		
Powertrain	Brake pedal arm	Yes		
	Engine block		Yes	
	Valve cover/cam cover	Yes	Yes	Yes
	4WD transfer case	Yes		
	Transmission case		Yes	Yes
	Clutch housing and piston	Yes		
	Intake manifold	Yes	Yes	
	Engine oil pan		Yes	Yes
	Alternator/AC bracket	Yes		
Transmission stator	Yes			
Oil filter adapter	Yes		Yes	
Electric motor housing	Yes			

Tabel 2.7 Aplikasi Paduan Magnesium Pada *Automobiles*

Tabel diatas menunjukkan bahwa paduan magnesium dapat digunakan dalam berbagai macam aplikasi otomotif. Pada *power train*, magnesium dapat digunakan sebagai material *engine block, valve, transmission case* dan lain-lain. Awalnya aplikasi *power train* terbuat dari material paduan aluminium, namun saat ini paduan magnesium telah digunakan berbagai produsen untuk material pengganti paduan aluminium tersebut.



Produsen otomotif telah menggunakan paduan magnesium sebagai material *power train*. Pada produsen mobil VW dan Audi, paduan magnesium telah diproduksi dalam kapasitas tinggi untuk *transmission case* di bagian Eropa dan Asia. Selama ini magnesium hanya dioperasikan pada temperatur dibawah 120°C , tetapi pada aplikasi magnesium yang memerlukan tahan temperatur tinggi misalkan pada *engine block*, paduan magnesium harus memiliki *creep resistance* yang baik. Honda insight menggunakan paduan baru yaitu ACM522 (Mg - Al 5% - 2 % Ca - 2 % RE). Keputusan yang diambil Honda untuk membuatnya dengan menggunakan paduan magnesium karena paduan magnesium tersebut mampu menghemat beban 35% lebih ringan daripada aluminium (Arslan Kaya, 2013)



Gambar 2.4. Komponen paduan magnesium :
(a) *steering column holder and bracket* –pada mobil Audi (AZ91D) , (b) *gearbox housing* pada mobil VW (AZ91D)
(c) *fuel tank covering* (AM60B) (d) *dashboard* pada mobil Cadillac (AM50) (K.U. Kainer, 2003)

2.8. Spesifikasi Engine Block

Spesifikasi engine block ini sengaja dilampirkan sebagai perbandingan terhadap paduan yang akan dibuat pada penelitian ini. Berikut adalah paduan yang telah digunakan sebagai material *engine block* yang dimiliki oleh General Motor yaitu sebagai berikut :



Tabel 2.8 Paduan Aplikasi *Engine Block* (American Foundry Society 2004)

Properties \ Paduan	A319-T5	A356-T6
Komposisi	6Si-3.5Cu-1Fe-1Mg	7Si-0.3Mg-0.2Fe-0.1Mg
Kekerasan (HB)	80	80
Koefisien Ekspansi Termal	-	$T_{20-100}^{\circ C} = 20.5$
	$T_{20-200}^{\circ C} = 21.4$	$T_{20-200}^{\circ C} = 21.5$

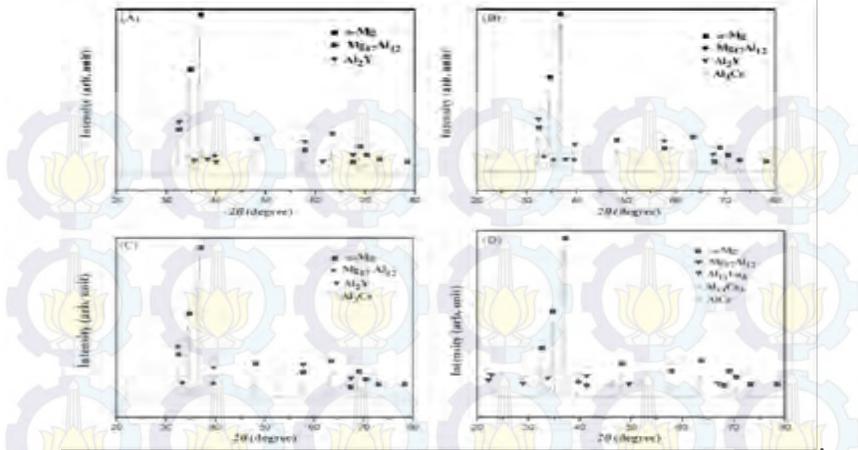
2.9. Kajian Penelitian Sebelumnya

Adapun penelitian yang pernah dilakukan mengenai pengaruh penambahan Yttrium pada paduan Mg-Al. X.Tian,dkk (2007) melaporkan struktur mikro dan sifat mekanik pada paduan Mg-3RE dengan unsur tanah jarang Yttrium dan Cerium. Paduan material yang diuji sebagai berikut :

- Mg-3Al-3Y
- Mg-3Al-2Y-1Ce
- Mg-3Al-1Y-2CE
- Mg-3Al-3CE

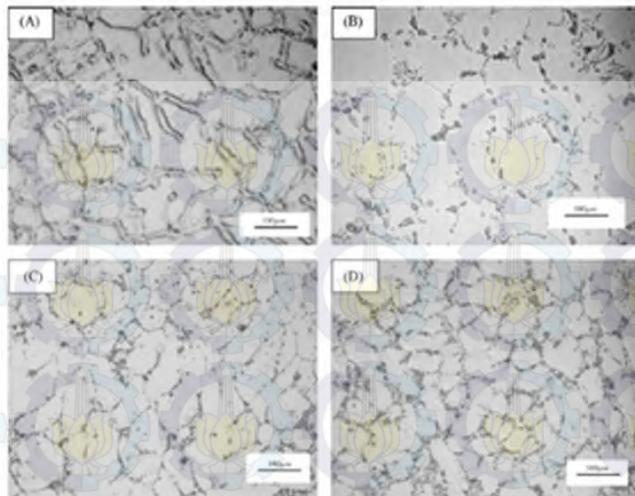
Setiap sample dileburkan dengan menggunakan tungku listrik sebagai alat pemanas. Dilakukan Homogenisasi pada temperature 750 °C dengan ditahan selama 20 menit.

Pada penelitian dilakukan pengujian karakterisasi dengan menggunakan metode uji metalografi dengan larutan etsa 4% HNO₃, *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk melihat fasa-fasa pada setiap material, metode kekerasan yang dilakukan dengan menggunakan FM-100 Vickers microhardness dengan beban 25g selama 15 detik dan *Scanning Electron Microscope* (SEM).



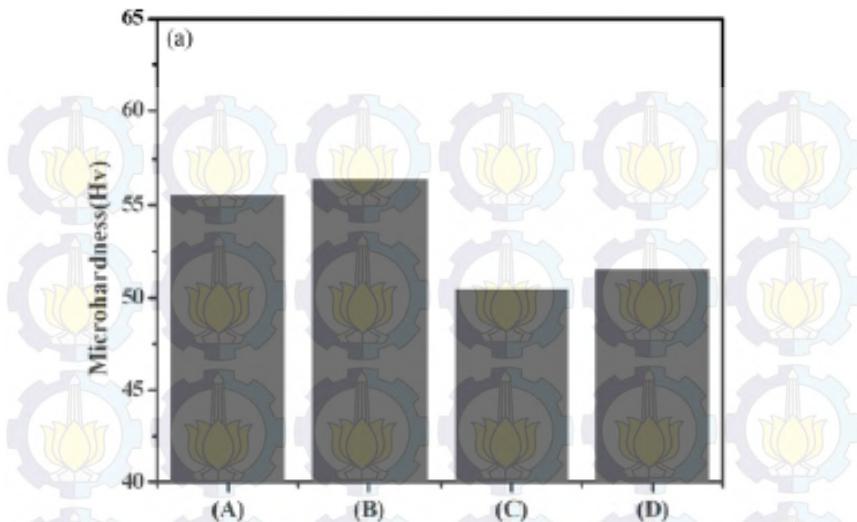
Gambar 2.5. Grafik XRD pada paduan (A) Mg-3Al-3Y, (B) Mg-3Al-2Y-1Ce, (C) Mg-3Al-1Y-2Ce, (D) Mg-3Al-3Ce.

Pengujian *X-Ray Diffraction* (XRD) yang memperlihatkan fasa yang terbentuk pada material uji. Ditemukan fasa α -Mg, β -Mg₁₇Al₁₂ dan senyawa Al-RE dimasing-masing paduan material tersebut.



Gambar 2.6 Struktur mikro (A) Mg-3Al-3Y, (B) Mg-3Al-2Y-1Ce, (C) Mg-3Al-1Y-2Ce, (D) Mg-3Al-3Ce

Pada gambar 2.6 (A) menurut X.Tian (2007) terdapat tiga fasa pada struktur mikro Mg-3Al-3Y yaitu α -Mg, $Mg_{17}Al_{12}$ dan fasa Al_2Y . Kedua fasa ($Mg_{17}Al_{12}$ dan Al_2Y) berada dibatas butir. Kedua fasa ini memiliki bentuk yang berbeda Al_2Y berbentuk polygon dan spherical dan $Mg_{17}Al_{12}$ cabang-cabang yang terdapat di batas butir. Pembentukan fasa Al_2Y berkontribusi untuk penghalusan batas butir.



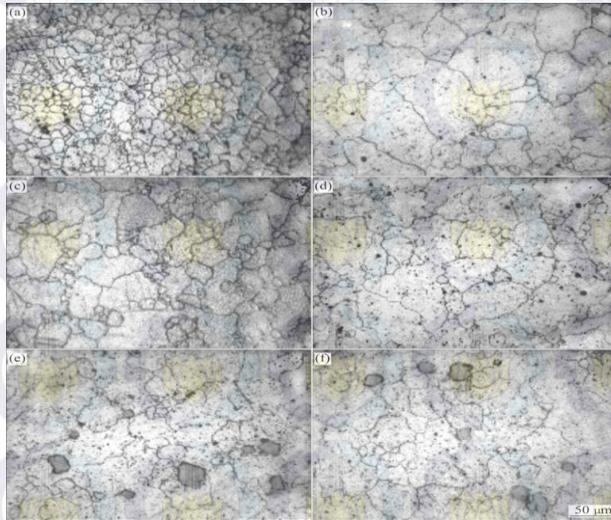
Gambar 2.7. Uji Kekerasan (A) Mg-3Al-3Y, (B) Mg-3Al-2Y-1Ce (C) Mg-3Al-1Y-2Ce, (D) Mg-3Al-3Ce

Gambar 2.7 menampilkan nilai kekerasan pada empat paduan sample. Pada paduan Mg-3Al-2Y-1Ce memiliki kekerasan 56 Hv. Hasil tersebut menjelaskan kekerasan tertinggi dari ke-empat paduan.. Dengan penambahan Cerrium dan Yttrium mengakibatkan pengurangan ukuran batas butir dari paduan Mg-Al, komposisi fasa α -Mg bertambah dan fasa $Mg_{17}Al_{12}$ berkurang. Dapat disimpulkan dari penelitian ini dengan penambahan akan meningkatkan kekerasan dari paduan Mg-Al.

Penelitian yang dilakukan oleh PAN Fu-sheng,dkk (2008) pada penelitiannya yang menyebutkan pengaruh penambahan Yttrium terhadap strukturmikro dan sifat mekanik pada paduan AZ31 dengan *hot extruded*. Dilakukan penambahan variasi Yttrium yaitu (x: 0.5, 0.99, 1.48, 1.96 dan 2.16)%wt. Penelitian ini menggunakan *semi-continuous caster*. Pada peleburan dilakukan proteksi oksidasi dengan menggunakan SF_6 . Sebelum dilakukan ekstruksi dilakukan peleburan ingot hingga temperatur 420 °C selama 15 jam dan ingot dipanaskan lagi pada temperatur

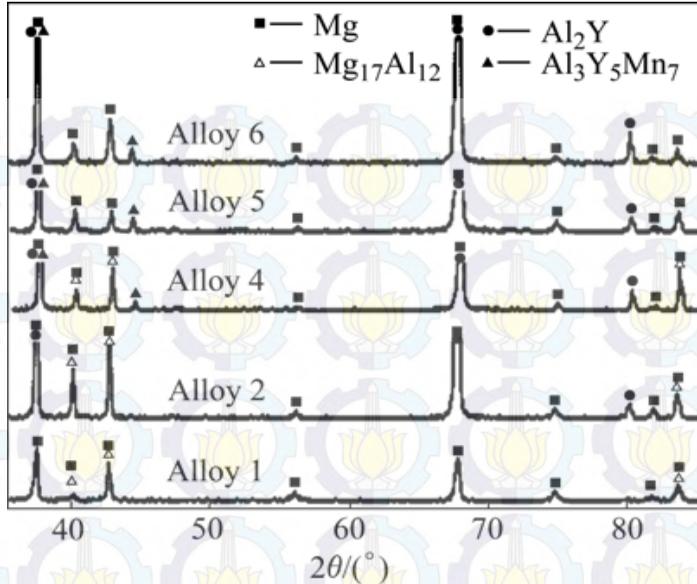


400 °C selama 1.5 jam. Pengaruh penambahan Yttrium pada struktur mikro yaitu terjadi pengkasaran butir dan terutama pada fasa β -Mg₁₇Al₁₂. Dimana dapat disimpulkan ukuran butir pada sample mengalami peningkatan. Berikut adalah hasil uji struktur mikro dari penelitian ini,



Gambar 2.8 Struktur mikro Mikro pada Paduan (A) AZ31 ,
(B) AZ31+ 0.05Y, (C) AZ31+ 0.09Y, (D) AZ31+1.48Y ,
(E) AZ31+ 1.96Y , (F) AZ31+ 2.16Y

Hasil dari pengujian XRD menjelaskan bahwa pada penambahan unsur Yttrium terhadap paduan AZ31 terbentuk perbedaan jumlah fasa. Pada saat penambahan 0.05 dan 0.09 % wt Yttrium yang terbentuk adalah α -Mg, β -Mg₁₇Al₁₂, dan Al₂Y namun pada penambahan 1.5, 2, 3 % wt Yttrium, terbentuk 4 fasa yaitu α -Mg, β -Mg₁₇Al₁₂, Al₂Y, dan Al₃Y₅Mn₇.



Gambar 2.9 Grafik XRD pada paduan (A) AZ31 ,
(B) AZ31+ 0.5Y,
(C) AZ31+ 0.99Y, (D) AZ31+1.48Y , (E) AZ31+
1.96Y , (F) AZ31+ 2.16Y

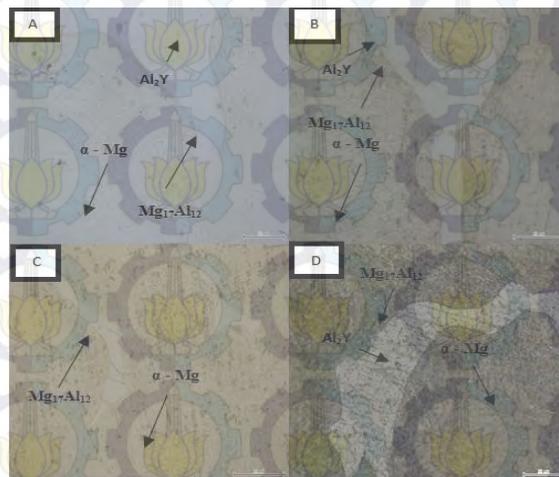
Penelitian ini menjelaskan pengaruh penambahan Yttrium pada sifat mekanik, terjadi sedikit peningkatan pada *tensile strength*, pada *yield strength* mengalami penambahan namun terjadi penurunan pada *elongation*.

Pada penelitian yang dilakukan oleh FANG XI-ya,dkk (2005) dalam penelitiannya yang menyebutkan pengaruh penambahan Yttrium pada strukturmikro dan sifat mekanik panduan magnesium AZ61 dengan metode *hot rolled*. Dilakukan variasi penambahan Yttrium (x: 0.5,0.9, 1.4)%wt. Pada pengujian struktur mikro bahwa dengan penambahan Yttrium menyebabkan α -Mg dan $Mg_{17}Al_{12}$ menjadi lebih halus dan batas butir menjadi lebih kecil. Pada penambahan 0,5% atau 0,9 %wt Y *tensile strenght* dan *elongation* dari AZ61 meningkat, namun pada penambahan 1,4%wt *tensile properties I* menurun hal



tersebut disebabkan fasa Al_2Y rusak dan menyebabkan *tensile strength* menurun.

Penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh Risyad Heryudanto (2014) pada penelitiannya yang menjelaskan pengaruh Yttrium pada paduan Mg-5Al terhadap strukturmikro, sifat mekanik dan stabilitas thermal. Dilakukan dengan variasi penambahan Yttrium ($x:0.5, 1, 1.5, \text{ dan } 3\%$ wt. Material awal dari penelitian ini adalah paduan material Mg-Al yang dibuat dengan cara *conventional melting* yang dipanaskan pada temperature $720^\circ C$ dengan penahanan selama 50 menit. Lalu paduan material Mg-Al dilakukan penambahan unsur tanah jarang yaitu Yttrium (Y) dengan variasi penambahan sebesar (0.5, 1, 1.5, dan 3)%wt dengan proses peleburan serupa. Pada pengujian ini dilakukan uji karakterisi yaitu uji struktur mikro, uji komposisi fasa, uji kekekerasan, dan uji ekspansi termal.



Gambar 2.10 Strukturmikro (A) Mg-5Al-0,5Y, (B) Mg-5Al-1Y, (C) Mg-5Al-1,5Y, (D) Mg-5Al-3Y

Dengan gambar 2.8 uji struktur mikro menjelaskan dengan penambahan Yttrium fasa yang terbentuk adalah α -Mg, $Mg_{17}Al_{12}$ dan senyawa Al_2Y . Semakin banyak penambahan

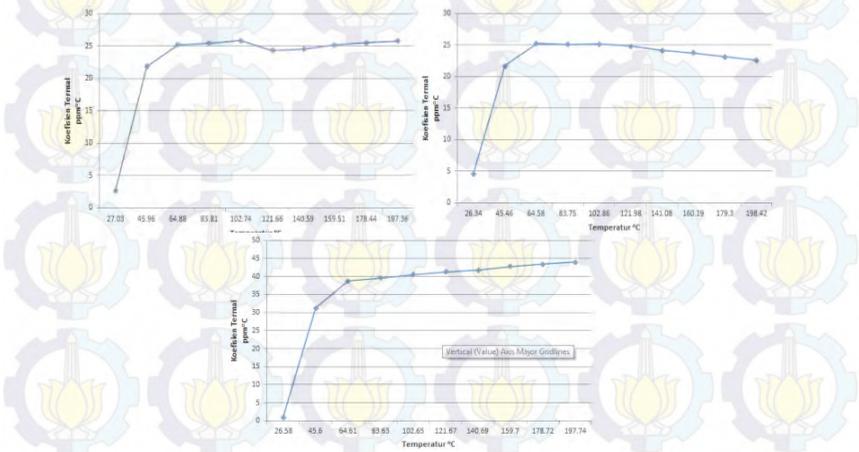


Yttrium semakin banyak juga fasa Al_2Y dan mereduksi keberadaan $Mg_{17}Al_{12}$.



Gambar 2.11 Grafik nilai kekerasan pada paduan Mg-Al dengan penambahan unsur Yttrium (0.5;1;1.5;3)

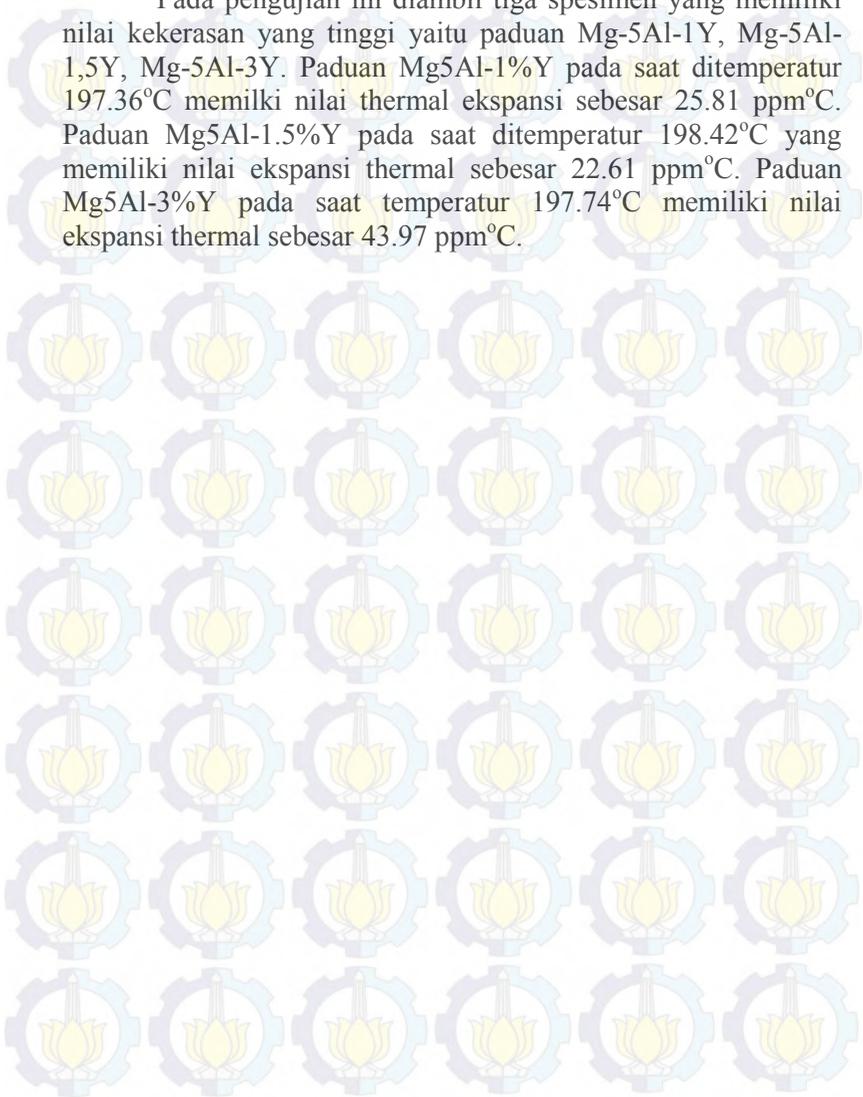
Pada grafik diatas dijelaskan dengan penambahan Yttrium nilai kekeasan paduan Mg-Al semakin menikat. Dilihat pada penambahan Yttrium 3%wt memiliki kekerasan tertinggi yaitu 67,2 Hb.





Gambar 2.12 Grafik nilai TMA paduan Mg-5Al-1Y, Mg-5Al-1,5Y, Mg-5Al-3Y

Pada pengujian ini diambil tiga spesimen yang memiliki nilai kekerasan yang tinggi yaitu paduan Mg-5Al-1Y, Mg-5Al-1,5Y, Mg-5Al-3Y. Paduan Mg5Al-1%Y pada saat ditemperatur 197.36°C memiliki nilai thermal ekspansi sebesar 25.81 ppm°C. Paduan Mg5Al-1.5%Y pada saat ditemperatur 198.42°C yang memiliki nilai ekspansi thermal sebesar 22.61 ppm°C. Paduan Mg5Al-3%Y pada saat temperatur 197.74°C memiliki nilai ekspansi thermal sebesar 43.97 ppm°C.

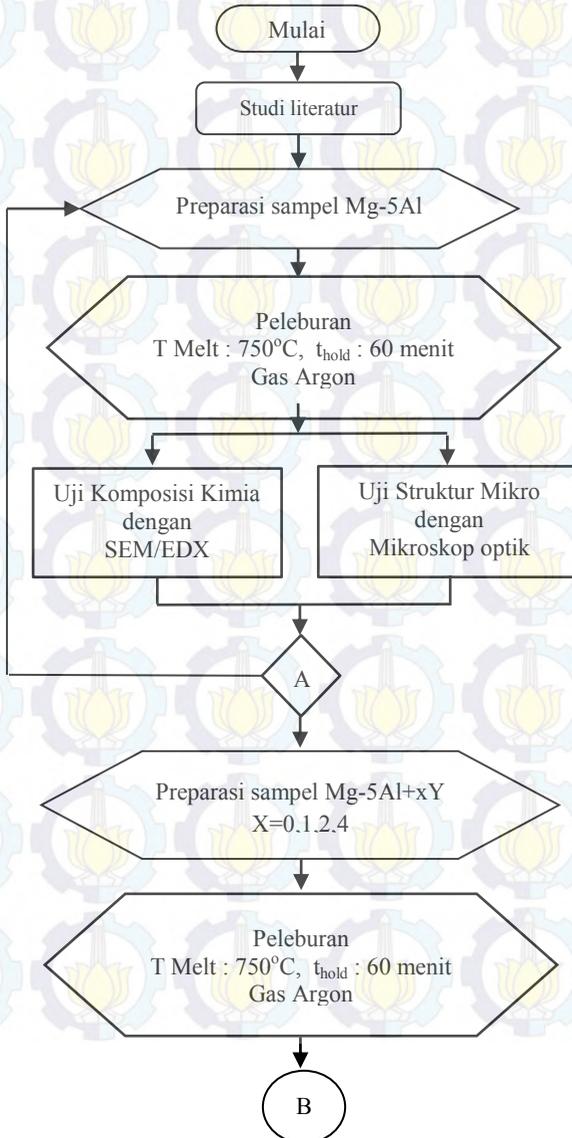


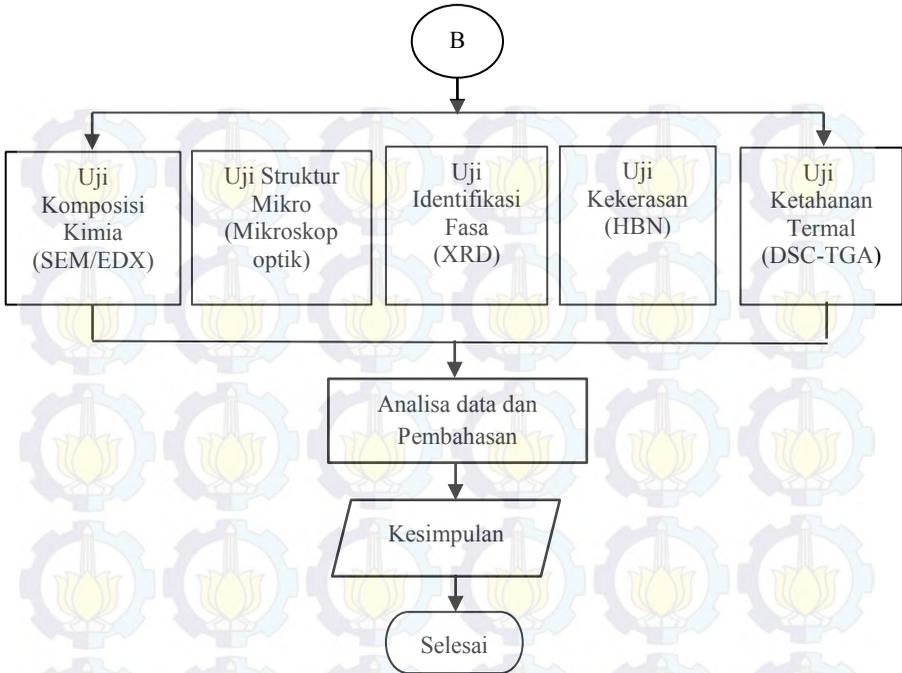


BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian





Gambar 3.1 Flow chart Metodologi Penelitian

3.2 Rancangan Penelitian

Peleburan		Pengujian					
Temp Peleburan (°C)	Waktu Holding (menit)	Komposisi Y	Struktur Mikro	SEM-EDX	XRD	Kekerasan	DSC-TGA
750	60	1	V	V	V	V	V
		2	V	V	V	V	V
		3	V	V	V	V	V
		4	V	V	V	V	V

Tabel 3.1 Rancangan penelitian



3.3 Komposisi Massa Sampel

Tabel 3.2 Komposisi massa paduan Mg-5Al-xY (x = 0, 1, 2, 4)

Raw Material	Berat (gr)	Wt % Y	
		%	gr
Mg-5Al	40	0	0
	39,6	1	0,4
	39,2	2	0,8
	38,4	4	1,6

3.4 Bahan dan Peralatan Penelitian

3.4.1 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Magnesium

Pada penelitian ini magnesium yang akan digunakan adalah magnesium yang berupa bongkahan dengan kadar magnesium 93%



Gambar 3.2 Magnesium



2. Aluminium

Pada penelitian ini aluminium yang akan digunakan adalah aluminium yang berbentuk serbuk dengan kadar 90%



Gambar 3.3 Serbuk Aluminium

3. Yttrium

Pada penelitian ini yttrium yang digunakan adalah yttrium yang berbentuk serbuk



Gambar 3.4 Serbuk Yttrium



3.4.2 Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Gergaji Tangan

Gambar 3.5 menunjukkan gergaji yang digunakan untuk memotong material magnesium dan hasil peleburan material paduan



Gambar 3.5 Gergaji Tangan

2. Neraca digital

Gambar 3.6 menunjukkan timbangan digital yang digunakan untuk mengukur massa dari material serbuk alumunium dan yttrium



Gambar 3.6 Neraca digital



3. Cawan Stainless Steel

Gambar 3.7 menunjukkan cawan stainless yang digunakan sebagai wadah material untuk proses peleburan.



Gambar 3.7 Cawan Stainless Steel

4. Mesin Furnace

Gambar 3.8 menunjukan mesin furnace yang telah dimodifikasi agar dapat dialiri gas argon.



Gambar 3.8 Mesin Furnace



5. Alat Kikir

Gambar 3.9 menunjukkan alat kikir untuk meratakan material sampel hasil peleburan



Gambar 3.9 Kikir

6. Kertas amplas



Gambar 3.10 Kertas Amplas

7. Mesin Grinding dan Polishing



Gambar 3.11 Mesin Grinding Polishing



8. Mesin Pengujian Metalografi



Gambar 3.12 Mikroskop Optik

9. Mesin Pengujian Kekerasan

Gambar 3.13 menunjukkan alat pada pengujian hardness dengan metode brinell. Digunakan untuk mengetahui nilai kekerasan pada sampel.



Gambar 3.13 Mesin Pengujian Hardness



10. Mesin Pengujian SEM-EDX

Gambar 3.14 menunjukkan alat pengujian SEM-EDX. Digunakan untuk mengetahui komposisi fasa pada material sampel.



Gambar 3.14 Mesin pengujian SEM-EDX

11. Mesin Pengujian XRD

Gambar 3.15 menunjukkan mesin pengujian XRD yang digunakan untuk mengetahui fasa dan senyawa yang terbentuk pada material sampel.



Gambar 3.15 Mesin pengujian XRD



12. Mesin Pengujian DSC-TGA

Gambar 3.16 menunjukkan mesin pengujian DSC-TGA yang digunakan untuk mengetahui nilai ketahanan termal pada material sampel.



Gambar 3.16 Mesin Pengujian DSC-TGA

3.4.3 Variabel Penelitian

Variabel penelitian ini adalah penambahan Yttrium (Y) dengan kadar 1%, 2%, dan 4% terhadap Mg5Al.

3.5 Pelaksanaan Penelitian

3.5.1 Persiapan Bahan

Bahan yang akan digunakan pada penelitian ini adalah Magnesium (Mg) yang kemudian ditambahkan unsur paduan Aluminium (Al) dengan kadar 5% dan Yttrium dengan kadar (1, 2, 4) %. Adapun langkah-langkah penelitian sebagai berikut:

1. Ketiga bahan disiapkan.



2. Menimbang Magnesium, Aluminium komposisi Mg 95% + Al 5%
3. Megalirkan gas argon kedalam furnace untuk menekan keluar gas oksigen yang ada didalam furnace.
4. Memasukkan cawan keramik yang sudah di isi dengan Mg + 5 Wt% Al ke dalam furnace dan memanaskan hingga temperature 750° C dan menahan temperatur tersebut selama 60 menit.
5. Mendinginkan paduan yang masih cair hingga temperature kamar.
6. Megeluarkan hasil coran dari dalam furnace.
7. Mengeluarkan hasil coran dari cawan.
8. Menimbang Magnesium, Aluminium, dan Yttrium dengan varisasi kadar (1, 2, 4) %.
9. Mencairkan paduan Mg-5Al yang sudah terbentuk dengan setiap %Y (1, 2 , 4) % sampai temperatur 750°C diholding selama 60 menit.

3.5.2 Proses pengujian

3.5.2.1 Pengujian Komposisi Fasa

Pada penelitian ini pengujian *Scanning Electron Microscope* (SEM) bertujuan antara lain untuk mengetahui morfologi, deformasi, *grain growth*, dan *crystal growth*. Selain itu apabila ditambahkan dengan detektor *backscattered*, SEM berfungsi untuk: (1) mengamati grain boundaries pada sampel tanpa etsa, (2) pengamatan daerah domain pada material *ferromagnetic*, (3) evaluasi orientasi kristalografi grain dengan diameter 2-10 μm , (4) pengamatan fasa lain akibat adanya perbedaan grain. Metode yang digunakan adalah SEM-EDX. Pengujian EDX dilakukan pada titik/spot yang



diinginkan, dalam hal ini adalah pada intermetalik, dan matriks logam magnesium. Ada beberapa bagian dari pengujian SEM EDX ini yaitu Topografi, guna menganalisa permukaan dan tekstur (kekerasan, reflektivitas dsb). Selanjutnya morfologi, guna menganalisa bentuk dan ukuran dari benda sampel. Setelah itu komposisi, guna menganalisa komposisi dari permukaan benda secara kuantitatif dan kualitatif.

Langkah-langkah pengujian ini adalah sebagai berikut :

1. Menyiapkan spesimen yang akan dilakukan pengujian SEM.
2. Membersihkan permukaan spesimen dengan blower agar tidak ada kotoran yang menempel.
3. Meletakkan spesimen pada holder dengan memberi perekat carbon tape.
4. Memasukkan spesimen yang telah diletakan dalam holder kedalam mesin uji SEM. Selanjutnya hasil bisa diamati menggunakan komputer.
5. Melakukan dengan sampel lain.

3.5.2.2 Pengujian Strukturmikro

Pengujian metalografi bertujuan untuk menyelidiki struktur logam dengan menggunakan mikroskop optik dan mikroskop elektron. Struktur atau gambar logam yang terlihat melalui pengamatan dengan mikroskop disebut mikrostruktur. Pengamatan Metalografi didasarkan pada perbedaan intensitas sinar pantul permukaan logam yang masuk kedalam mikroskop sehingga terjadi gambar yang berbeda (gelap, agak terang, terang). Struktur mikro yang berbeda akan dilarutkan dengan kecepatan yang berbeda sehingga meninggalkan bekas permukaan dengan orientasi sudut yang berbeda pula. Dengan demikian apabila seberkas sinar dikenakan pada permukaan logam yang telah di test



maka sinar tersebut akan dipantulkan sesuai dengan orientasi sudut permukaan bidang yang terkena.

Pada penelitian ini perbesaran yang digunakan yaitu 100-1000 kali. Etsa yang digunakan pada penelitian ini adalah 0.7 mL H_3PO_4 , 4 gr picric acid 100 mL ethanol (95 %) atau methanol (95 %) sesuai dengan standard magnesium pada ASTM E-407.

Langkah-langkah pengujian ini adalah sebagai berikut :

1. Menyiapkan spesimen yang akan dilakukan pengujian.
2. Melakukan cutting pada spesimen sesuai dimensi yang ditentukan.
3. Melakukan grinding dengan menggunakan kertas gosok dari grade 200-2000
4. Melakukan polishing dengan menggunakan alat polishing
5. Melakukan etsa dengan menggunakan larutan etsa .7 mL H_3PO_4 , 4 gr picric acid 100 mL ethanol (95 %) atau methanol (95 %)
6. Mengamati struktur mikro dengan menggunakan alat mikroskop optik pada perbeseran 100-1000 kali

3.5.2.3 Pengujian Identifikasi Fasa

Analisa difraksi sinar X dilakukan dengan tujuan untuk mengidentifikasi transformasi fasa yang terbentuk pada paduan Mg-5Al-xY yang telah mengalami proses peleburan. Prinsip kerja pada pengujian XRD yaitu adalah ketika suatu material dikenai sinar X, maka intensitas sinar yang ditransmisikan lebih rendah dari intensitas sinar datang. Hal ini disebabkan adanya penyerapan oleh material dan juga penghamburan oleh atom-atom dalam material tersebut. Berkas sinar X yang dihamburkan tersebut ada yang saling menghilangkan



karena fasanya berbeda dan ada juga yang saling menguatkan karena fasanya sama. Berkas sinar X yang saling menguatkan itulah yang disebut sebagai berkas difraksi. Pengujian ini dilakukan pada semua benda uji.

Langkah – langkah pengujian ini adalah sebagai berikut :

1. Menyiapkan spesimen yang akan dilakukan pengujian XRD.
2. Sampel diletakkan pada holder, agar penembakan dengan XRD sesuai dengan yang diinginkan, maka pengaturan spesimen harus merata pada holder.
3. Holder diletakkan ke dalam mesin XRD
4. Data akan tampil pada layar computer
5. Melakukan pengulangan pengujian pada sampel lain.

3.5.2.4 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan (hardness) dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui nilai kekerasan dari suatu material akibat adanya pembebanan. Pada penelitian ini metode yang akan digunakan adalah metode brinell. Metode brinell pembebanannya menggunakan indenter bola baja yang ditekan pada permukaan sampel uji. Dalam penelitian ini indenter yang digunakan berukuran 2,5 mm dengan pembebanan 62,5 kg yang sesuai dengan ASTM E-10 untuk material non ferrous.

Langkah –langkah pengujian kekerasan adalah sebagai berikut :

1. Menyiapkan spesimen yang akan dilakukan pengujian.
2. Sampel diletakan pada meja preparat.
3. Menyiapkan identer brinell.
4. Menentukan beban dan waktu identasi.
5. Melakukan indentasi sebanyak 8 kali pada setiap spesimen yang akan di uji.



6. Melakukan pengulangan pada sampel lain.

3.4.2.6 Pengujian Ketahanan Termal

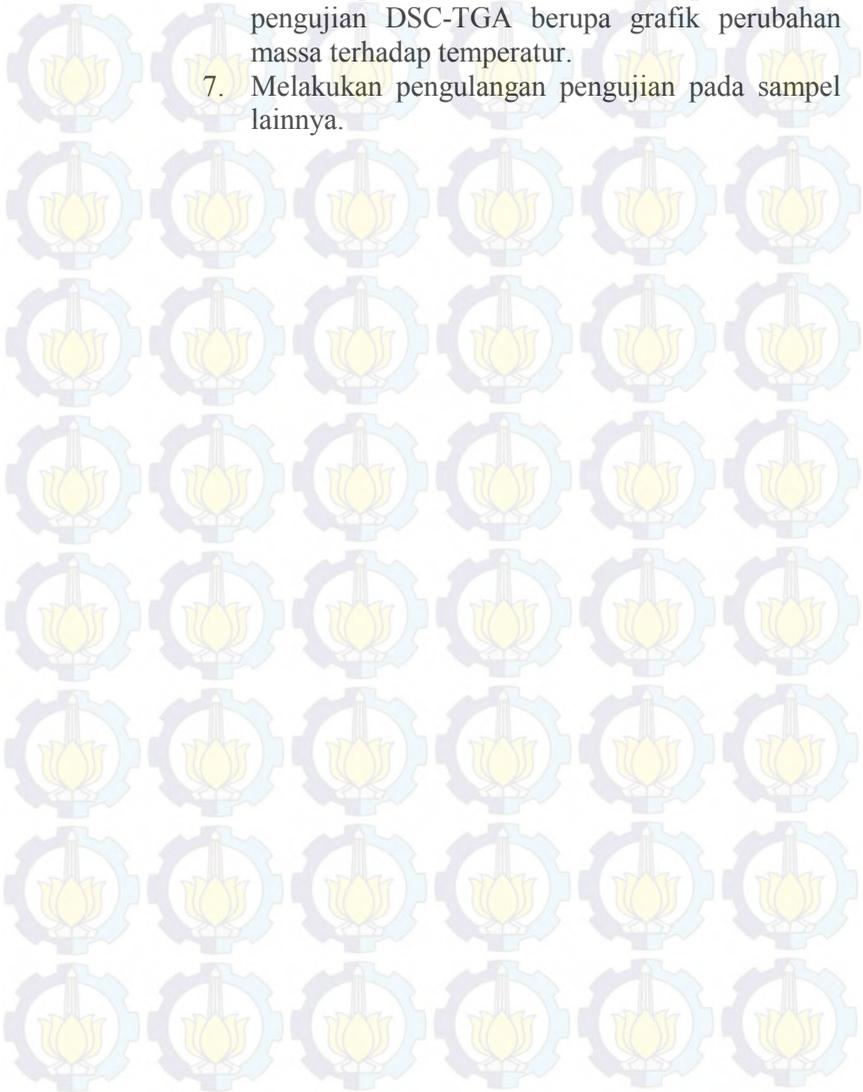
Pengujian DSC-TGA adalah suatu teknik analisa termal yang bertujuan untuk mengukur perubahan masa dari suatu senyawa sebagai fungsi dari waktu dan temperatur. Ketika transisi termal terjadi pada sampel. DSC memberikan pengukuran kalorimetri dari energi transisi dari temperatur tertentu. DSC merupakan suatu teknik analisa yang digunakan untuk mengukur energi yang diperlukan untuk membuat perbedaan temperatur antara sampel dan pembanding mendekati nol, yang dianalisa pada daerah temperatur yang sama, dalam lingkungan panas atau dingin dengan kecepatan yang teratur. Pada prinsipnya TGA mengukur berkurangnya massa material ketika dipanaskan dari temperatur kamar sampai temperatur tinggi. Alat TGA dilengkapi dengan timbangan mikro didalamnya sehingga secara otomatis berat sampel setiap saat bisa terekam dan disajikan dalam tampilan grafik. Pada pemanasan yang kontinyu dari temperatur kamar, maka pada temperatur tertentu material akan kehilangan cukup signifikan dari massanya. Kehilangan massa pada temperatur tertentu dapat mengindikasikan kandungan dari bahan uji, meski tidak bisa secara spesifik merujuk pada suatu senyawa tertentu seperti yang misalnya ditunjukkan oleh puncak – puncak dari histogram FTIR ataupun XRD.

Langkah-langkah pengujian ini adalah sebagai berikut :

1. Menyiapkan spesimen yang akan dilakukan pengujian DSC-TGA.
2. Mengatur kenaikan temperatur pada alat DSC-TGA sesuai yang diinginkan.
3. Meletakkan specimen pada *crucible*.
4. Mengoperasikan alat DSC-TGA.



5. Mendinginkan spesimen pada temperatur kamar (27°C).
6. Setelah proses selesai maka didapatkan data pengujian DSC-TGA berupa grafik perubahan massa terhadap temperatur.
7. Melakukan pengulangan pengujian pada sampel lainnya.



BAB IV

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Data

Paduan awal pada penelitian ini adalah Mg-5Al yang dibuat dengan proses peleburan didalam furnace yang dengan pemanasan hingga temperatur 750°C dengan waktu penahanan selama 60 menit. Selama proses peleburan, furnace dialiri oleh gas argon hingga temperatur pendinginan 200°C agar atmosfer dalam furnace menjadi inert. Bahan yang digunakan dalam pengecoran ini adalah magnesium berbentuk padatan (*bulk*), aluminium serbuk. Setelah terbentuk paduan Mg-5Al dilakukan pengujian identifikasi fasa, komposisi fasa, dan struktur mikro.

Setelah dilakukan pengujian pada paduan Mg-5Al dan diperoleh hasil yang diinginkan maka dilakukan penambahan yttrium dengan variasi komposisi (1,2,dan 4)%wt dengan proses peleburan serupa.

Pada tahap akhir proses peleburan dengan penambahan unsur yttrium dilakukan pengujian untuk mendapatkan informasi tentang struktur mikro, fasa yang terbentuk, komposisi fasa, ketahanan terhadap temperatur tinggi, dan nilai kekerasan paduan Mg-5Al dan dengan variasi penambahan komposisi yttrium (x:1,2,4)%wt.

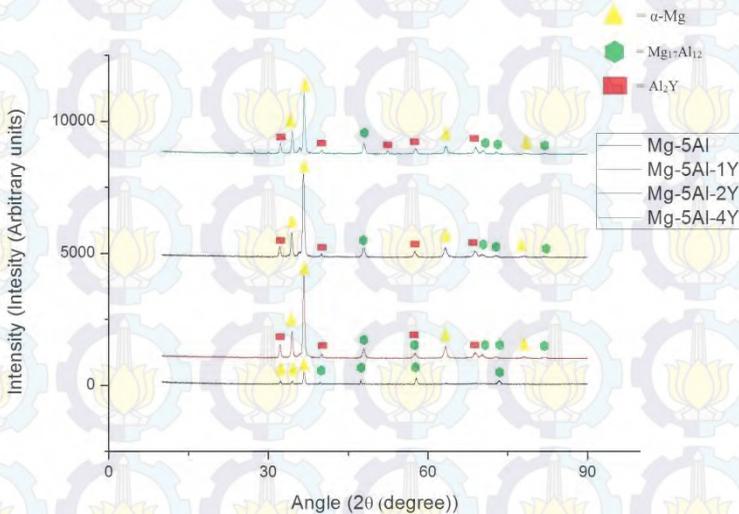
Pada penelitian ini dilakukan pengujian pada material menggunakan metode Metalografi, SEM-EDX, XRD, DSC-TGA, Hardness brinell.

4.1.1 Hasil Pengujian Identifikasi fasa (XRD)

Pengujian XRD (X-ray Diffraction) dapat dilakukan dengan memberikan sampel berukuran padatan kecil dengan ukuran $1\text{cm} \times 1\text{cm} \times 4\text{mm}$ yang dapat di sesuaikan dengan sebuah *holder* untuk melakukan pengujian dengan menggunakan



alat *PAN Analytical*. Pada pengujian ini, dilakukan identifikasi awal pada paduan Mg-5Al sebagai material dasar pada penelitian ini. Hal ini dilakukan untuk mengetahui fasa-fasa yang terbentuk pada paduan Mg-5Al. Selanjutnya dilakukan identifikasi fasa pada paduan Mg-5Al dengan penambahan unsur Yttrium (Y) sebesar 1, 2, dan 4 %wt untuk mengetahui fasa-fasa yang terbentuk pada paduan Mg-5Al setelah dilakukan penambahan Yttrium. Pengujian ini dilakukan dengan sinar X menggunakan range sudut $10^{\circ} - 90^{\circ}$ dan menggunakan panjang gelombang Cu α sebesar 1.54056 \AA . Pada pengujian ini, untuk mencari dan mencocokkan *peaks* dengan fasa-fasa yang diharapkan dengan menggunakan software yaitu *High Score Plus*.



Gambar 4.1 Hasil XRD setiap paduan

Gambar 4.1 menampilkan hasil pengujian XRD pada paduan Mg-5Al dengan penambahan Yttrium (0, 1, 2, dan 4). Setelah mendapatkan hasil berupa grafik XRD tiap paduan dilakukan pencocokan hasil pengujian menggunakan *software High Score Plus* serta pencocokan secara manual menggunakan



kartu PDF dari software PCPDFWIN maka akan didapatkan fasa-fasa yang terbentuk di setiap paduan.

Pada material paduan dasar Mg-5Al didapatkan fasa α -Mg dan $Mg_{17}Al_{12}$ Puncak dengan intensitas tertinggi ditunjukkan oleh fasa α -Mg di posisi 2θ yaitu 36,7440 sesuai dengan (JCPDF#00-0035-0821).Terbentuk fasa $Mg_{17}Al_{12}$ diposisi 2θ yaitu 57,7932 sesuai dengan (JCPDF#00-0035-2702). Pada grafik ditunjukkan bahwa fasa α -Mg lebih banyak muncul dibandingkan dengan fasa $Mg_{17}Al_{12}$.

Identifikasi pada paduan Mg-5Al-1Y terbentuk fasa α -Mg dan $Mg_{17}Al_{12}$ dan fasa baru yaitu Al_2Y . Intensitas tertinggi ditunjukkan oleh fasa α -Mg terletak di posisi 2θ yaitu 36,6128. Dengan penambahan yttrium 1%wt masih terbentuk fasa $Mg_{17}Al_{12}$ ditunjukkan pada posisi 2θ yaitu 57,6527. Terbentuk fasa Al_2Y pada posisi 2θ yaitu 32,2602. Hal tersebut bersesuaian dengan (JCPDF#00-0035-5031). Fasa Al_2Y terbentuk karena penambahan unsur Yttrium.

Pada paduan Mg-5Al-2Y terdapat fasa α -Mg dengan nilai intensitas tertinggi terletak pada posisi 2θ yaitu 36,5657. Fasa $Mg_{17}Al_{12}$ teridentifikasi pada posisi 2θ 63,3329 dengan intensitas 9,38. Fasa Al_2Y teridentifikasi pada posisi 2θ 32,1731 dengan intensitas 10,74 bersesuaian dengan (JCPDF# 01-072-5031).

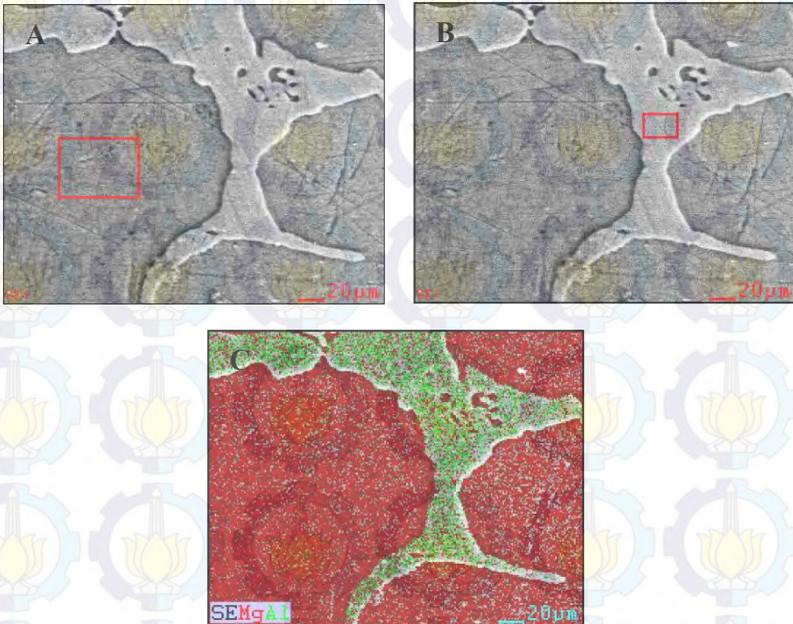
Fasa Al_2Y ditemukan lebih banyak di paduan Mg-5Al-4Y dibuktikan dengan lebih banyaknya puncak yang bersesuaian dengan (JCPDF# 01-072-5031). Hal tersebut menyatakan bahwa banyaknya kandungan unsur yttrium yang diberikan pada paduan Mg-5Al membuat bertambahnya fasa Al_2Y . Fasa α -Mg dan $Mg_{17}Al_{12}$ masih ditemukan pada paduan ini dengan posisi 2θ yang sama dengan paduan sebelumnya.



4.1.2 Hasil Pengujian komposisi Kimia (SEM-EDX)

Pada pengujian komposisi fasa dilakukan untuk mengetahui struktur mikro material dengan perbesaran yang lebih besar daripada metalografi dan juga untuk mengetahui komposisi dari fasa-fasa yang terdapat pada setiap material paduan sampel. Alat yang digunakan pada pengujian identifikasi fasa adalah *Scanning Electron Microscope – Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX).

Berikut adalah hasil pengujian komposisi yang telah dilakukan menggunakan *Energy Dispersive X-Ray* pada keempat sampel paduan dengan perbesaran 1500 kali yaitu :

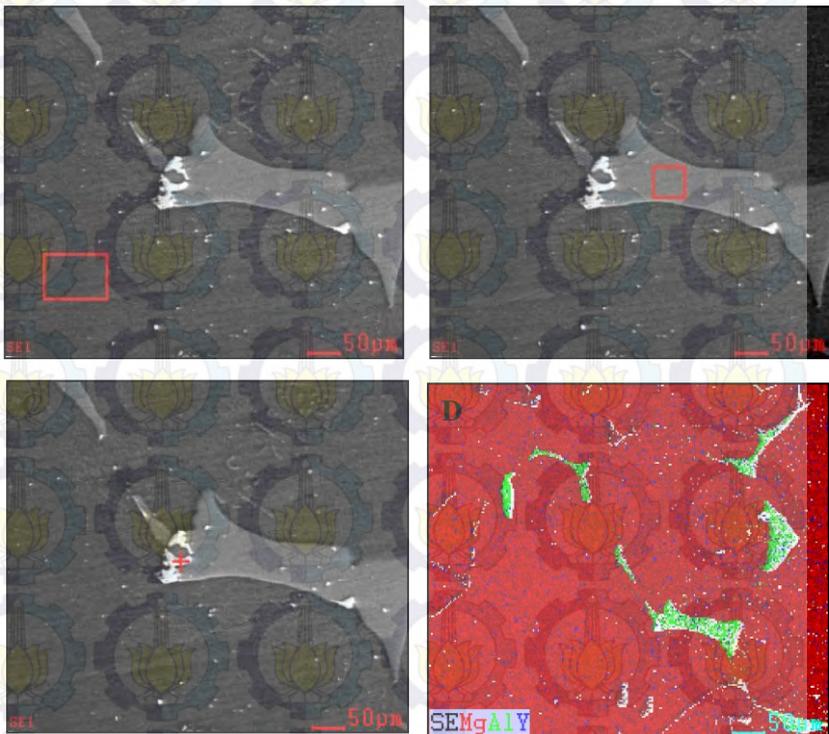


Gambar 4.2 Hasil EDX dan *Mapping* paduan Mg-5Al
(a). Fasa primer (b). Fasa sekunder (c). *Mapping* dengan perbesaran 1500 kali.



Tabel 4.1 Komposisi unsur paduan Mg-5Al (a) Fasa primer dan (b) sekunder pada gambar 4.2

(a) fasa primer			(b) Fasa sekunder		
Unsur	Wt%	At%	Unsur	Wt%	At%
Mg	90,55	91,40	Mg	62,92	65,32
Al	9,45	8,60	Mg	37,08	34,68



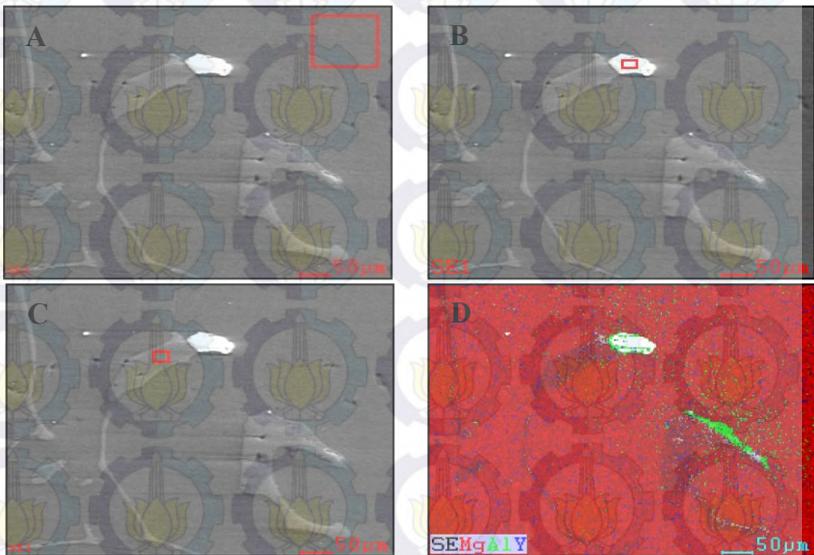
Gambar 4.3 Hasil EDX dan *Mapping* paduan Mg-5Al-1Y dengan perbesaran 1500 kali.



Laporan Tugas Akhir
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi

Tabel 4.2 Komposisi unsur paduan Mg-5Al-1Y di gambar (a), (b), dan (c) pada gambar 4.3

a.	Unsur	Wt%	At%
	Mg	93.12	94.31
	Al	05.96	05.44
	Y	0,92	00.25
b.	Unsur	Wt%	At%
	Mg	68.33	70.54
	Al	31.67	00.00
	Y	0	0
c.	Unsur	Wt%	At%
	Mg	64.27	67.08
	Al	34.69	32.62
	Y	01.04	00.30

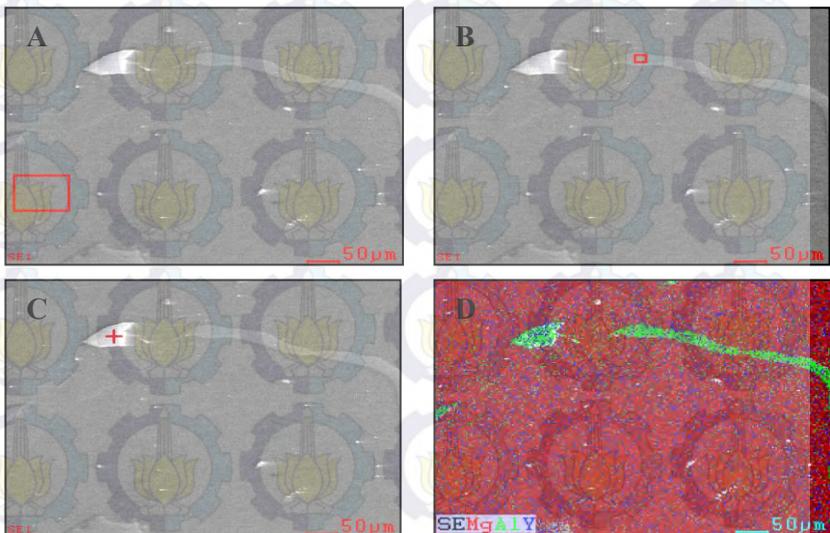


Gambar 4.4 Hasil EDX dan *Mapping* paduan Mg-5Al-2Y dengan perbesaran 1500 kali



Tabel 4.3 Komposisi unsur paduan Mg-5Al-2Y di gambar (a), (b), dan (c) pada gambar 4.4

a.	Unsur	Wt%	At%
	Mg	92,28	93.41
	Al	06.07	05.88
	Y	01.02	00.71
b.	Unsur	Wt%	At%
	Mg	44.43	48.66
	Al	50.50	49.83
	Y	05.07	01.52
c.	Unsur	Wt%	At%
	Mg	58.15	01.88
	Al	39.97	38.04
	Y	01.88	00.54



Gambar 4.5 Hasil EDX dan *Mapping* dari Mg-5Al-4Y dengan perbesaran 1500 kali

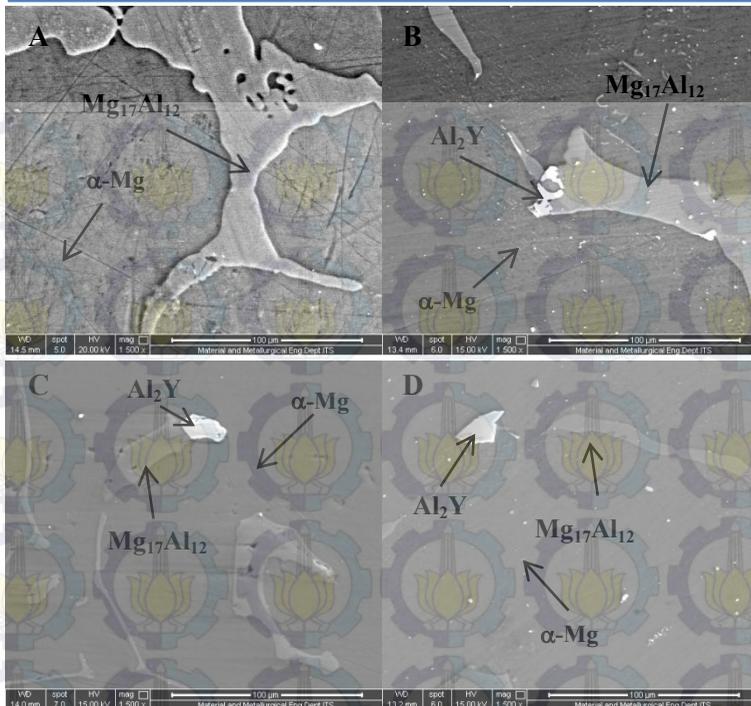


Laporan Tugas Akhir
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi

Tabel 4.4 Komposisi fasa dari hasil pengujian EDX paduan Mg-5Al-4Y di gambar a dan b pada gambar 4.5

a.	Unsur	Wt%	At%
	Mg	97.32	97.86
	Al	02.23	02.02
	Y	00.45	00.12
b.	Unsur	Wt%	At%
	Mg	68.99	71.52
	Al	30.26	28.26
	Y	00.76	00.22
c.	Unsur	Wt%	At%
	Mg	44.83	49.57
	Al	48.65	48.46
	Y	06.52	01.97

Berdasarkan pengujian komposisi fasa yang telah dilakukan menggunakan *Scanning Electron Microscope* untuk keempat sampel diperoleh hasil sebagai berikut:



Gambar 4.6 Struktur mikro dengan SEM paduan (a). Mg-5Al (b). Mg-5Al-1Y (c). Mg-5Al-2Y (d). Mg5Al-4Y dengan perbesaran 1500 kali

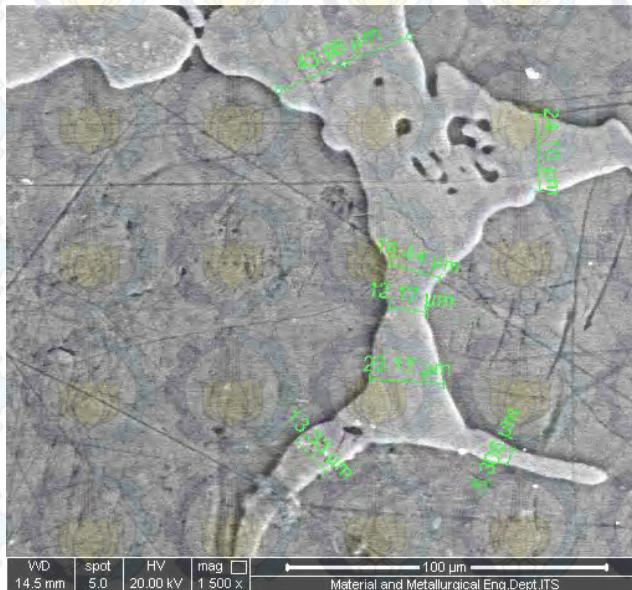
Gambar diatas menunjukkan struktur mikro dengan perbesaran 1500 kali. Pada daerah yang gelap menjelaskan daerah dengan kandungan banyak Mg yang disebut juga dengan fasa primer dan daerah yang terang menunjukkan daerah banyak Al yang disebut juga fasa sekunder.

4.1.2 Hasil Pengujian Struktur mikro

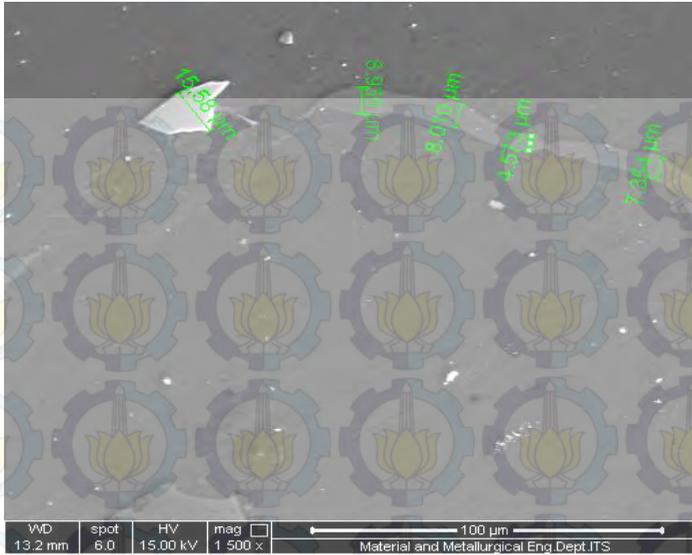
Pada penelitian ini dilakukan pengujian metalografi yang bertujuan untuk mengetahui perubahan struktur mikro pada material paduan Mg-5Al dan Mg-5Al-xY (x:1, 2, dan 4)%wt. Setiap material dilakukan pemotongan , *grinding* (grade 240-



2000), polishing dengan pasta autosol dan kain bludru. Larutan etsa menggunakan acetic-picral sesuai dengan standar ASTM E407 dengan komposisi larutan 5 mL Acetic Acid, 6 g Picric Acid, 10 mL air, 100 mL Ethanol. Pengambilan gambar struktur mikro dengan menggunakan Metallurgical Microscope OLYMPUS BX51M-RF S/N 4K09974 diambil dengan perbesaran 50 – 1000 kali. Pengukuran dimensi dari batas butir dilakukan dengan menggunakan SEM pada perbesaran 1500 kali. Pengukuran dilakukan pada batas butir yang tersebar, kemudian diambil nilai rata-ratanya sebagai ukuran batas butir. Hasil pengukuran batas butir ditunjukkan sebagai berikut.

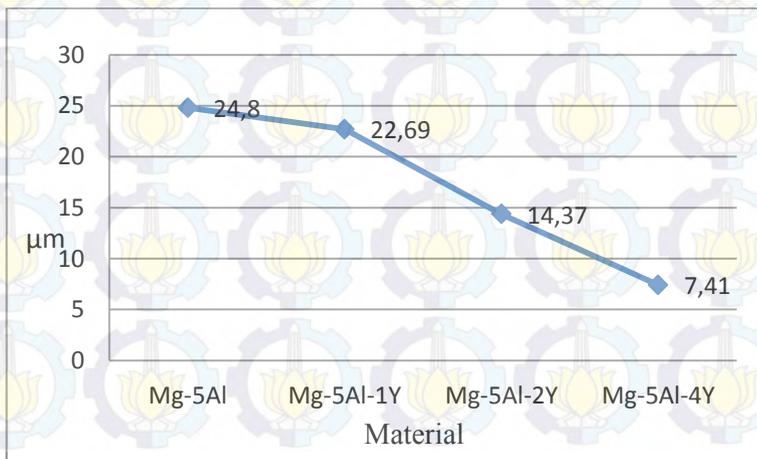


Gambar 4.7 Pengukuran batas butir paduan Mg-5Al



Gambar 4.10 Pengukuran batas butir paduan Mg-5Al-4Y

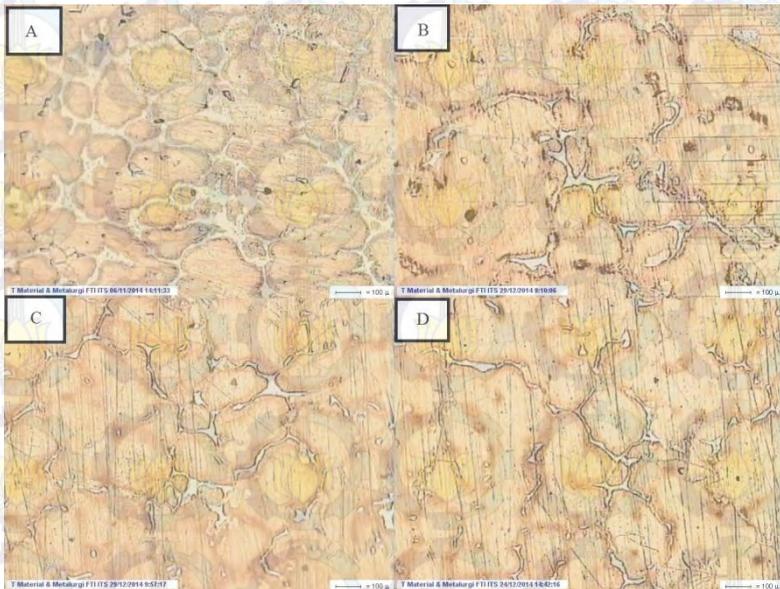
Berdasarkan pengukuran yang telah dilakukan disajikan pada grafik nilai ukuran batas butir setiap paduan pada Gambar 4.10



Gambar 4.11 Grafik hasil pengukuran batas butir berbagai paduan



Berikut adalah hasil pengujian metalografi ke empat sampel dengan perbesaran 50 kali.



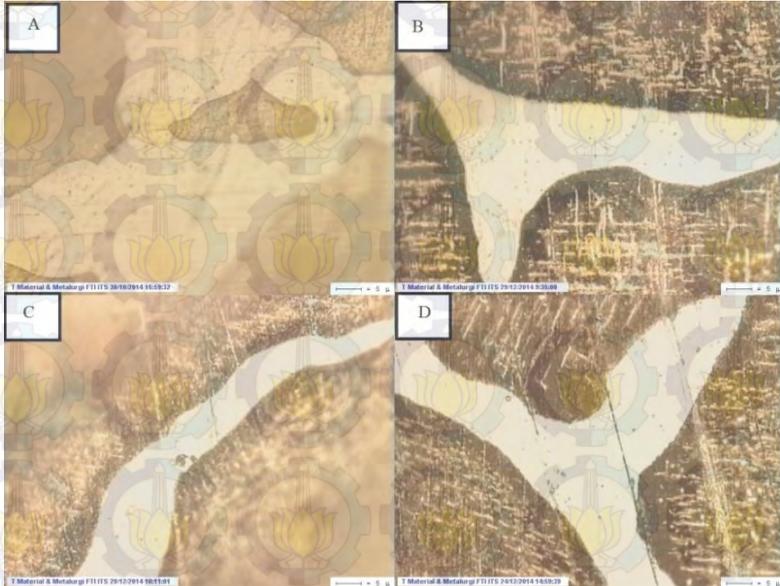
Gambar 4.12 Strukturmikro paduan (A) Mg-5Al (B) Mg-5Al-1Y (C) Mg-5Al -2Y (D) Mg-5Al-4Y dengan perbesaran 50 kali

Gambar 4.12 memperlihatkan gambar struktur mikro dengan perbesaran 50 kali pada setiap paduan. Hasil tersebut menunjukkan bahwa paduan yang tidak diberi penambahan Yttrium memiliki ukuran fasa sekunder yang lebih kecil dibandingkan dengan paduan yang diberikan unsur Yttrium. Hal tersebut dikarenakan penambahan unsur Yttrium mengakibatkan penghalusan butir dimana ukuran dari batas butir mengecil. Penghalusan butir merupakan proses yang melibatkan kecepatan pembentukan inti dan kecepatan pertumbuhan dari butir atau kristal sewaktu logam berada dalam proses pembekuan. Dengan adanya penambahan elemen, maka pembentukan inti akan



terdorong untuk pertumbuhan butir dalam suatu kecepatan pendinginan tertentu.

Pada gambar 4.13 memperlihatkan gambar strukturmikro dengan perbesaran 1000 kali pada setiap paduan.



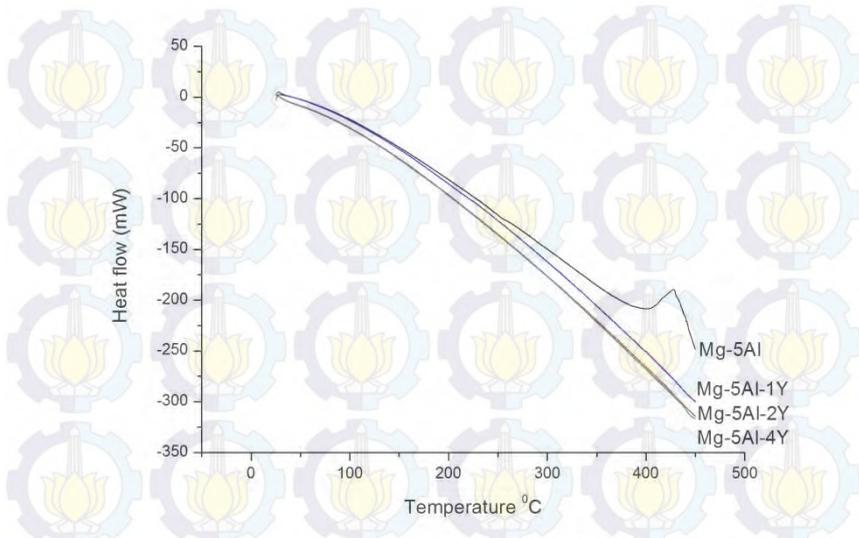
Gambar 4.13 Strukturmikro paduan (A) Mg-5Al (B) Mg-5Al-1Y (C) Mg-5Al-2Y (D) Mg-5Al-4Y dengan perbesaran 1000 kali

4.1.4 Hasil Pengujian ketahanan termal (DSC-TGA)

Pengujian ketahanan termal pada penelitian ini dilakukan menggunakan alat DSC-TGA merk Mettler Toledo. Pengujian ini dilakukan untuk mengukur perubahan massa paduan sebagai fungsi dari temperatur. Alat yang digunakan adalah *Thermo Gravimetry Analysis* dan *Differential scanning calorimetry* dengan atmosfer gas nitrogen. Pada prinsipnya pengujian ini yaitu dengan menaikkan temperatur material dari temperatur kamar hingga mencapai temperatur tertentu. Temperatur yang digunakan



pada pengujian ini adalah 450°C . Berikut adalah hasil pengujian dari DSC-TGA yang disajikan dalam grafik bentuk.



Gambar 4.14 Grafik hasil pengujian *Differential Scanning Calorimetry*

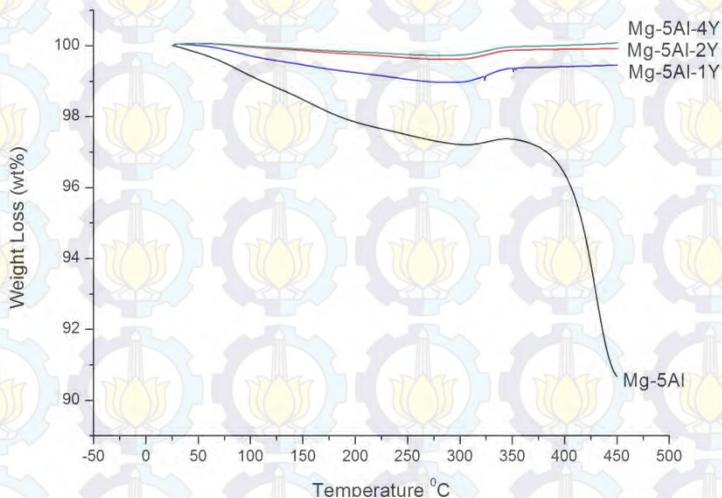
Gambar 4.14 menunjukkan grafik DSC yang menjelaskan laju aliran panas pada masing - masing paduan dengan kenaikan temperatur hingga 450°C . Aktifitas yang terlihat pada grafik tersebut dapat berupa reaksi eksotermik ataupun endotermik yang mengindikasikan terjadi penambahan atau pengurangan massa paduan. Paduan Mg-5Al ditunjukkan oleh grafik heatflow berwarna hitam. Grafik tersebut mengalami penurunan dari temperatur 25 hingga 400°C lalu mengalami kenaikan hingga temperatur sekitar 415°C lalu turun kembali hingga temperatur 450°C . Hal tersebut mengindikasikan terjadinya reaksi endotermik karena nilai *heatflow* paduan adalah negatif.

Paduan Mg-5Al-1Y ditunjukkan pada grafik berwarna merah. Terjadi reaksi endotermik dengan ditunjukkan pada Grafik tersebut yang juga mengalami penurunan, namun penurunan



terjadi pada temperatur 25 hingga 450 °C dan tidak mengalami kenaikan.

Pada paduan Mg-5Al-2Y dan Mg-5Al-4Y hal serupa juga terjadi dengan ditunjukkan grafik berwarna biru dan hijau. Namun pada dua paduan ini memiliki nilai heatflow yang lebih negatif yaitu diatas 300 mW.



Gambar 4.15 Grafik hasil pengujian *Thermogravimetry Analysis*

Gambar 4.15 menunjukkan grafik TGA yang mempresentasikan perubahan massa hingga temperatur 450°C. Paduan Mg-5Al ditunjukkan dengan warna hitam. Terjadi pengurangan massa pada temperatur diatas 150°C dan pada temperatur 350°C hingga 450°C terjadi pengurangan massa secara drastis sekitar 5% dari pengurangan massa sebelumnya.

Hal yang berbeda terjadi pada paduan Mg-5Al-1Y, penurunan massa yang terjadi tidak terlihat signifikan namun tetap terjadi hingga temperatur 300°C. Akan tetapi pada



Laporan Tugas Akhir
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi

temperatur sekitar 300⁰ C hingga 450⁰ C terjadi pertambahan massa sekitar 0,03 %.

Respon yang serupa terjadi juga pada paduan Mg-5Al-2Y dan Mg-5Al-4Y terjadi pertambahan massa pada temperatur 300⁰ C hingga 450⁰ C. Namun pada Mg-5Al-4Y massa yang terbentuk lebih tinggi dari 0,07 % dari massa awal sebelum pengujian.

4.1.4 Hasil Pengujian kekerasan

Telah dilakukan pengujian kekerasan pada paduan Mg-5Al dan paduan Mg-5Al-xY (x=1,2,4) dengan mengambil rata-rata dari delapan titik hasil indentasi di setiap spesimen yang diujikan. Dengan melakukan pengujian kekerasan diharapkan dapat mengetahui distribusi kekerasan yang terjadi pada pengaruh pengaruh penambahan unsur yttrium (Y) terhadap peningkatan kekerasan pada paduan Mg-5Al.

Pengujian ini menggunakan alat Universal Hardness Tester HBRV-187.5A S/N 06000060 dengan metode kekerasan Brinell sesuai standar ASTM E10 dengan indentor berbentuk bola yang memiliki ukuran diameter 2,5 mm dan pembebanan sebesar 62,5 Kg dengan waktu indentasi selama 10 detik. Berikut adalah hasil pengujian kekerasan pada ke empat material paduan.

Tabel 4.5 Nilai kekerasan dari paduan dalam satuan Brinnell

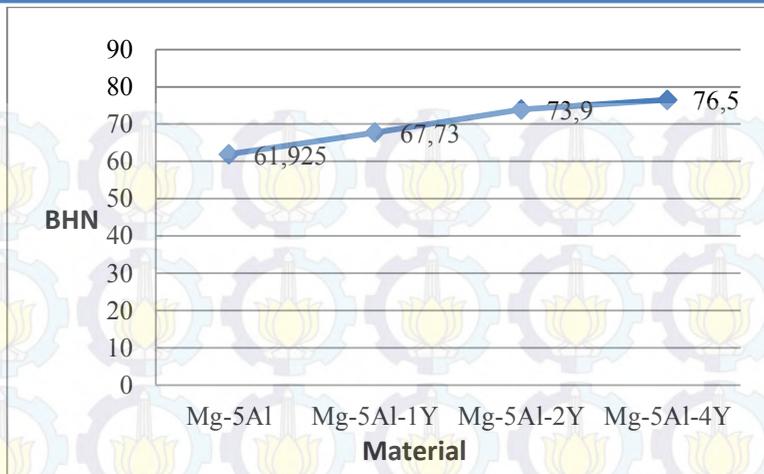
Material	Titik	BHN	RATA- RATA
Mg-5Al	1	60,5	62,925
	2	60	
	3	61,5	
	4	61,2	
	5	65,1	
	6	65,1	
	7	60,2	
	8	61,8	



*Laporan Tugas Akhir
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi*

Mg-5Al- 1Y	1	65,9	67,73
	2	67,7	
	3	66,2	
	4	68,6	
	5	68,6	
	6	68,6	
	7	68	
	8	68,3	
Mg-5Al- 2Y	1	73,5	73,9
	2	73,8	
	3	74,5	
	4	74,5	
	5	73,2	
	6	74,1	
	7	73,8	
	8	73,8	
Mg-5Al- 4Y	1	77,7	76,5
	2	75,2	
	3	74,1	
	4	77,4	
	5	76,3	
	6	75,5	
	7	78,8	
	8	77	

Dari tabel hasil kekerasan tersebut maka didapatkan grafik kenaikan kekerasan paduan pada Gambar 4.11 berikut:



Gambar 4.16 Pengaruh penambahan Yttrium terhadap kekerasan paduan Mg-5Al

Pada grafik diatas menjelaskan nilai kekerasan pada paduan Mg-5Al tanpa adanya penambahan unsur Yttrium memiliki kekerasan sebesar 61,925 HB. Pada paduan Mg-5Al dengan penambahan unsur Yttrium mengakibatkan adanya peningkatan nilai kekerasan. Nilai kekerasan tertinggi dimiliki oleh Mg-5Al-4Y yaitu 76,5 HB.

4.2 Pembahasan

Pada penelitian ini dilakukan studi paduan material Mg-5Al dengan penambahan unsur paduan Yttrium dengan variasi 1%, 2% , dan 4%. Dilakukan pengujian X-ray Diffraction (XRD) pada material dasar Mg-5Al terbentuk fasa α -Mg dan $Mg_{17}Al_{12}$ sesuai dengan gambar 4.1. Pada gambar tersebut juga menunjukkan bahwa fasa α -Mg lebih banyak muncul dibandingkan dengan fasa $Mg_{17}Al_{12}$. Hasil dari pencocokan pada paduan Mg-5Al-1Y terbentuk fasa α -Mg, $Mg_{17}Al_{12}$ dan fasa baru



yaitu Al_2Y . Terbentuk fasa Al_2Y pada posisi 2θ yaitu 32,2602 dengan intensitas 13,60 %. Hal tersebut bersesuaian dengan (JCPDF#00-0035-5031). Fasa Al_2Y terbentuk diduga karena penambahan unsur Yttrium. Menurut X.Tian, dkk (2007), menyatakan fasa $Mg_{17}Al_{12}$ dan Al_2Y terbentuk disebabkan karena tingginya stabilitis kimia pada senyawa Al_2Y , kombinasi material tanah jarang (RE) dengan aluminium (Al) membentuk senyawa Al_2Y ..

Pada paduan Mg-5Al-2Y dan Mg-5Al-4Y juga terbentuk fasa α -Mg, $Mg_{17}Al_{12}$, dan Al_2Y . Dengan semakin banyak penambahan unsur yttrium yang diberikan pada paduan Mg-5Al membuat bertambahnya fasa Al_2Y . Fasa α -Mg dan $Mg_{17}Al_{12}$ masih ditemukan pada paduan ini dengan posisi 2θ yang sama dengan paduan sebelumnya.

Didapatkan pengujian EDX yang dilakukan di fasa primer dan fasa sekunder dengan pengambilan EDX area dan titik. Hasil yang didapat dari pengujian EDX adalah presentase berat dan atom dari tiap unsur (*element*) Gambar 4.2.- 4.5 dan tabel 4.1- 4.4 menunjukkan hasil EDX pada empat sampel dengan variasi komposisi Y (0,1,2,4). Pengujian komposisi pada sampel pertama paduan Mg-5Al. yang bersesuaian dengan diagram kesetimbangan fasa Al-Mg. Fasa yang terbentuk adalah α -mg dan $Mg_{17}Al_{12}$. Paduan dengan penambahan yttrium memiliki komposisi fasa primer yang sesuai dengan α -mg karena jumlah komposisi unsur aluminium dan yttrium adalah komposisi yang terlarut pada magnesium. Pada paduan dengan penambahan yttrium diambil pengambilan EDX area dan titik. Pengambilan EDX titik diambil pada daerah yang diindikasikan sebagai fasa biner baru yaitu Al_2Y . Komposisi aluminium dan yttrium yang melebihi batas kelarutan dalam magnesium mengakibatkan terbentuknya senyawa intermetalik biner dari tiga unsur tersebut. Hasil pengujian XRD menunjukkan terdapat 3 fasa yang muncul yaitu fasa α -mg, $Mg_{17}Al_{12}$ dan Al_2Y . Komposisi fasa biner Al_2Y



yang didapat dari pengujian SEM-EDX pada penelitian ini tidak sesuai dengan penelitian sebelumnya. Namun pada fasa α -Mg dan $Mg_{17}Al_{12}$ sesuai dengan komposisi seharusnya.

Menurut penelitian sebelumnya dilakukan pengujian SEM-EDX pada paduan Mg-5Al-5Y presentase berat fasa Al_2Y yaitu 5,02 % berat Mg, 57,75 % berat Al, dan 37,23 % berat Y (H.W Chang dkk (2013)). Hal ini dikarenakan pengambilan EDX yang kurang tepat. Seharusnya pengujian menggunakan EDX pada daerah tersebut dilakukan dengan perbesaran yang lebih besar dan juga pada penelitian ini tidak dilakukan pengadukan (*agitasi*) yang berpengaruh dengan pengambilan bagian sample pengujian SEM-EDX.

Pada gambar 4.2 – 4.5 juga menunjukkan hasil *mapping* pada tiap sampel. Hal ini dilakukan untuk mengetahui persebaran unsur yang terdapat pada tiap material sampel. Dengan diambil *mapping* pada tiap sampel paduan dapat memperkuat hasil identifikasi fasa yang terbentuk apabila pada hasil EDX tidak sesuai dengan literatur. Gambar 4.2- 4.5 menunjukkan persebaran ke tiga unsur lebih dominan pada fasa sekunder dibandingkan pada fasa primer.

Dari hasil pengujian struktur mikro yang terlihat pada Gambar 4.11 dapat dilihat perbedaan ukuran dan jumlah fasa pada tiap material. Hal ini dikarenakan penambahan komposisi unsur yttrium yang diberikan pada setiap sampel paduan. Penambahan Yttrium menyebabkan terjadinya penghalusan butir pada material paduan magnesium. Berdasarkan hasil pengukuran menggunakan SEM, rata-rata ukuran fasa sekunder menurun dengan semakin bertambahnya komposisi Yttrium. Ukuran terkecil didapatkan pada paduan Mg-5Al-4Y dengan rata-rata 7,41 μm . Penghalusan butir merupakan proses yang melibatkan kecepatan pembentukan inti dan butir yang berlangsung selama proses pembekuan material dalam proses pengecoran. Penghalusan butir meminimalisir terjadinya dislokasi antar butir yang terdapat pada material.



Penambahan unsur yttrium menyebabkan batas butir semakin kecil dan terbentuk fasa baru. Menurut Ahmed A. Moosa (2011), secara detail pengaruh penambahan material tanah jarang di paduan magnesium (Mg) dapat bereaksi menghasilkan fasa-fasa yang mempengaruhi sifat mekanik pada material tersebut.

Gambar 4.13 menunjukkan gambar struktur mikro dari setiap material paduan dengan perbesaran 1000 kali. Hal ini menjelaskan perbedaan fasa pada setiap material sampel. Dapat dilihat pada gambar 4.13 a yang dihasilkan menunjukkan struktur fasa primer yang merupakan α -Mg dan fasa sekunder yaitu $Mg_{17}Al_{12}$ pada paduan Mg-5Al. Fasa sekunder yang terbentuk dikarenakan temperatur yang diberikan pada peleburan awal yaitu $750\text{ }^{\circ}\text{C}$ dimana garis isothermal pada diagram fasa Mg-Al yaitu $437\text{ }^{\circ}\text{C}$ dengan batas kelarutan maksimal Al terhadap Mg yaitu 12,6 wt %. Pada penelitian ini digunakan 5% Aluminium yang menyebabkan terbentuknya fasa $Mg_{17}Al_{12}$ pada batas butir dan tidak berbentuk lamelar. Dilakukan pendinginan secara sangat lambat hingga temperatur kamar ($27\text{ }^{\circ}\text{C}$) yang membuat batas kelarutan Al pada Mg menurun dengan mengikuti garis solvus.

Pada gambar 4.13 b menunjukkan paduan Mg-5Al-1Y. Dengan penambahan unsur 1 % yttrium mengindikasikan perubahan ukuran fasa $Mg_{17}Al_{12}$ lebih kecil dibandingkan dengan paduan tanpa penambahan. Menurut Ren Wenliang (2009), menyatakan fasa $Mg_{17}Al_{12}$ merupakan fasa penguat, tetapi memiliki stabilitas termal pada fasa $Mg_{17}Al_{12}$ (dengan titik leleh $437\text{ }^{\circ}\text{C}$) yang rendah. Setelah penambahan unsur yttrium menyebabkan terbentuknya fasa Al_2Y . Pada paduan Mg-5Al-2Y dan Mg-5Al-4Y juga mengindikasikan hal yang sama. Semakin banyak penambahan unsur yttrium pada paduan Mg-Al menyebabkan berkurangnya fasa $Mg_{17}Al_{12}$ dan fasa Al_2Y semakin banyak.

Pengujian komposisi fasa dengan menggunakan *Scanning Electron Microscope- Energy Dispersive X-Ray* menunjukkan gambar struktur mikro dan presentasi komposisi unsur yang



terdapat pada paduan. Pada gambar 4.6 a yang menunjukkan sampel paduan Mg-5Al terdapat dua fasa yang terbentuk α -Mg dan $Mg_{17}Al_{12}$. Daerah yang berwarna gelap merupakan fasa α -Mg dan yang berwarna terang berbentuk dendritik merupakan fasa $Mg_{17}Al_{12}$. Sampel kedua pada gambar 4.6 b yaitu adalah Mg-5Al-1Y menunjukkan bahwa terbentuk α -Mg, $Mg_{17}Al_{12}$ dan fasa baru Al_2Y yang terbentuk di batas butir (fasa sekunder). Daerah yang berwarna gelap menunjukkan fasa α -Mg dan bagian yang berwarna terang yaitu $Mg_{17}Al_{12}$ dan Al_2Y . Fasa Al_2Y terletak disekitar fasa $Mg_{17}Al_{12}$ dengan indikasi warna yang lebih cerah. Pada sampel ketiga yaitu paduan Mg-5Al-2Y menunjukkan bahwa fase primer α -Mg terlihat lebih dominan dan terjadi perubahan ukuran dari fasa intermetalik $Mg_{17}Al_{12}$ dan Al_2Y . Ukuran pada fasa $Mg_{17}Al_{12}$ menjadi lebih kecil dari paduan sebelumnya. Hal ini dikarenakan semakin banyak terbentuk fasa Al_2Y di fasa sekunder yang mempengaruhi ukuran dari fasa $Mg_{17}Al_{12}$. Sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh H.W Chang dkk (2013) Kemungkinan dari unsur-unsur untuk membentuk senyawa intermetalik baru dapat ditentukan karena perbedaan nilai elektronegativitas. Semakin tinggi perbedaan nilai elektronegativitas maka semakin mudah pembentukan dari senyawa tersebut. Nilai elektronegativitas dari Mg, Al dan Y masing-masing adalah 1,31, 1,61 dan 1,224. Hal ini menyatakan bahwa perbedaan nilai elektronegativitas dari Al dan Y lebih tinggi daripada Mg dan Al. Maka dari itu keberadaan fasa $Mg_{17}Al_{12}$ pada paduan akan tergantikan dengan Al_2Y Xiadong-Peng (2013).

Pada gambar 4.6 d menunjukkan paduan Mg-5Al-4Y. Perubahan yang jelas terlihat pada gambar tersebut yaitu fasa sekunder yaitu pada ukurannya. Ukuran pada fasa sekunder semakin mengecil dan tersebar dengan adanya penambahan komposisi 4% yttrium. Fasa Al_2Y cenderung tidak berhimpitan dengan fasa $Mg_{17}Al_{12}$.



Berdasarkan hasil dari pengujian ketahanan termal menggunakan alat DSC dan TGA didapatkan data DSC yaitu perubahan *heatflow* yang berhubungan dengan data TGA yaitu perubahan massa yang terjadi. Grafik hasil TGA paduan Mg-5Al menunjukkan adanya penurunan massa sebesar 6,2% pada temperatur 387 °C hingga 420 °C. Apabila disesuaikan dengan grafik DSC gradien tertinggi juga terdapat pada temperatur 387°C hingga 420 °C terlihat aktivitas reaksi yang terjadi pada paduan tersebut. Sedangkan pada temperatur acuan kerja engine block yaitu 200 °C terjadi pengurangan massa sebanyak 2 % dari massa awal. Hal ini menunjukkan bahwa paduan Mg-5Al dapat digunakan dibawah temperatur 387 °C karena tidak terjadi perubahan massa dan aktivitas reaksi.

Pada paduan Mg-5Al-1Y memiliki respon yang berbeda dengan paduan sebelumnya. Pada grafik TGA tidak terlihat perubahan massa yang signifikan. Paduan ini memiliki stabilitas termal yang lebih baik, grafik DSC tidak menunjukkan perbedaan gradien seperti paduan sebelumnya. Pada temperatur 200 °C terjadi perubahan massa, massa berkurang sebanyak 0,2 %. Respon serupa terjadi pada paduan Mg-5Al-2Y dan Mg-5Al-4Y. Pada paduan Mg-5Al-2Y terjadi perubahan massa di temperatur 200 °C sebanyak 0,7 % dari massa awal sedangkan pada paduan Mg-5Al-4Y terjadi perubahan massa di temperatur 200 °C sebanyak 0,1 % dari massa awal. Namun terjadi penambahan massa pada setiap paduan Mg-5Al dengan penambahan Yttrium. Paduan Mg-5Al-1Y terjadi penambahan massa mulai dari temperatur 291 °C. Pada paduan Mg-5Al-2Y terjadi penambahan massa mulai dari temperatur 299,167 °C sedangkan pada paduan Mg-5Al-4Y mulai terjadi penambahan massa pada temperatur 288,333 °C Hal ini mengindikasikan bahwa pengaruh penambahan yttrium memperbaiki stabilitas termal terhadap paduan Mg-5Al seiring dengan meningkatkannya komposisi yttrium yang diberikan.



Dari ketiga variasi penambahan komposisi yttrium, paduan yang relatif stabil bekerja pada temperatur tinggi yaitu penambahan 4 % yttrium karena pada temperatur 200⁰ C (kerja engine block) massa hanya berkurang 0,1% dari massa awal dan pada temperatur 450⁰ C hanya terjadi pertambahan massa sebanyak 0,07 % . Maka bila dilihat dari standard kerja engine block paduan Mg-5Al-4Y dapat digunakan

Gambar 4.16 menunjukkan grafik peningkatan kekerasan pada penelitian ini. Grafik tersebut menunjukkan bahwa paduan dengan penambahan yttrium mengalami kenaikan nilai kekerasan dan terjadi peningkatan sesuai dengan banyak komposisi yttrium yang ditambahkan. Hal tersebut dapat dikaitkan dengan perubahan ukuran struktur mikro yang terjadi. Nilai kekerasan paling rendah dimiliki oleh paduan Mg-5Al karena memiliki butiran yang lebih kasar. Penambahan yttrium dapat menyebabkan penghalusan butir. Butiran yang semakin halus akan mencegah terjadinya slip sehingga kekerasan akan meningkat.

Nilai kekerasan tertinggi dimiliki oleh Mg-5Al-4Y yaitu 76,5 HB. Saher Al Shakhshir (2005) menjelaskan pengaruh penambahan unsur Yttrium pada paduan Mg dapat meningkatkan kekerasan secara signifikan. Hal ini disebabkan dari penambahan Yttrium yang mengakibatkan terbentuknya fasa Al₂Y. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Nouri Meisam dkk (2013) menyatakan bahwa nilai kekerasan dari fasa Al₂Y lebih tinggi dibandingkan dengan nilai kekerasan yang dimiliki oleh fasa Mg₁₇Al₁₂. Pada penelitian yang dilakukan diperoleh nilai kekerasan fasa Al₂Y adalah 460 HV dan nilai kekerasan fasa Mg₁₇Al₁₂ adalah 220 HV menggunakan *microhardness*. Maka semakin tinggi komposisi Yttrium semakin tinggi nilai kekerasan yang dihasilkan pada paduan Mg-5Al.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

1. Kesimpulan

Berdasarkan data data yang didapatkan pada penelitian maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Penambahan variasi komposisi yttrium akan memperkecil fasa sekunder yaitu fasa $Mg_{17}Al_{12}$ dengan terbentuknya fasa baru Al_2Y pada daerah batas butir.
2. Nilai kekerasan paduan Mg-5Al meningkat seiring dengan meningkatnya komposisi Yttrium dengan nilai kekerasan tertinggi yang dimiliki oleh Mg-5Al-4Y yaitu 76,5 HB. Hal ini dikarenakan terbentuknya fasa Al_2Y
3. Stabilitas termal pada paduan Mg-5Al semakin meningkat dengan semakin tinggi penambahan Yttrium.

2. Saran

Adapun saran untuk penelitian ini yaitu :

1. Perlu adanya pengadukan paduan pada proses peleburan untuk menjadikan paduan lebih homogen agar didapatkan hasil yang sempurna.
2. Menggunakan temperatur diatas 450^0 C agar mengetahui stabilitas termal ditemperatur yang lebih tinggi.
3. Pada saat pengujian DSC-TGA menggunakan lingkungan gas argon agar tidak terjadi reaksi dengan magnesium yang mempengaruhi perubahan massa.
4. Pada pengujian SEM-EDX agar digunakan perbesaran yang lebih tinggi agar mengetahui komposisi fasa yang terbentuk.



DAFTAR PUSTAKA

BYRON B, –Global Overview of Automotive Magnesium Requirements and Supply & Demand–, Automotive Seminar der International Magnesium Association (IMA), Aalen, 1997.

CELIK, C. ET AL, —Magnolia – an innovative process for magnesium production” Proceedings of the 3rd International production”, Proceedings of the 3rd International Magnesium Conference, Manchester 1996.

C. Suman, –SAE Technical Paper No.910416”, Warrendale, PA, Society of Automotive Engineers, 1991

Chang H.W ET AL, —The role of Al_2Y in grain refinement in Mg-Al-Y alloy system”, School of Physics and Materials Engineering, Monash University, Australia, 2013

E. D Gibson, O. N. Carlson, —The Yttrium – Magnesium Alloy System”, Transactions of the American Society for Metals 52, 1960.

FANG XI-ya, YI Dan-qing, WANG Bin, —Effect Of Yttrium On Microstructures And Mechanical Properties Of Hot Rolled AZ61 Wrought Magnesium Alloy” School of Materials Science and Engineering, China, 2006

H. Okamoto (1998) In A. A. Nayeb-Hashemi and J. B. Clark (eds) –Phase Diagrams of Binary Magnesium Alloys”, Metals Park , OH: ASM International.

K.U. Keiner, –Magnesium Alloys and Technologies–, Wiley VCH: Weinheim, 2003

L.L. Rokhlin, –Magnesium Alloys Containing Rare Earth Metals Structure and Properties”, Baikove Institute of Metallurgy and Materials Science, Moscow, Russia. taylor & Francis inc, 2003.

Nouri Mesiam, Xiaoguang Sun, D.Y. Li, —Beneficial effects of yttrium on the performance of Mg-3%Al alloy during wear, corrosion and corrosive wear”, Department of Chemical and Materials Engineering, University of Alberta, Edmonton , Canada 2013

M. M. Avedesian and H. Baker, ”ASM Specialty Handbook—Magnesium and Magnesium Alloys”, Materials Parks, OH:ASM International, 1999

Moosa,Ahmed, —Effect Lanthanum Addition on the Microstructure of Mg-4Al Alloy”, Al Khwarizmi Engineering Journal, 2011.

M. Socjusz-Podosek, L. Litynska, —Effect of yttrium on structure and mechanical properties of Mg alloys”, Materials Chemistry and Physics 80, 2003.

M.Suzuki,H.Sato, K. Maruyama, H Oikawa, —Creep behaviour and deformation microstructures of Mg-Y alloys 550 K”, Material Science and Engineering, 1998.

N.V. Ravi Kumar, J.J Blandin, M. Suery, E. Grosjean, —Effect of alloying element on the ignition resistance of magnesium alloys”,Scripta Materialia 49, 2003.

PAN Fu-sheng , CHEN Mei-bao, , WANG Jing-feng, —Effects Of Yttrium Addition On Microstructure And Mechanical Properties Of As-Extruded AZ31”, Chongqing University, 2004.

Risyad Heryudanto,” Pengaruh Yttrium Pada Paduan Mg-5Al Terhadap Strukturmikro, Sifat mekanik dan Stabilitas thermal. Dilakukan dengan variasi penambahan Yttrium (x:0.5,1,1.5, dan 3)%wt , Laporan Tugas Akhir, ITS Surabaya, 2014

Saher Al Shakhshir, –A Computational Thermodynamic Model of Mg-Al-Y System”, Concordia University, 2005

Surdia Tata, Shironku Saito, –Pengetahuan Bahan Teknik” ,Pradya Paramita,Jakarta.

Song Changjiang, ”Review of Grain Refinement Methods for As-Cast Microstructure of Magnesium Alloy”, Shanghai University, 2009

Tian, X, Wang.L.M, –The Microstructure and Mechanical Properties of Mg-3Al-3RE Alloys –Journal of Alloys and Compounds., 2007.

W. D. Callister. –Materials Science and Engineering” An introduction. NewYork: Wiley, 2003.

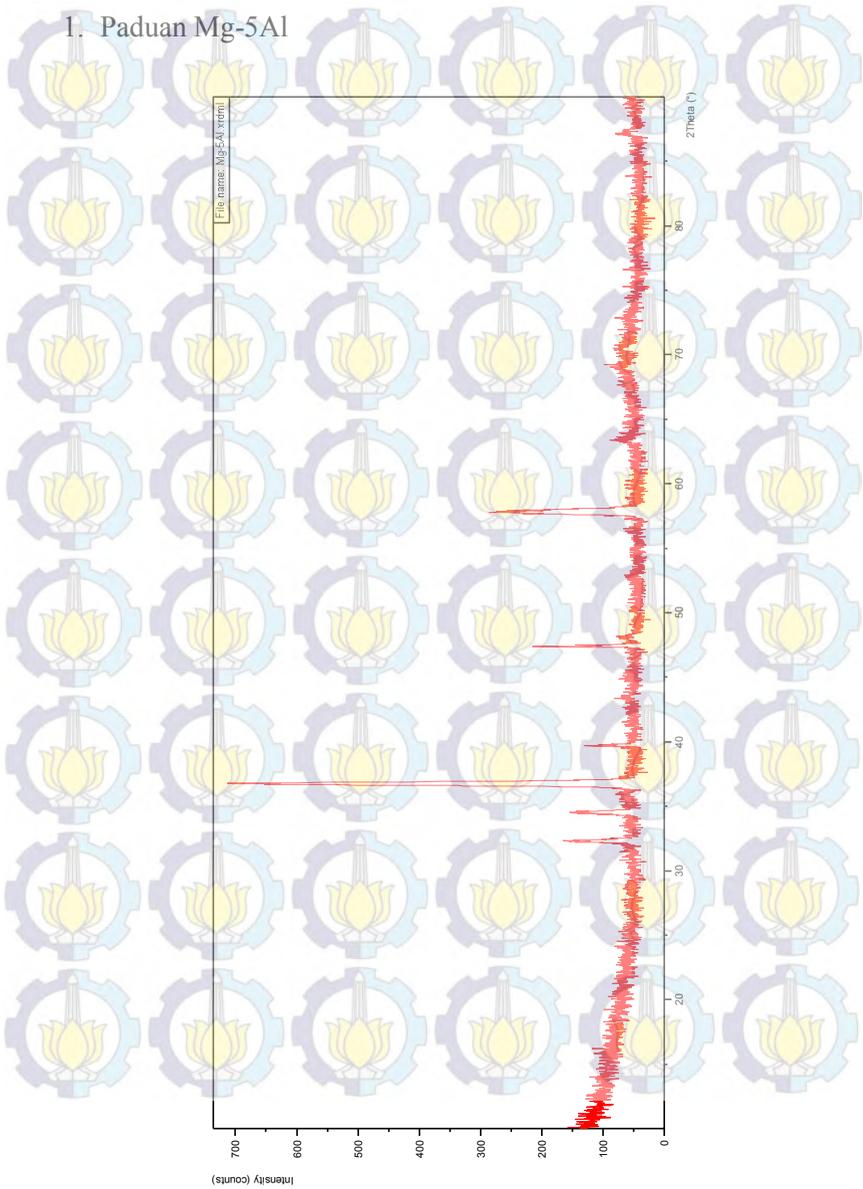


(Halaman ini sengaja dikosongkan)

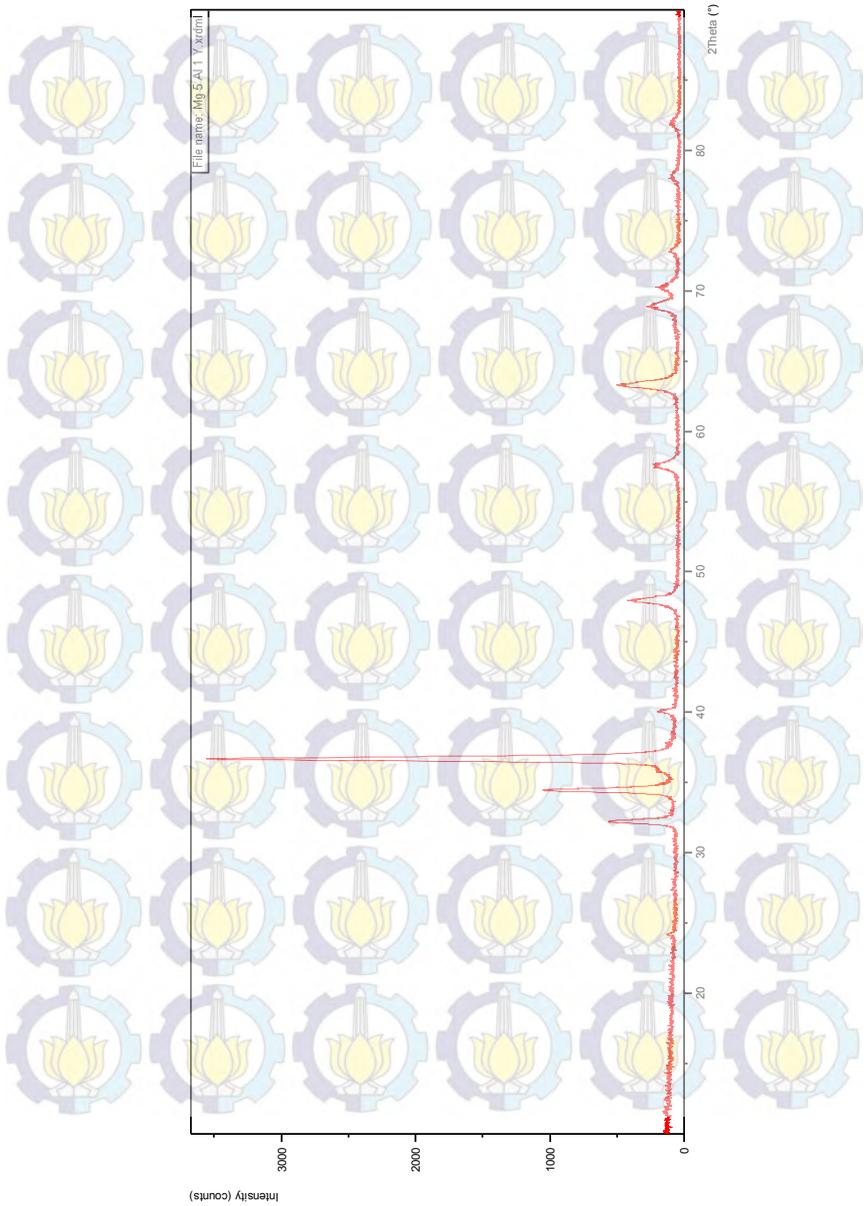
LAMPIRAN

Hasil XRD

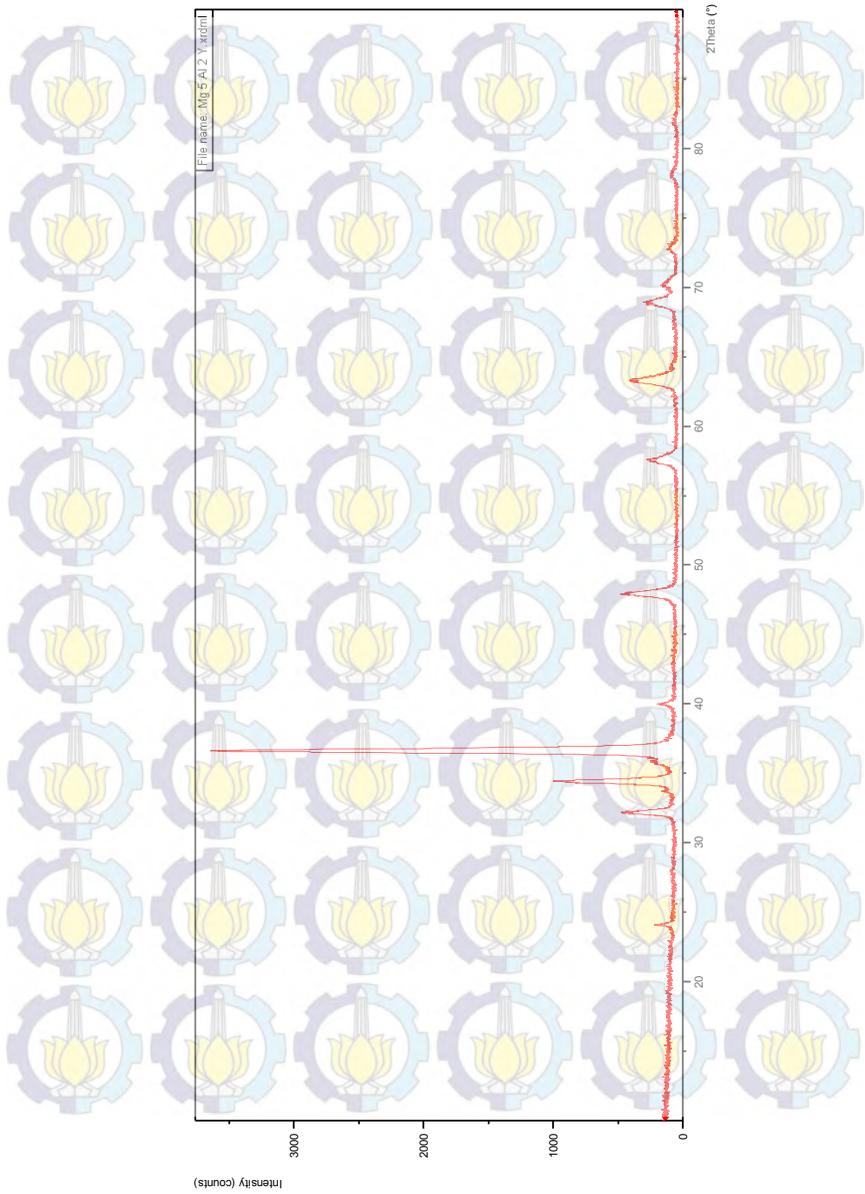
1. Paduan Mg-5Al



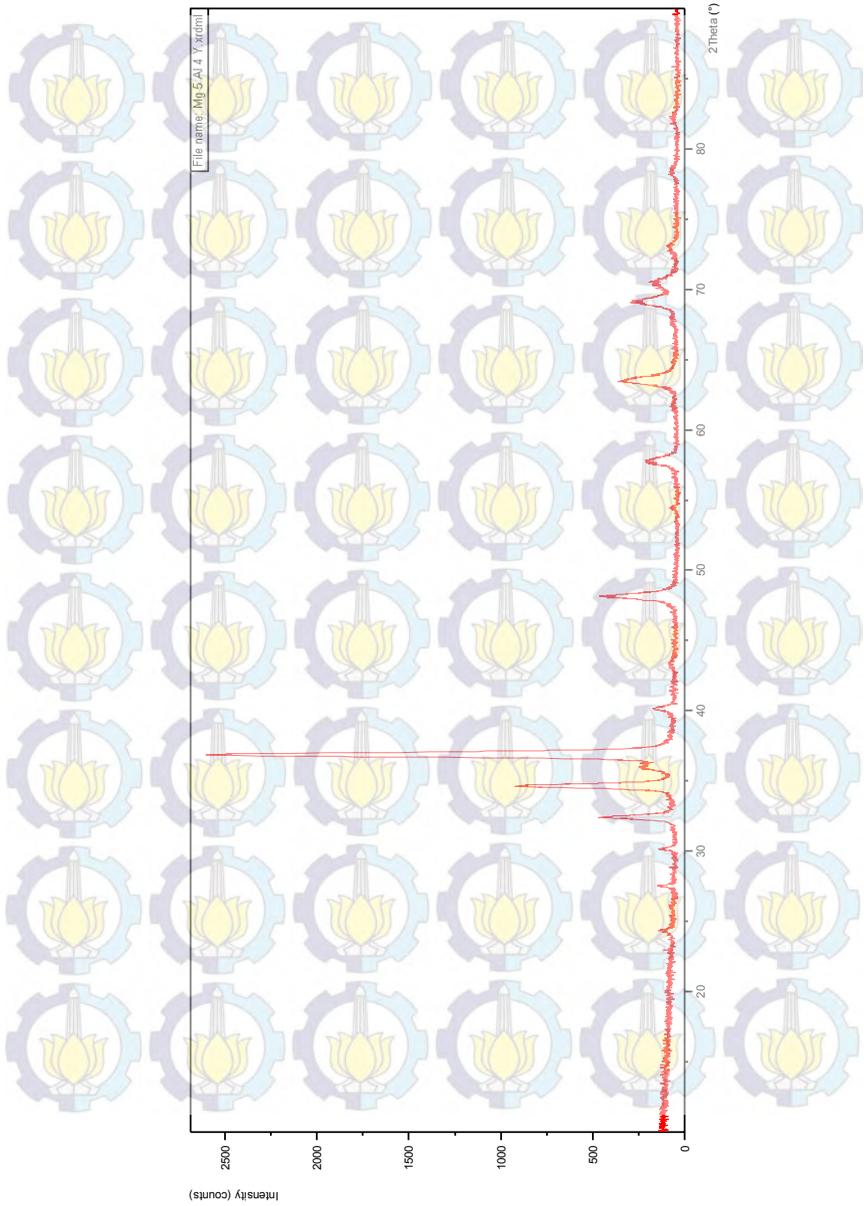
2. Paduan Mg-5Al-1Y



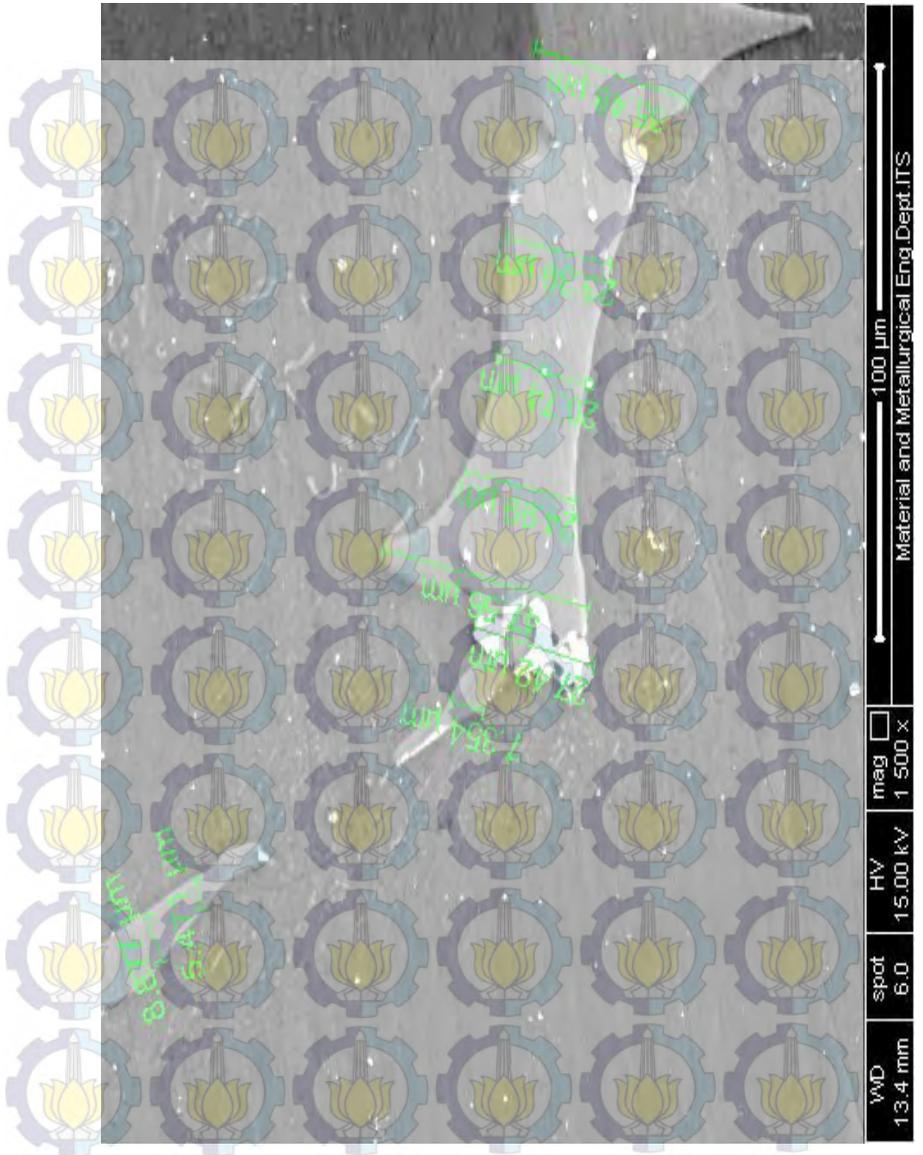
3. Paduan Mg-5Al-2Y



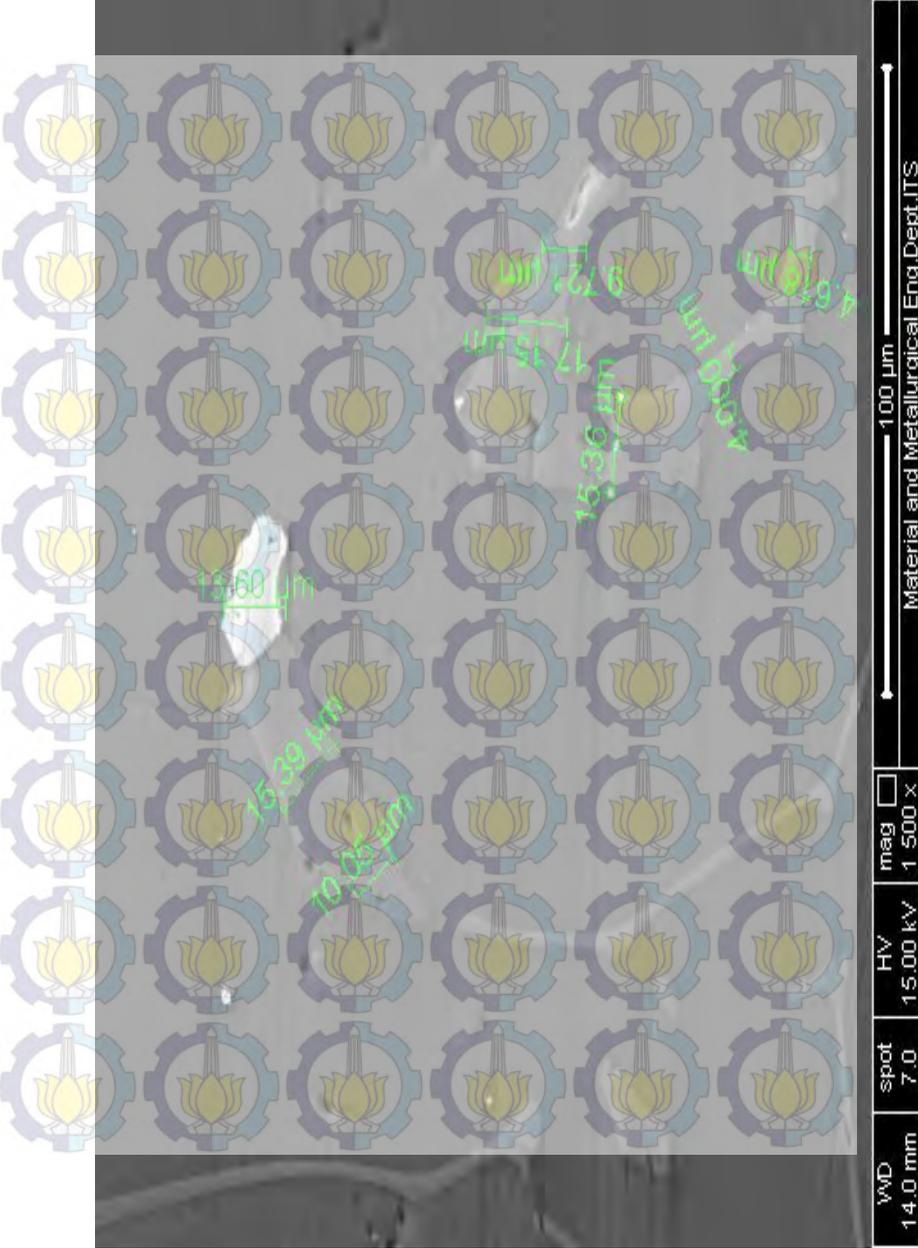
4. Paduan Mg-5Al-4Y



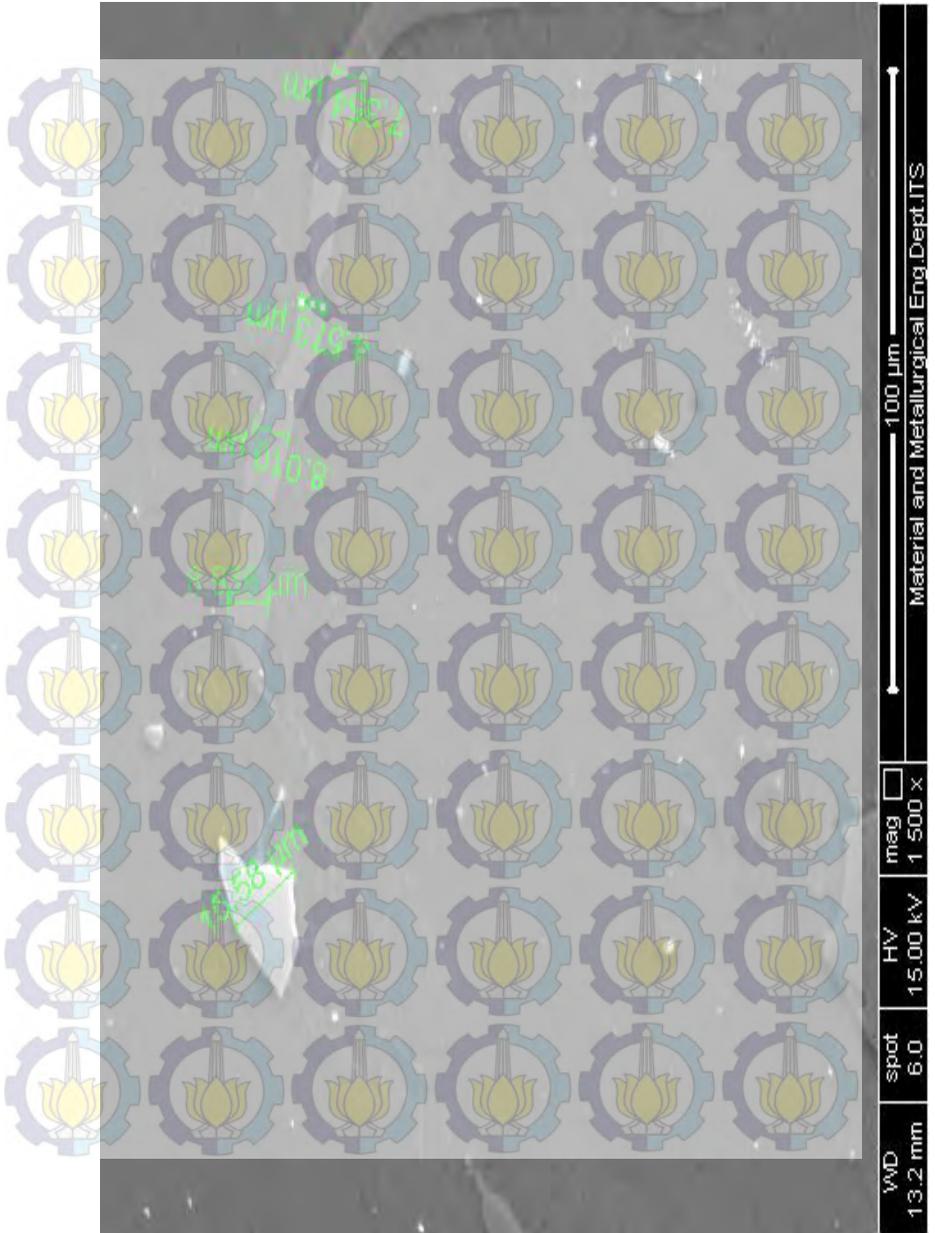
2. Paduan Mg-5Al-1Y



3. Paduan Mg-5Al-2Y

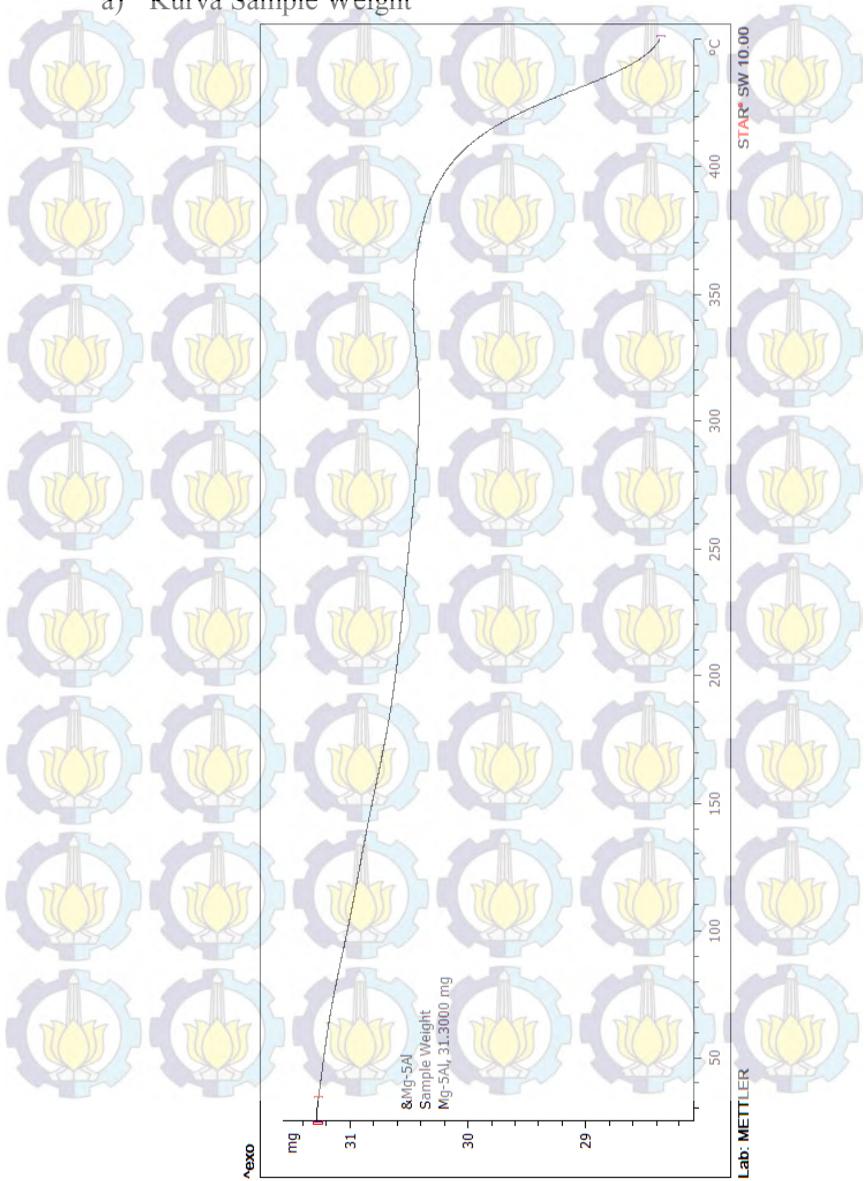


4. Paduan Mg-5Al-4Y

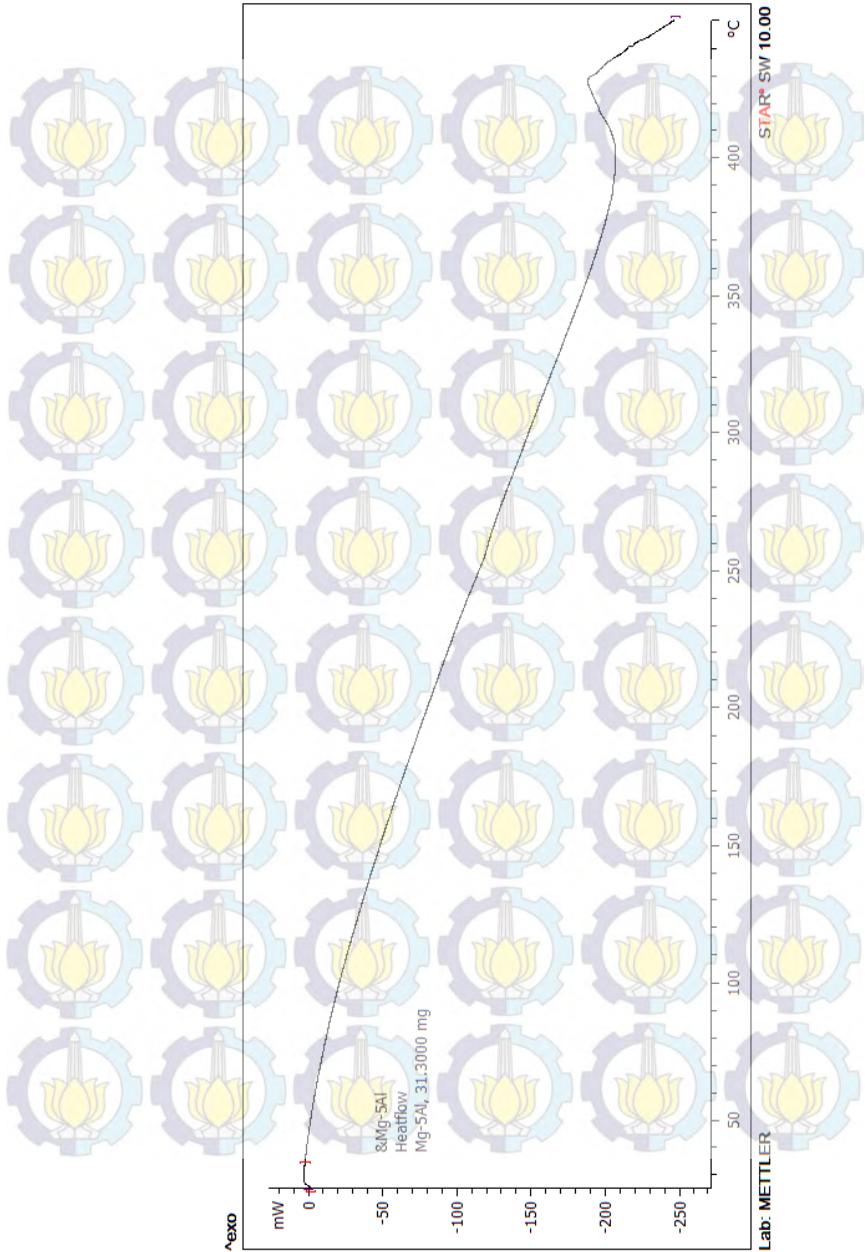


Hasil DSC-TGA Paduan Mg-5Al

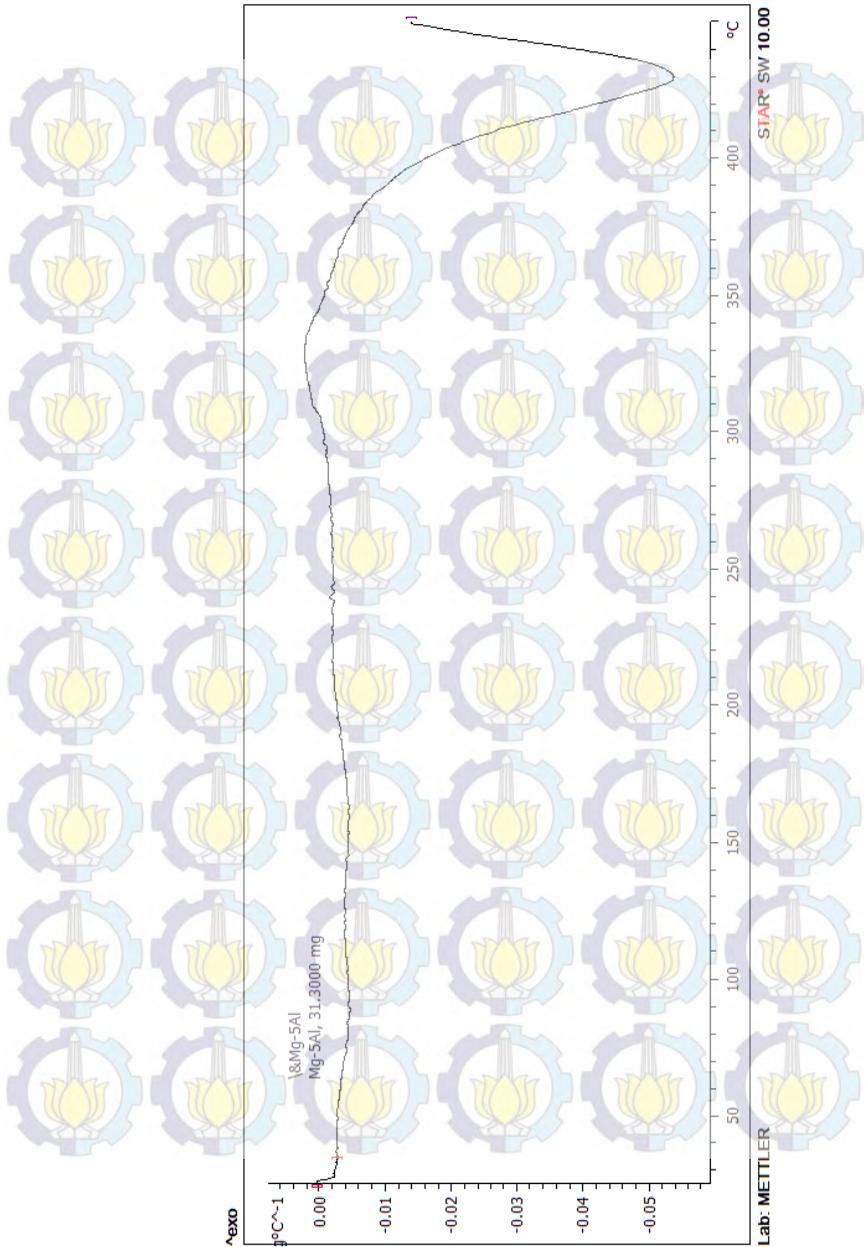
a) Kurva Sample Weight



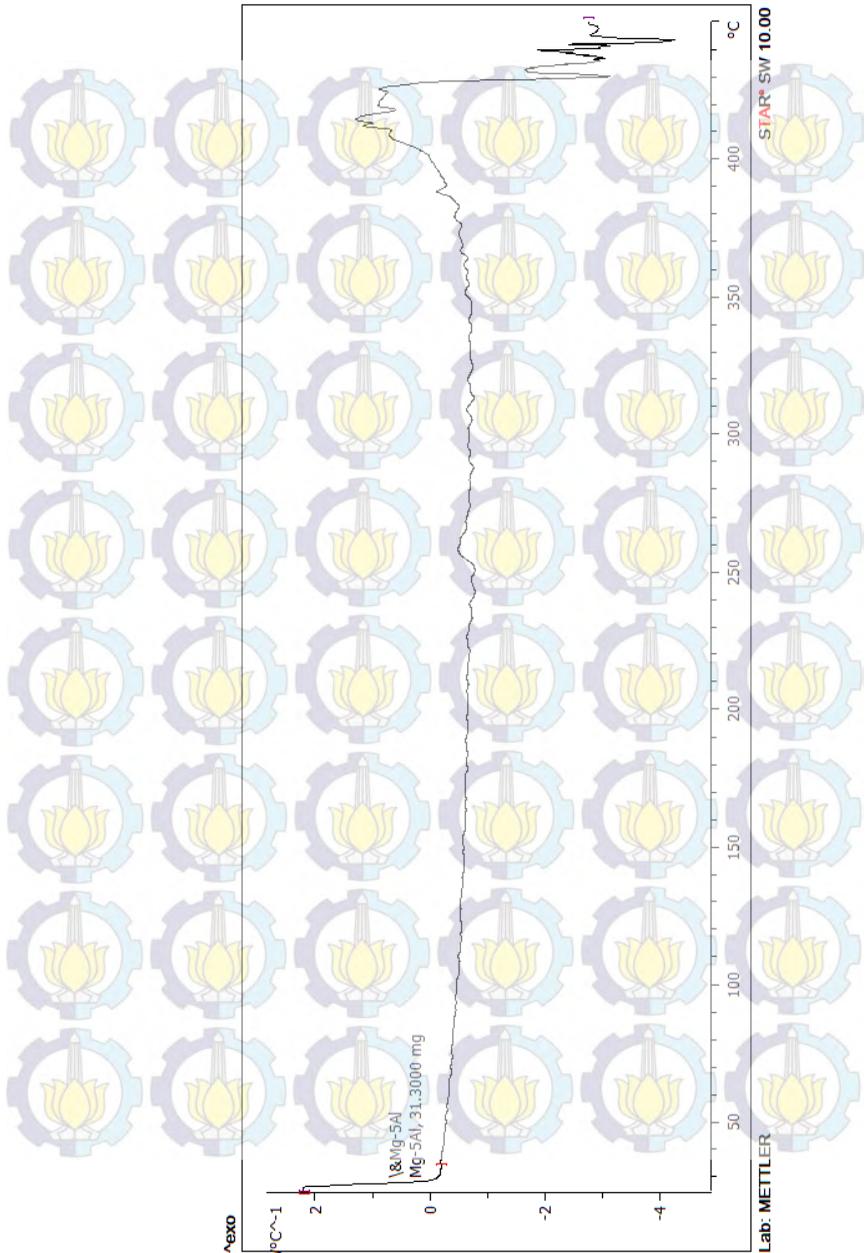
b) Kurva Heatflow



c) Kurva 1st Derivative Sample Weight

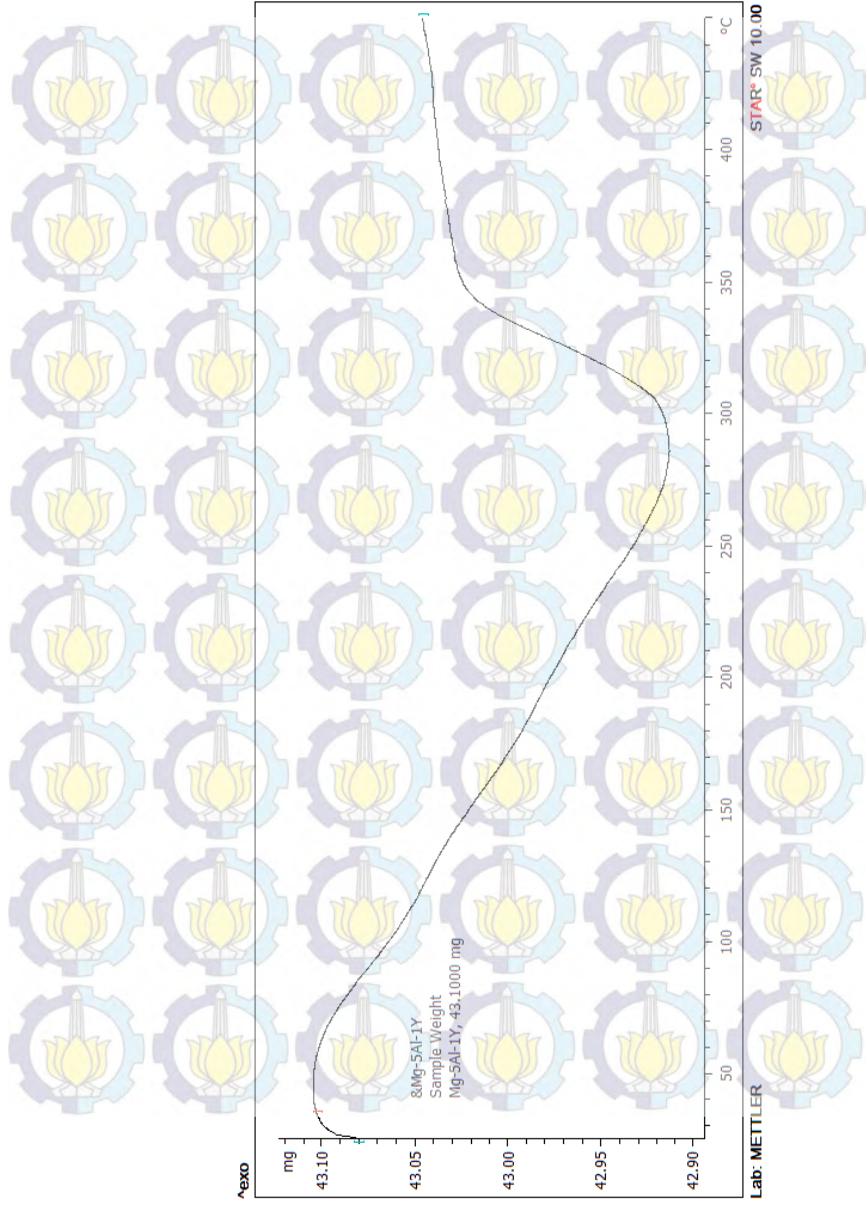


d) Kurva 1st Derivative Heatflow

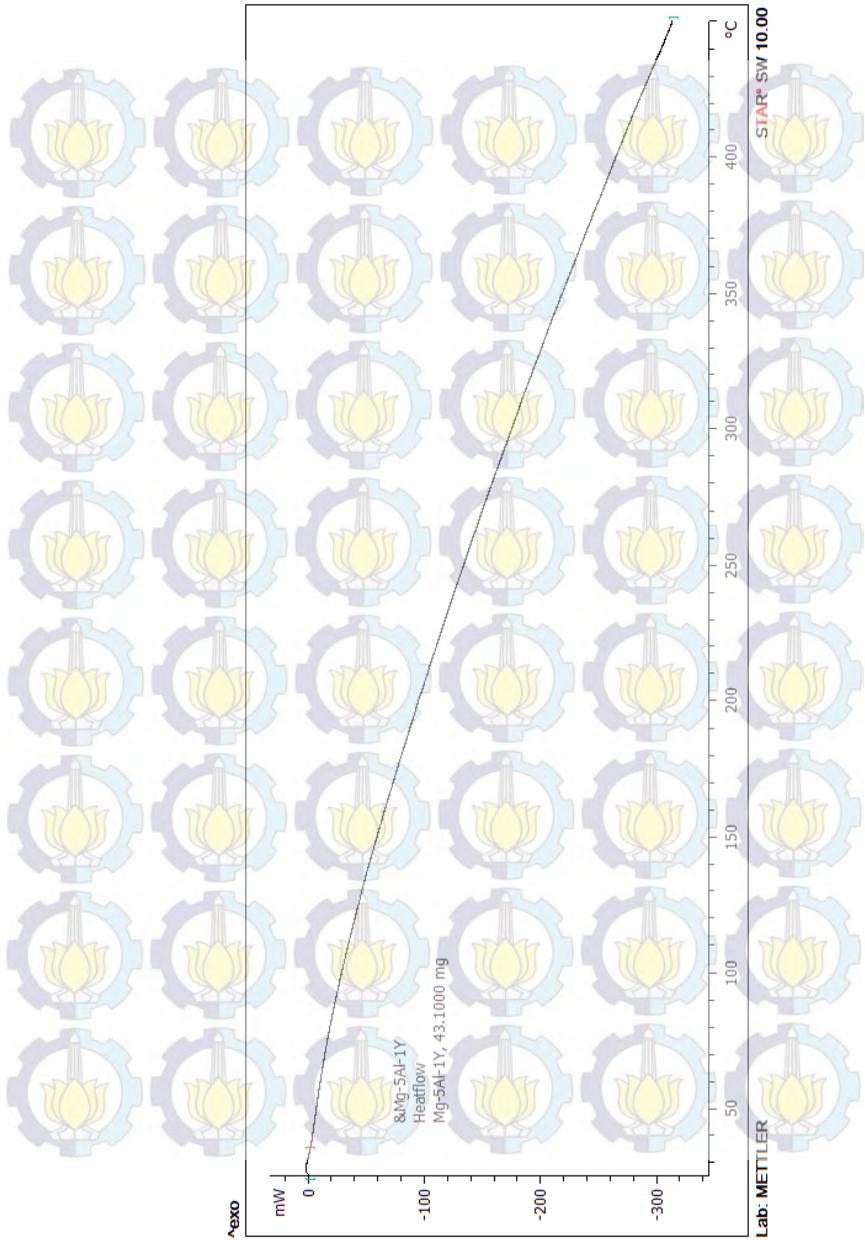


Paduan Mg-5Al-1Y

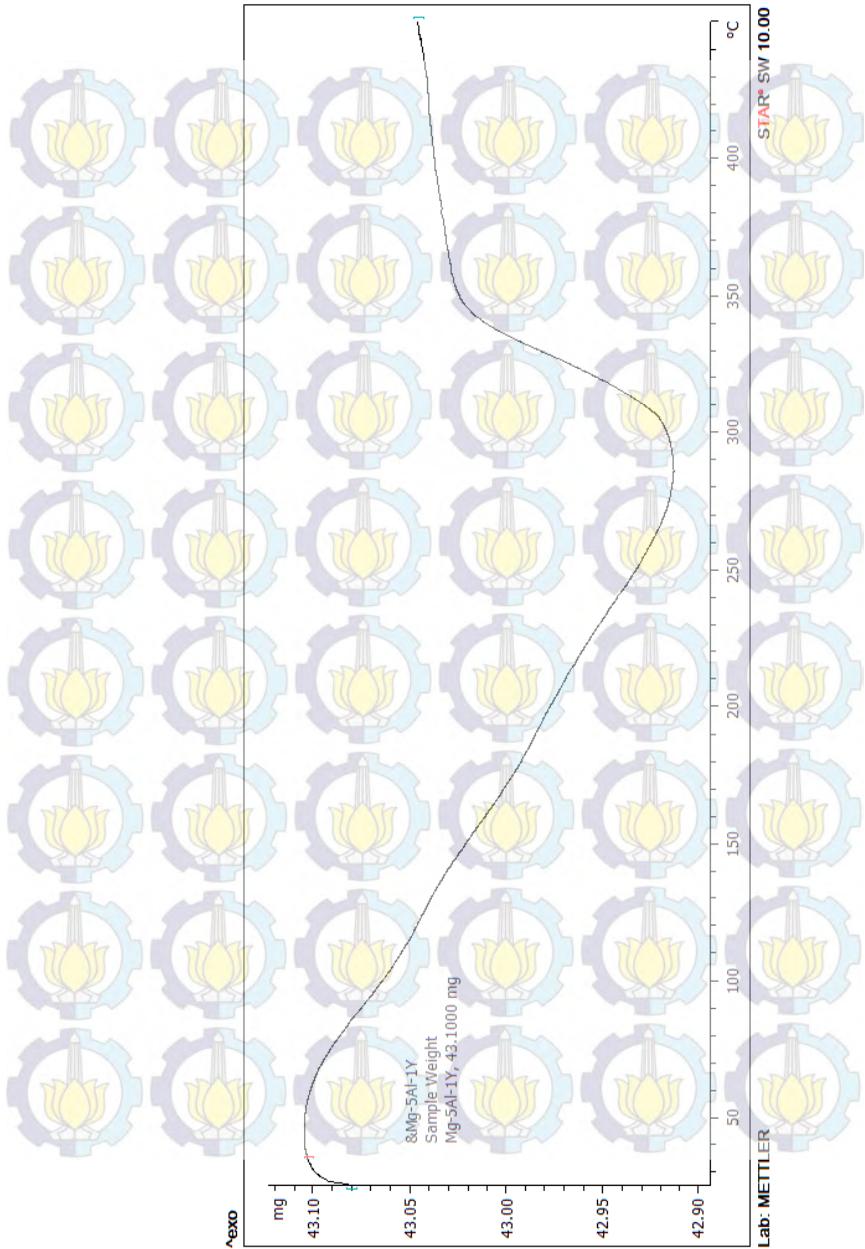
a) Kurva Sample Weight



b) Kurva Heatflow



c) Kurva 1st Derivative Sample Weight

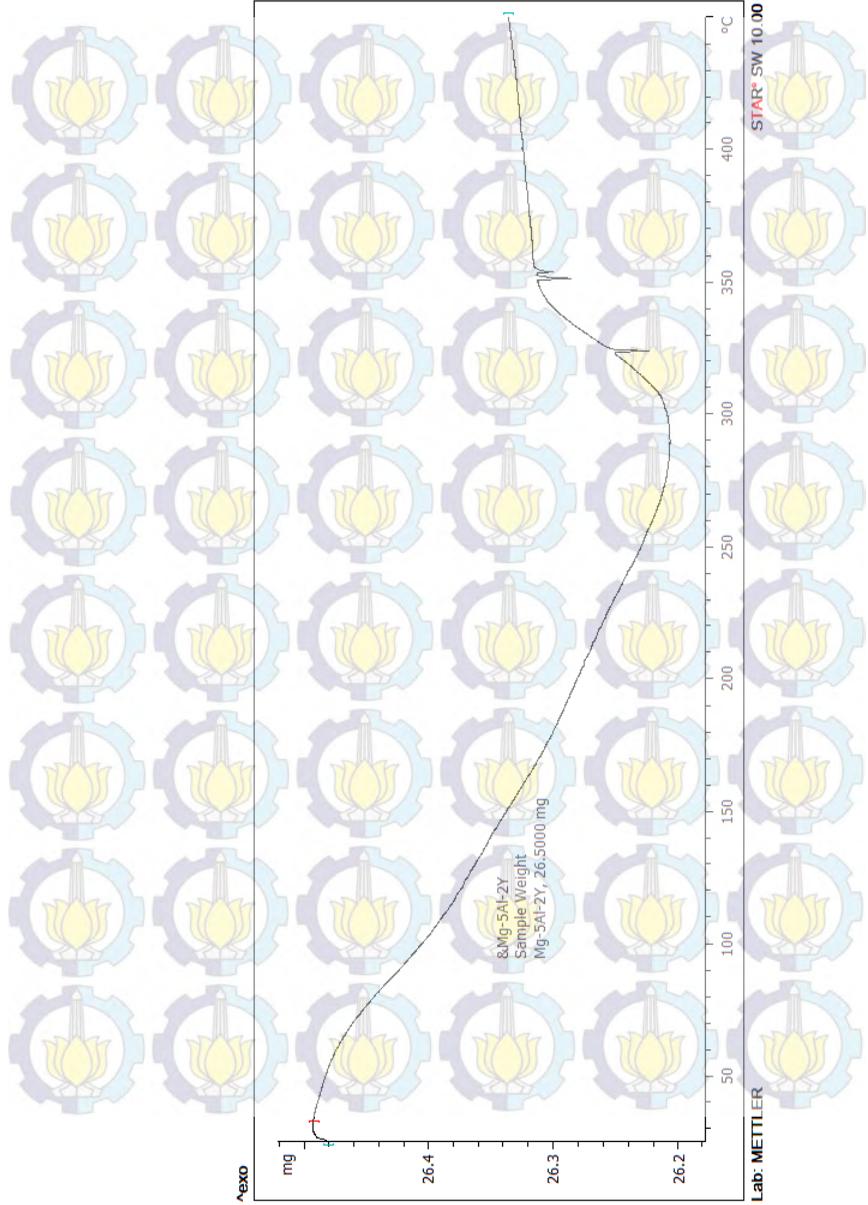


d) Kurva 1st Derivative Heatflow

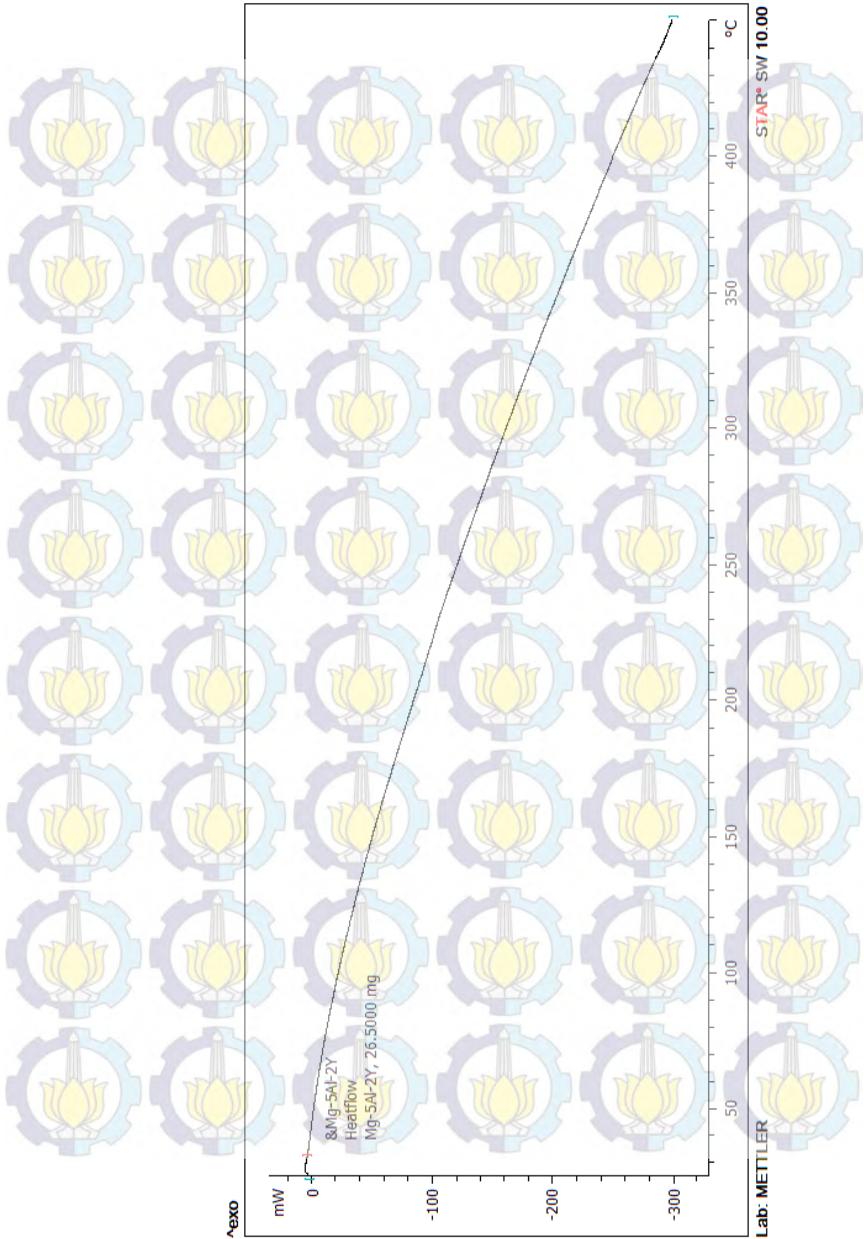


Paduan Mg-5Al-2Y

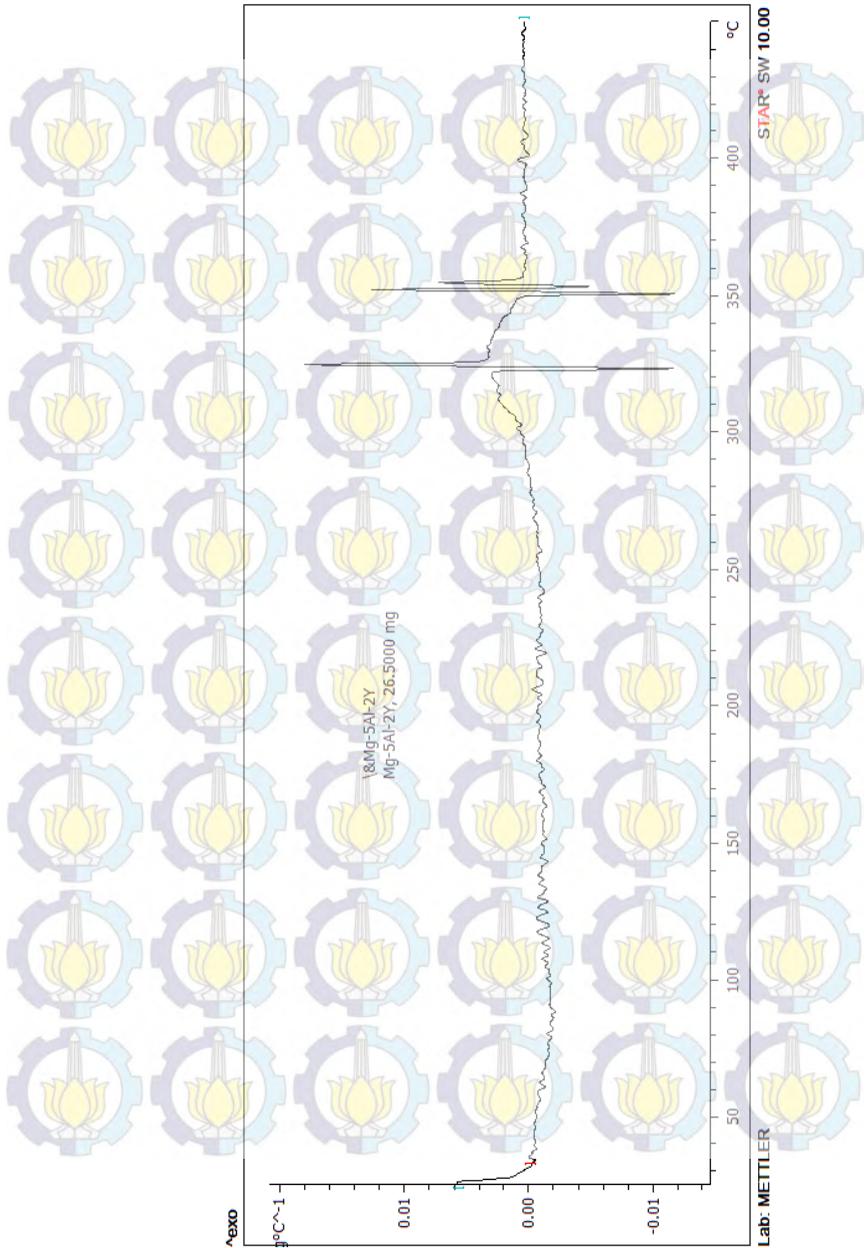
a) Kurva Sample Weight



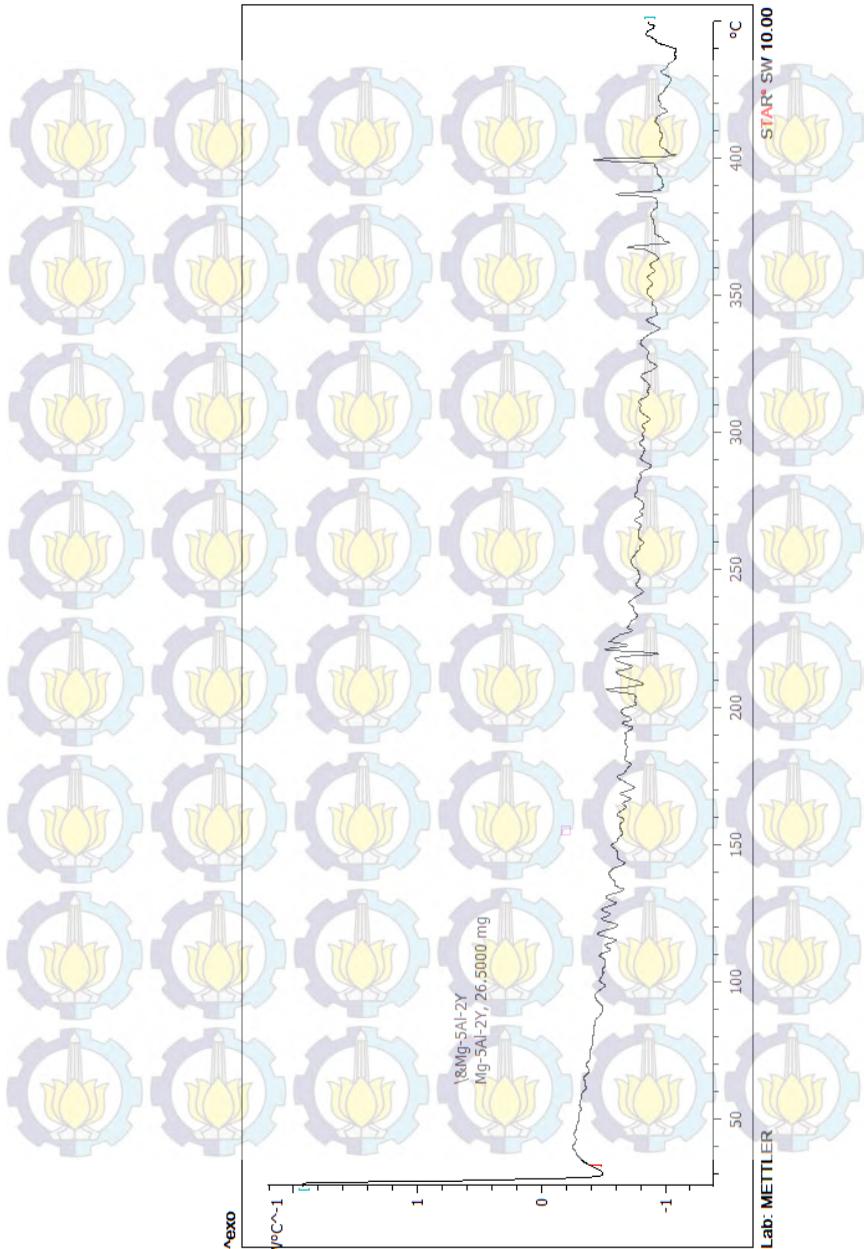
b) Kurva Heatflow



c) Kurva 1st Derivative Sample Weight

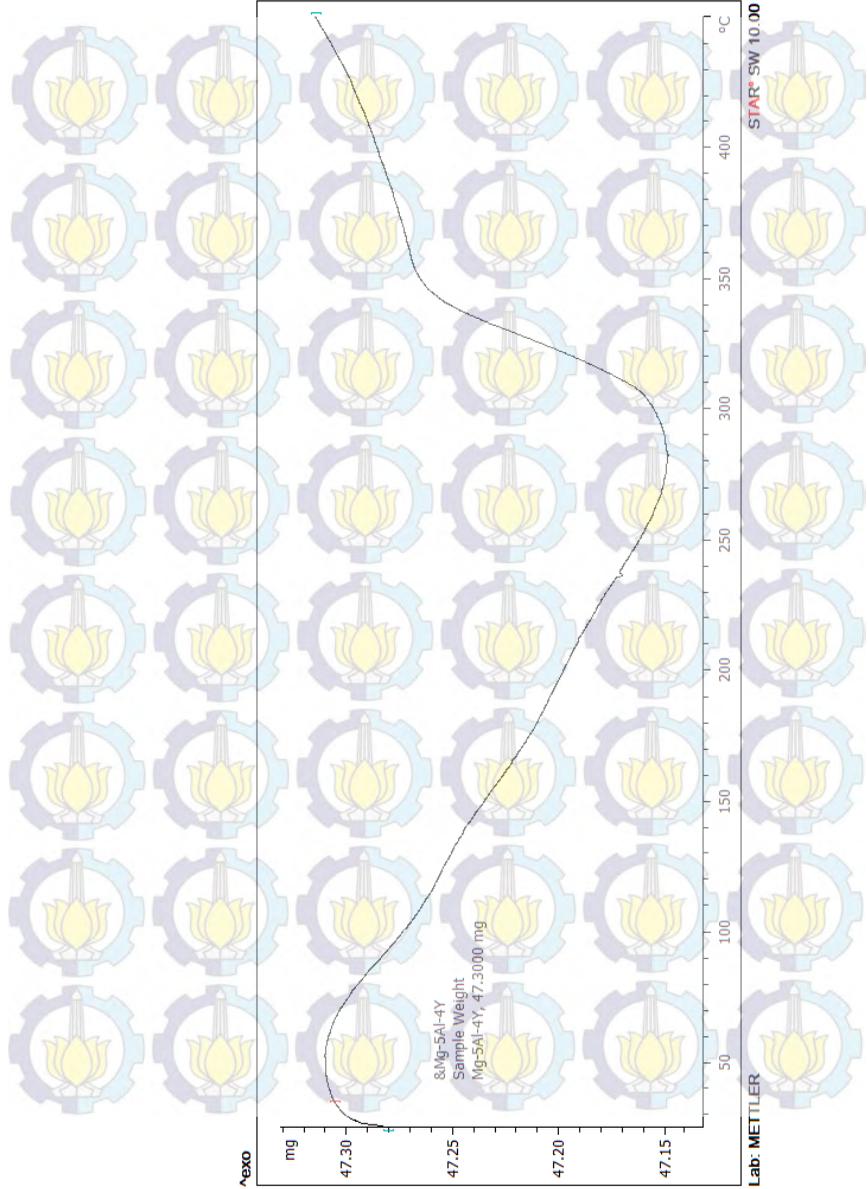


d) Kurva 1st Derivative Heatflow

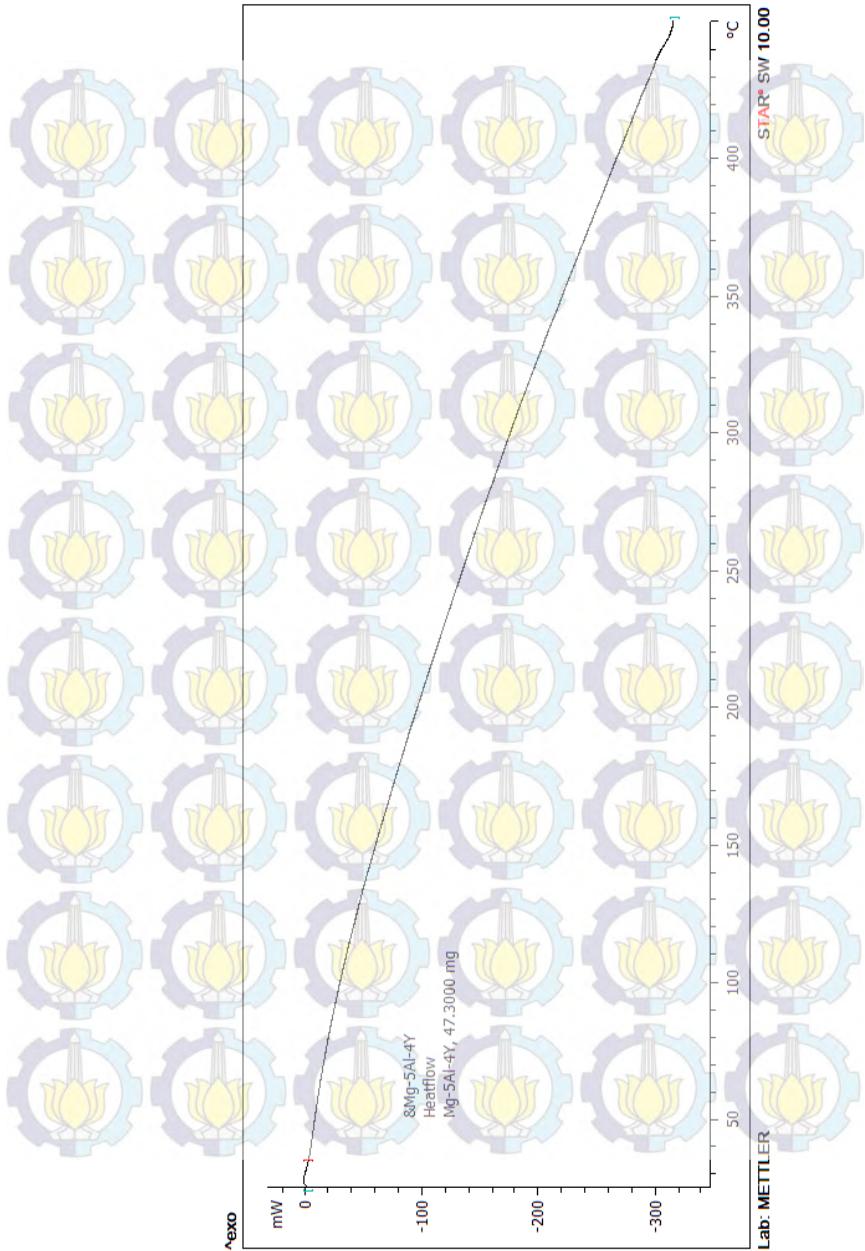


Paduan Mg-5Al-4Y

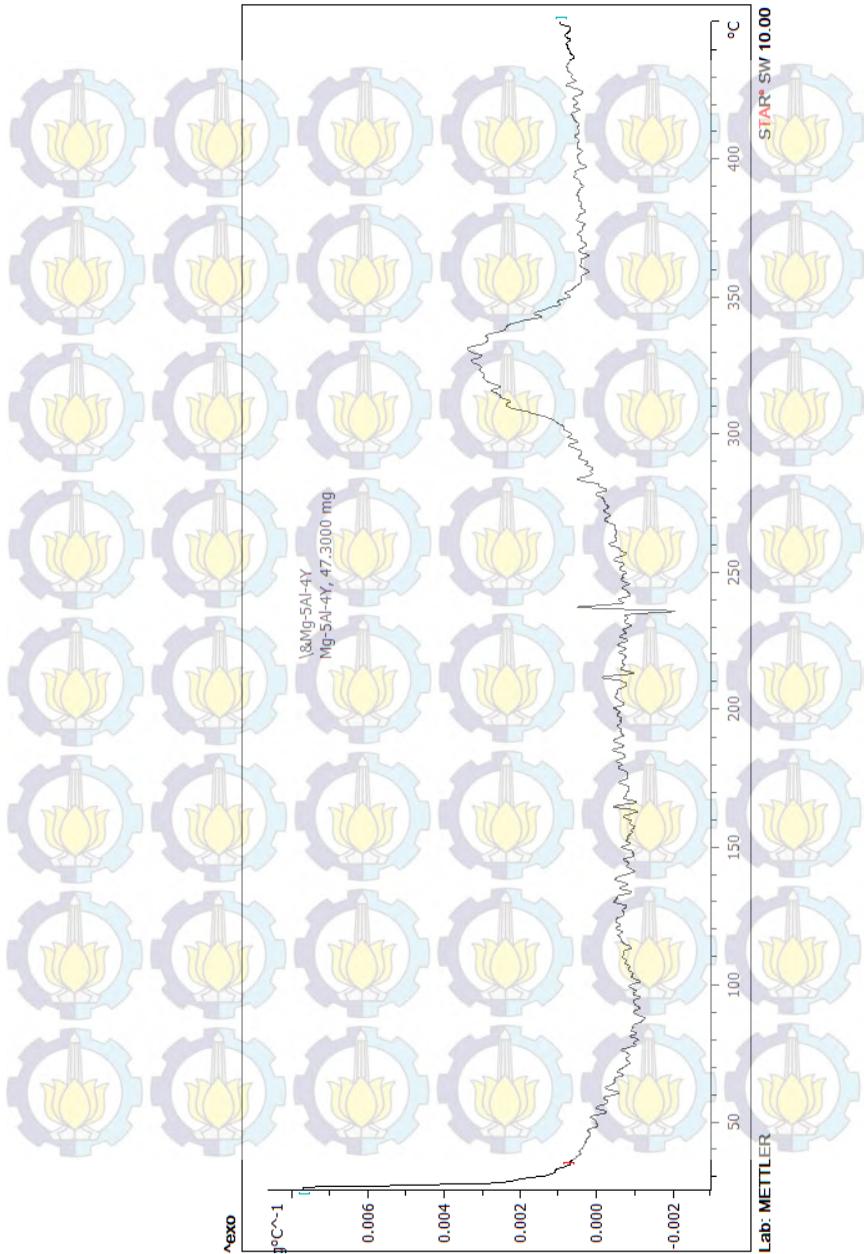
a) Kurva Sample Weight



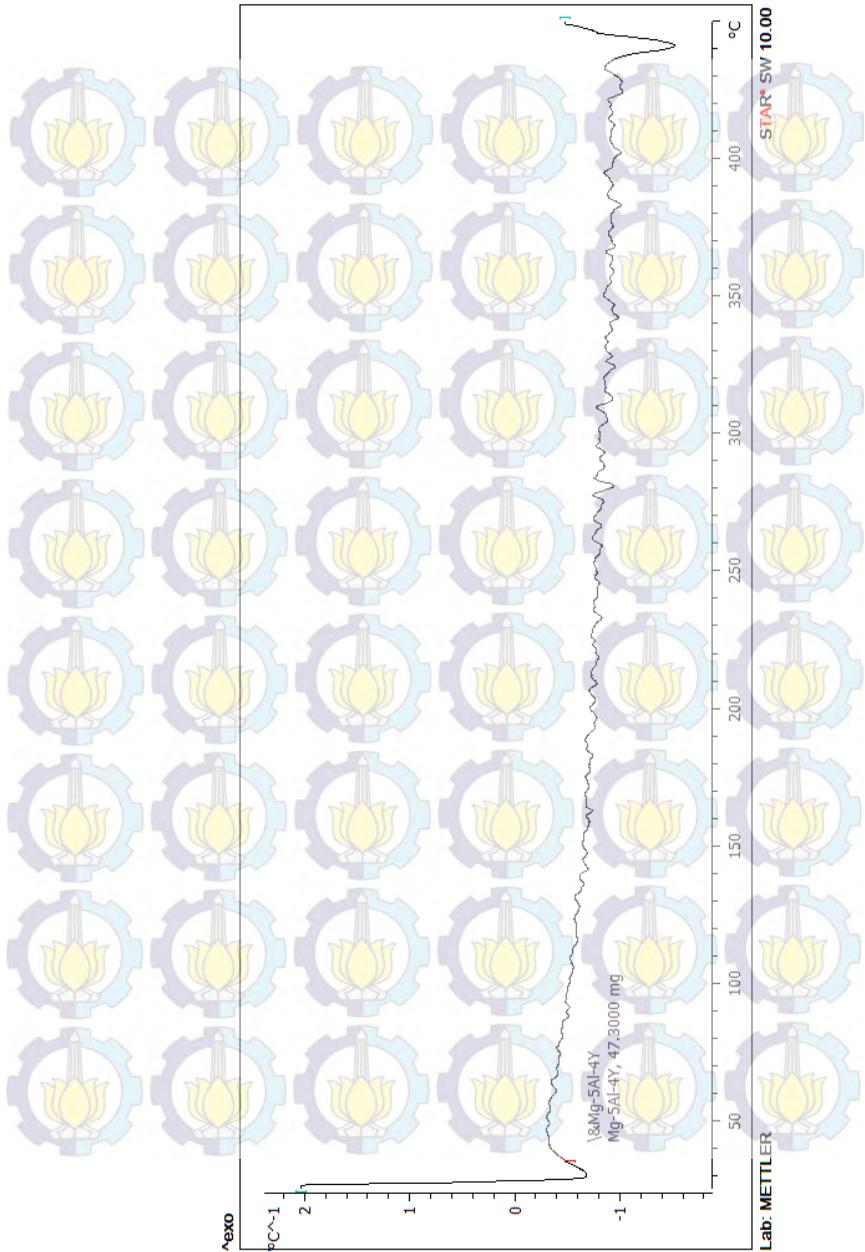
b) Kurva Heatflow



c) Kurva 1st Derivative Sample Weight



d) Kurva 1st Derivative Heatflow



BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Muhammad Sayid Dwi Tantoro dilahirkan di kota Surabaya pada tanggal 3 Februari 1993. Penulis merupakan anak kedua dari empat bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SD Negeri Perak Barat III Surabaya, SMP Negeri 1 Surabaya, dan SMA Negeri 2 Surabaya. Lulus SMA tahun 2011, penulis melanjutkan pendidikan perguruan tinggi di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif di organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi (HMMT) FTI-ITS sebagai Kepala Divisi Dana dan Umum, Unit Kerja Khusus (2013-2014). Semasa kuliah penulis juga melakukan kegiatan *On the Job Training* di PT. Toyota Motor Manufacturing Indonesia. Dan kegiatan perkuliahannya diakhiri dengan melakukan penelitian yang dijadikan Tugas Akhir dengan judul **“Pengaruh Penambahan Yttrium Terhadap Struktur Mikro, Kekerasan, dan Stabilitas Termal pada Paduan Mg-5Al Sebagai Aplikasi Engine Block”**.

Email: muhammad.sayid.dwi@gmail.com