



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TL 141584

ANALISIS PENAMBAHAN SILIKON TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO PADA PADUAN ALUMINIUM SILIKON MAGNESIUM (Al-Si-Mg) UNTUK APLIKASI PISTON

ERI DYA FADLY

NRP. 02511440000036

Dosen Pembimbing

Dr. Eng. Hosta Ardyananta, S.T., M.Sc

Alvian Toto Wibisono, S.T., M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL

Fakultas Teknologi Industri

Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



TUGAS AKHIR - TL141584

ANALISIS PENAMBAHAN SILIKON TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO PADA PADUAN ALUMINIUM SILIKON MAGNESIUM (Al-Si-Mg) UNTUK APLIKASI PISTON

ERI DYA FADLY
NRP. 0251144000036

Dosen Pembimbing :
Dr. Eng. Hosta Ardyananta, S.T., M.Sc
Alvian Toto Wibisono, S.T., M.T

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2018

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT - TL141584

ANALYSIS OF ADDITIONAL SILICON ON MECHANICAL PROPERTIES AND MICROSTRUCTURE OF ALUMINIUM SILICON MAGNESIUM ALLOYS (Al-Si-Mg) FOR PISTON APPLICATION

ERI DYA FADLY
NRP. 0251144000036

Advisor:
Dr. Eng. Hosta Ardyananta, S.T., M.Sc
Alvian Toto Wibisono, S.T., M.T

MATERIALS ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya
2018

(This page is left intentionally blank)

**ANALISIS PENAMBAHAN SILIKON TERHADAP SIFAT
MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO PADA PADUAN
ALUMINIUM SILIKON MAGNESIUM (Al-Si-Mg) UNTUK
APLIKASI PISTON**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Material
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Oleh :

ERI DYA FADLY
Nrp. 0251144000036

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dr. Eng. Hosta Ardyananta, ST, M.Sc(Pembimbing I)
2. Alvian Toto Wibisono, ST, MT(Pembimbing II)



**ANALISIS PENAMBAHAN SILIKON TERHADAP
SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO PADA
PADUAN ALUMINIUM SILIKON MAGNESIUM
(Al-Si-Mg) UNTUK APLIKASI PISTON**

Nama Mahasiswa : Eri Dya Fadly
NRP : 0251144000036
Jurusan : Teknik Material dan Metalurgi
Pembimbing : Dr.Eng.Hosta Ardyananta,S.T., M.Sc
Alvian Toto Wibisono, S.T., M.T

Abstrak

Piston merupakan komponen mesin yang membentuk ruang bakar dengan silinder blok dan silinder head. Kondisi kerja dari piston berada pada temperatur 350-500^oC dan tekanan berkisar 3,5-10 MPa. Oleh karena itu untuk komponen piston motor membutuhkan material yang kuat, serta tidak mengalami kegagalan pada temperatur tinggi. Adapun bahan piston umumnya menggunakan paduan AlSi yaitu logam paduan M124 (AlSi12CuMgNi). Namun untuk mendapatkan sifat mekanik yang maksimal khususnya pada kekerasn dan kekuatan tarik, maka dalam penelitian ini dilakukan pengamatan terhadap penambahan silikon (8, 10, 12, 14%) pada paduan Al-Si-Mg dengan tujuan agar sifat mekaninya meningkat. Metode yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan *sand casting*. Pengujian yang dilakukan untuk menganalisis material ini adalah uji komposisi, uji XRD, uji kekuatan tarik (*tensile stress*), uji kekerasan, dan uji metalografi,. Setelah pengujian maka didapatkan bahwa logam paduan Al-Si-Mg membentuk fasa α Al, fasa Si dan fasa MgO pada hasil pengujian XRD . Fasa Si terdiri dari bagian terang sedangkan fasa eutektik tersusun *lamellar* (α Al dan Si) untuk bagin gelap dikarenakan terkorosi pada pengamatan dibawah struktur mikro. Pada hasil uji

kekuatan tarik nilai terbesar terdapat pada paduan Al-12Si-Mg sebesar 94,04 Mpa, dan untuk kekerasan terbesar yaitu pada paduan Al-14Si-Mg dengan nilai sebesar 70,98 HV. Sedangkan untuk nilai kekuatan tarik dan kekerasan paling rendah yaitu pada paduan Al-8Si-Mg 84,1 MPa, dan 64,6 HV.

Kata kunci: Piston, sand casting, paduan Al-Si-Mg, struktur mikro, sifat mekanik

**ANALYSIS OF ADDITIONAL SILICON ON
MECHANICAL PROPERTIES AND MICROSTRUCTURE
OF ALUMINIUM SILICON MAGNESIUM ALLOYS (Al-
Si-Mg) FOR PISTON APPLICATION**

Name of Student : Eri Dya Fadly
NRP : 0251144000036
Major : Material Engineering
Advisor : Dr.Eng.Hosta Ardyananta,S.T., M.Sc
Alvian Toto Wibisono, S.T., M.T

Abstract

Piston is the engine components that form the combustion chamber with cylinder block and cylinder head. The working conditions of the piston are at 350-500°C and pressure ranges from 3.5 to 10 MPa. Therefore, for motor piston components require a strong material, and do not experience failure at high temperatures. The piston material is generally using AlSi alloy that is metal alloy M124 (AlSi12CuMgNi). However, in order to obtain maximum mechanical properties, especially on hardness and tensile strength, in this study, we observed the addition of silicon (8, 10, 12, 14%) in Al-Si-Mg alloy in order to increase the mechanical properties. The method used in this research using sand casting. Tests conducted to analyze this material are compositional test, XRD test, tensile strength test, hardness test, and metallographic test. After testing it was found that Al-Si-Mg alloys form the α Al, Si and MgO phases in XRD test results. The Si phase is composed of bright parts while the eutectic phase is lamellar (α Al and Si) for darkness due to corrosion of observations under the microstructure After testing, it was found that the highest value of tensile strength test was found in Al 12Si-Mg alloy 94,04 Mpa, and for the biggest hardness that is Al-14Si-Mg alloy with value equal to 70,98 HV. As for the value of tensile strength and the lowest hardness is the Al-8Si-Mg 84.1 MPa, and 64.6 HV.

Keywords: Piston, sand casting, Al-Si-Mg alloy, microstructure, mechanical properties

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat, anugerah, serta karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir serta menyusun laporan Tugas Akhir dengan judul **“Analisis Penambahan Silikon Terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Pasa Paduan Aluminium Silikon Magnesium (Al-Si-Mg) Untuk Aplikasi Piston”**. Laporan tugas akhir ini dibuat untuk melengkapi Mata Kuliah Tugas Akhir yang menjadi salah satu syarat kelulusan mahasiswa di Departemen Teknik Material Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, laporan tugas akhir ini tidak dapat terselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada pihak yang telah memberikan dukungan, bimbingan, dan kesempatan kepada penulis hingga laporan tugas akhir ini dapat diselesaikan, diantaranya:

1. Kedua orang tua dan keluarga yang telah memberikan banyak doa, dukungan, semangat, cinta kasih, motivasi, dan inspirasi.
2. Dr. Eng. Hosta Ardhyananta ST., M.Sc. selaku Koordinator Tugas Akhir Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS serta selaku menjadi dosen pembimbing 1. Dan Alvian Toto Wibisono, S.T.,M.T selaku dosen pembimbing 2.
3. Dr. Agung Purniawan, ST., M,Eng selaku Ketua Departemen Teknik Material FTI – ITS.
4. Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., PhD. selaku dosen wali yang sangat mengayomi selama penulis menjalani pendidikan di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi.

5. Seluruh dosen dan karyawan Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS yang telah membimbing penulis hingga terciptanya laporan ini.
6. Rekan-rekan mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi.
7. Serta seluruh pihak yang belum bisa dituliskan satu per satu oleh penulis. Terimakasih atas dukungan dan bantuan teman-teman sekalian.

Penulis berharap laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi seluruh pihak yang membaca. Penulis juga menyadari masih terdapat banyak kekurangan dalam penulisan laporan tugas akhir ini, sehingga penulis sangat menerima kritik dan saran dari para pembaca yang dapat membangun demi kesempurnaan laporan tugas akhir ini.

Surabaya, 4 Januari 2018
Penulis,

Eri Dya Fadly
0251144000036

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xxvii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Piston	5
2.2 Material Piston	7
2.3 Aluminium	11
2.4 Silikon	11
2.5 Magnesium.....	12
2.6 Paduan Aluminium.....	13
2.7 Paduan M124 (AlSi12CuMgNi)	17
2.8 Pengecoran	23
2.9 <i>Sand Casting</i>	24
2.10 <i>Srinkage Allowance</i>	27
2.11 <i>Draft Allowance</i>	29
2.12 <i>Manchining Allowance</i>	31
2.13 Perlakuan Pasir Cetak.....	32
2.14 <i>Crucible Furnace</i>	35
2.15 <i>Mass Balance</i>	39
2.16 Proses <i>Finishing</i> Hasil Coran	40
2.16.1 Memisahkan Coran dengan Cetakan	40
2.16.2 Penyingkiran <i>Downsprue</i> dan <i>Riser</i>	41
2.16.3 Penyelesaian (<i>Finishing</i>)	41
2.17 Cacat Pada Coran	42

2.18 Diagram Ellingham	43
2.19 Penelitian Sebelumnya	45
2.19.1 Penelitian Uji Kekerasan Paduan Al-Si	45
2.19.2 Penelitian Uji Kekuatan Tarik Paduan Al-Si.....	45
2.19.3 Penelitian Uji Metallografi Paduan Al-Si.....	47
BAB III METODOLOGI	
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	51
3.2 Material yang Digunakan	53
3.3 Peralatan	55
3.4 Variabel Percobaan.....	59
3.5 Prosedur Percobaan	59
3.5.1 Prosedur Pengecoran	59
3.5.2 Preparasi Cetakan	64
3.6 Proses Pengujian	65
3.6.1 Pengujian Komposisi Kimia.....	65
3.6.2 Pengujian Struktur Mikro	66
3.6.3 Pengujian Kekerasan	67
3.6.4 Pengujian Fasa.....	68
3.6.5 Pengujian Tarik.....	69
3.6.6 Pengujian Porositas.....	70
BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN	
4.1 Pengamatan Hasil Peleburan Paduan Al-Si-Mg.....	71
4.2 Komposisi Kimia Paduan Al-Si-Mg	73
4.3 Pengamatan Hasil XRD Paduan Al-Si-Mg	75
4.4 Pengamatan Struktur Mikro Paduan Al-Si-Mg	78
4.5 Pengujian Porositas Paduan Al-Si-Mg	81
4.6 Pengujian Kekerasan Paduan Al-Si-Mg	83
4.7 Pengujian Kekuatan Tarik Paduan Al-Si-Mg.....	87
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan.....	96
5.2 Saran.....	96
DAFTAR PUSTAKA.....	xix
LAMPIRAN	xxi
BIODATA PENULIS	xxxiii

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Mesin Piston Bensin untuk Mobil.....	5
Gambar 2.2 Bagian-Bagian dari Piston	6
Gambar 2.3 Diagram Fasa Al-Si.....	18
Gambar 2.4 Diagram Fasa Al-Mg	21
Gambar 2.5 Diagram Fasa Al-Mg-Si.....	22
Gambar 2.6 Komposisi Clay.....	25
Gambar 2.7 Komposisi Air.....	25
Gambar 2.8 Istilah-Istilah Sistem Saluran	26
Gambar 2.9 Pembuatan Cetakan Pasir.....	35
Gambar 2.10 Tiga jenis Tungku Krusibel	36
Gambar 2.11 Pemasangan Batu Tahan Api.....	39
Gambar 2.12 Cacat Pengecoran Pada <i>Casting</i>	43
Gambar 2.13 Diagram Ellingham.....	44
Gambar 2.14 Nilai Hasil Kekerasan dari Paduan Al-Si.....	45
Gambar 2.15 Nilai Hasil UTS dari Paduan Al-Si.....	46
Gambar 2.16 Nilai Hasil Yield Strength dari Paduan Al-Si	47
Gambar 2.17 Hasil Struktur Mikro dari Paduan Al-7Si	48
Gambar 2.18 Hasil Struktur Mikro dari Paduan Al-10Si.....	49
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	51
Gambar 3.2 AlSi20 <i>ingot</i>	53
Gambar 3.3 Aluminium (Al) <i>ingot</i>	54
Gambar 3.4 Magnesium (Mg) <i>ingot</i>	54
Gambar 3.5 Tungku Bakar (<i>Burner</i>).....	55
Gambar 3.6 Krusibel Grafit	56
Gambar 3.7 Spesimen Uji Tarik	56
Gambar 3.8 Timbangan Digital	58
Gambar 3.9 Skema Peleburan dengan <i>Crucible Furnace</i>	64
Gambar 3.10 Cetakan Pasir Pada Proses Pengecoran.....	64
Gambar 3.11 Prinsip Pengujian Komposisi Kimia	66
Gambar 3.12 Alur Sinar Pada Pengamatan Metallografi.....	67
Gambar 3.13 Mesin Universal Hardness Tester HBRV 187,5 A	68
Gambar 3.14 Prinsip Kerja XRD.....	69

Gambar 3.15 Mesin Uji Tarik.....	70
Gambar 4.1 Hasil Coran Paduan Al-Si.....	71
Gambar 4.2 Hasil Pengolahan Data XRD untuk Logam Paduan Al-Si	76
Gambar 4.3 Pengamatan Struktur Mikro Paduan Al-Si-Mg (As-Cast).....	79
Gambar 4.4 Pengaruh Penambahan Unsur Si terhadap Kekerasan Paduan Al-Si-Mg.....	84
Gambar 4.5 Pola Patahan Hasil Pengujian Tarik Paduan Al-Si-Mg	87
Gambar 4.6 Pengaruh Penambahan Unsur Si terhadap Nilai <i>Ultimate Tensile Strength</i> Paduan Al-Si-Mg	89
Gambar 4.7 Perbandingan Nilai Kekuatan Tarik Material M124 (AlSi12CuMgNi) dengan Logam Al-Si-Mg.....	93
Gambar 4.8 Perbandingan Nilai Kekerasan Material M124 (AlSi12CuMgNi) dengan Logam Al-Si-Mg.....	93

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komposisi Kimia Piston Paduan Aluminium.....	9
Tabel 2.2 Sifat Fisisk dan Mekanik Piston Paduan Aluminium	10
Tabel 2.4 Karakteristik dan Sifat Mekanik Logam Aluminium	11
Tabel 2.5 Karakteristik dan Sifat Mekanik Logam Silikon	12
Tabel 2.6 Karakteristik dan Sifat Mekanik Logam Magnesium	12
Tabel 2.7 Komposisi Paduan M124 (AlSi12CuMgNi)	17
Tabel 2.8 <i>Mechanical properties Of Auminum Alloy M124</i> (AlSi12CuMgNi).....	18
Tabel 2.9 <i>Shrinkage Allowance</i>	28
Tabel 2.10 Nilai <i>Draft Pattern</i>	30
Tabel 2.10 <i>Machining Allowance</i>	32
Tabel 2.11 Temperatur Penuangan untuk Berbagai Coran.....	33
Tabel 2.12 Bahan-Bahan Penyusun Cetakan Pasir (<i>Sand Casting</i>)	34
Tabel 2.13 Sifat-Sifat Batu Tahan Api	38
Tabel 3.1 Perhitungan Gating Sistem	62
Tabel 3.2 Komposisi <i>Raw Material</i> Input	63
Tabel 4.1 Komposisi Kimia Paduan Al-Si-Mg.....	74
Tabel 4.2 Jumlah Porositas Logam Paduan Al-Si-Mg	82
Tabel 4.3 Nilai Kekerasan Paduan Al-Si-Mg	84
Tabel 4.4 Nilai Ultimate Tensile Strength Paduan Al-Si-Mg..	89
Tabel 4.5 Nilai Kekuatan Tarik Material M124 (AlSi12CuMgNi) dengan Paduan Al-Si-Mg	92

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Aluminium merupakan logam *non-ferrous* yang paling banyak digunakan. Aluminium memiliki densitas 2.7 g/cm^3 . Dikarenakan pemakaian aluminium dalam dunia industri yang semakin tinggi, menyebabkan pengembangan sifat dan karakteristik aluminium terus menerus ditingkatkan. Aluminium dalam bentuk murni memiliki kekuatan yang rendah dan tidak cukup baik digunakan untuk aplikasi yang membutuhkan ketahanan deformasi dan patahan, maka dari itu perlu ditambahkan unsur lain untuk meningkatkan kekuatannya. Aluminium dalam bentuk paduan yang sering dikenal dengan istilah *aluminium alloy* merupakan jenis aluminium yang digunakan cukup besar saat ini. Semua jenis paduan Aluminium mengandung dua atau lebih unsur kimia yang mampu mempengaruhi sifat mekanik dari paduan tersebut. (ASM Metal Handbook Volume 9, 2004). Paduan Aluminium sangat banyak diaplikasikan di berbagai bidang seperti pembangkit tenaga, militer, alat transportasi, serta di dunia industri.

Salah satu aplikasi yang diaplikasikan pada dunia industri yaitu logam Aluminium-silikon (AlSi). Logam Aluminium-silikon digunakan sebagai material bahan baku dalam membuat komponen piston motor. Salah satu alasan yang menyebabkan paduan AlSi diaplikasikan pada piston dikarenakan memiliki sifat mekanik yang bagus antara lain memiliki kemampuan untuk di cor yang baik (*castability*), mempunyai sifat kekuatan tarik dan kekerasan yang tinggi, memiliki ketahanan korosi yang baik serta dapat diberikan perlakuan panas untuk meningkatkan sifat mekaniknya.

Piston merupakan salah satu komponen dalam mesin yang berfungsi sebagai penerima tekanan hasil pembakaran campuran gas dan meneruskan tekanan tersebut untuk memutar poros engkol (*crank shaft*) melalui batang piston (*connecting*



rod), Secara singkat fungsi dari piston adalah untuk mengubah energi atau tekanan yang dilepaskan menjadi energi mekanis. Piston merupakan komponen penting yang tidak akan berhenti bergerak selama mesin kendaraan masih tetap hidup. Kondisi kerja dari piston berada pada temperatur 350-500^oC dan tekanan berkisar 3,5-10 MPa. Oleh karena itu untuk komponen piston motor dibutuhkan material yang kuat, serta tidak mengalami kegagalan pada temperatur tinggi. Adapun bahan piston umumnya menggunakan paduan AlSi dengan jumlah persen berat komposisi Si yang bervariasi dari mulai 12-25%. Namun yang biasanya dijadikan sebagai bahan material pembuat piston adalah logam paduan M124 (AlSi12CuMgNi).

Paduan logam M124 (AlSi12CuMgNi) merupakan tergolong paduan Aluminium dengan kandungan Si sebanyak 12% dengan kandungan unsur penyusun lain seperti Cu, Mg, dan Ni sebesar 0,8-1,3%. Sifat dan karakteristik yang dimiliki oleh material M124 (AlSi12CuMgNi) memang sudah sesuai untuk aplikasi piston. Material ini memiliki nilai ultimate tensile strength sebesar 200 MPa dan yield strength sebesar 190 MPa menunjukkan bahwa material M14 (AlSi12CuMgNi) merupakan material yang kuat. Tidak hanya kuat material M124 (AlSi12CuMgNi) juga cukup keras ditunjukkan dengan nilai kekerasan yang dimiliki paduan ini sebesar 136 HV.

Dari semua kelebihan sifat mekanik yang dimiliki, material ini juga mempunyai kekurangan salah satunya ialah mempunyai sifat mampu untuk di mesin dan wear resistance yang buruk sehingga diperlukan penelitian mengenai pepaduan Aluminium silikon dengan mengatur variasi penambahan silikon (Si) yang sesuai agar dapat meningkatkan machineability dari material paduan AlSi yang biasa diaplikasikan untuk piston. Untuk variasi penambahan Si yang dilakukan adalah sebesar 8, 10, 12, dan 14% Si. Kemudian akan dilihat mengenai pengaruhnya terhadap sifat mekanik dan struktur mikro. Penelitian lebih lanjut paduan Al-Si-Mg untuk aplikasi piston motor dilakukan dengan metode pengecoran.



1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh penambahan Si terhadap struktur mikro pada logam paduan Al-Si-Mg?
2. Bagaimana pengaruh penambahan Si terhadap nilai kekuatan tarik pada logam paduan Al-Si-Mg?
3. Bagaimana pengaruh penambahan Si terhadap nilai kekerasan pada logam paduan Al-Si-Mg?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Menganalisa pengaruh penambahan Si terhadap struktur mikro pada logam paduan Al-Si-Mg
2. Menganalisa pengaruh penambahan Si terhadap nilai kekuatan tarik pada logam paduan Al-Si-Mg
3. Menganalisa pengaruh penambahan Si terhadap nilai kekerasan pada logam paduan Al-Si-Mg

1.4 Batasan Masalah

1. Distribusi paduan dianggap homogen
2. Tekanan dianggap konstan pada saat proses peleburan
3. Kelembaban pasir dianggap terkontrol dan memenuhi standar
4. Proses solidifikasi dilakukan dengan pendinginan lambat di dalam cetakan
5. Panas yang terbuang selama proses peleburan diabaikan
6. Reaksi antara logam cair dengan oksigen diabaikan
7. Reaksi antara cetakan pasir dengan logam diabaikan

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini bermanfaat untuk mengetahui pengaruh penambahan presentase unsur silikon (Si) terhadap struktur mikro dan sifat mekanik yang dihasilkan pada logam paduan Al-Si-Mg. Dengan adanya penelitian ini diharapkan untuk penelitian lebih lanjut, paduan logam Al-Si-Mg yang terbentuk dari proses



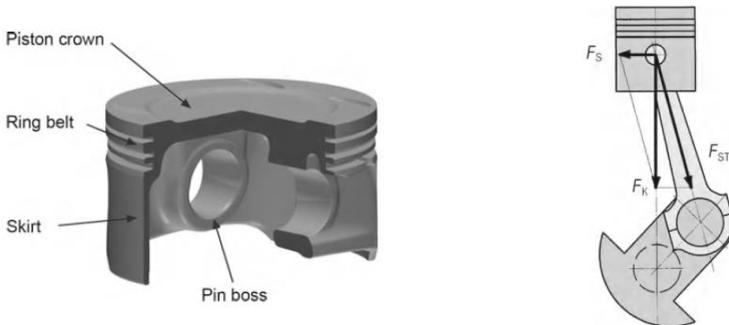
pengecoran ini diharapkan mampu bermanfaat sebagai literatur maupu pengembangan penelitian lainnya pada keilmuan material dan metalurgi khususnya untuk aplikasi piston motor.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Piston

Di dalam silinder sebuah mesin, energi yang terikat pada bahan bakar dengan cepat berubah menjadi panas dan tekanan selama siklus pembakaran. Besar nilai panas dan tekanan akan semakin meningkat dalam waktu yang sangat singkat. Piston menjadi sebuah bagian yang terus bergerak dalam ruang bakar, dan memiliki tugas untuk mengubah energi yang dilepaskan ini menjadi pekerjaan mekanis.

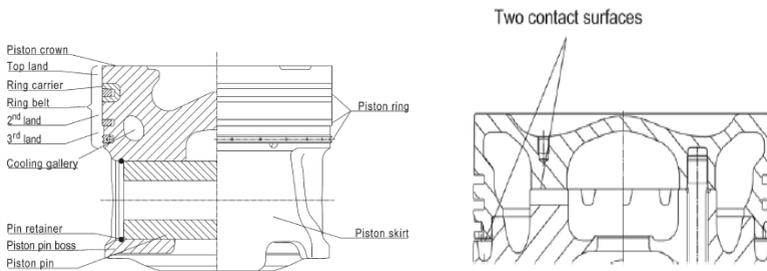
Struktur dasar dari piston adalah silinder berongga, tertutup di satu sisi, dengan susunan bagian terdiri dari *piston crown* dengan *ring belt*, *pin boss*, dan *skirt*. *Piston crown* berfungsi untuk meneruskan tekanan gas hasil dari pembakaran campuran udara dengan bahan bakar melewati *pin boss*, kemudian menuju *pin piston* dan terhubung ke batang penghubung (*connecting road*) sehingga masuk kedalam *crankshaft* (poros engkol). Pada Gambar 2.1 akan ditunjukkan gambaran umum terkait bagian-bagian dari *piston* untuk mobil. (Fachbuch,2016)



Gambar 2.1 Mesin piston mesin untuk mobil (Fachbuch,2016)



Pada saat pemindahan gaya atau tekanan gas hasil pembakaran bahan bakar dan udara di ruang bakar menuju batang penghubung ke *crankshaft* (poros engkol) akan menimbulkan beberapa gaya. Gaya yang pertama terbentuk adalah gaya inersia terhadap *piston crown* yang beresilasi menuju *connecting road* (batang penghubung), sehingga memunculkan gaya-gaya yang lain seperti gaya normal. Sehingga gaya – gaya tersebut berperan untuk memutar *crankshaft* (poros engkol). Adapun desain dari bagian-bagian utama penyusun piston akan ditunjukkan pada Gambar 2.2. (Fachbuch,2016)



Gambar 2.2 Bagian-Bagian dari piston (Fachbuch,2016)

Berikut merupakan bagian-bagian utama dari piston beserta fungsi dari masing-masingnya. (Fachbuch,2016)

- *Piston Crown* berfungsi meneruskan tekanan gas hasil dari pembakaran campuran udara dengan bahan bakar melewati pin boss, kemudian menuju *pin piston* dan terhubung ke batang penghubung (*connecting road*) sehingga masuk kedalam *crankshaft* (poros engkol)
- *Ring grooves* dan alurnya berfungsi sebagai penahan ring piston
- *Piston pin* berfungsi sebagai penghubung piston dengan *connecting rod*
- *Piston skirt* menyangga piston pada silinder supaya kebisingan yang terjadi ketika piston bergerak didalam silinder dapat diredam



2.2 Material Piston

Aluminium murni terlalu lunak untuk digunakan sebagai bahan pembuat piston dan juga untuk bahan keperluan lainnya. Untuk itu terdapat pengembangan untuk memadukannya dengan unsur lain agar sesuai dengan persyaratan dalam pengaplikasiannya pada piston. Terdapat beberapa kriteria yang harus dimiliki oleh material yang akan digunakan sebagai bahan baku piston, antara lain ringan, memiliki kuat panas yang baik dengan *konduktivitas thermal* yang tinggi serta ekspansi koefisien *thermal* yang rendah. Aluminium untuk bahan baku piston pada umumnya dipadu dengan Cu atau Si tergantung pada kedua unsur tersebut yang menjadi paduan utama dengan aluminium.

1. Aluminium – Silikon (Al-Si)

- Paduan eutektik terdiri dari silikon 11% sampai dengan 13% dan untuk jumlah unsur lain seperti Cu, Mg, Ni dan sejenisnya menjadi paduan minor jika dibandingkan dengan mayor paduan yaitu Si. Paduan jenis ini juga termasuk sebagai salah satu material yang digunakan untuk pembuatan piston.
- Paduan hipereutektik mengandung 15% sampai dengan 25% silikon sedangkan untuk unsur tambahan lainnya seperti Cu, Mg, dan Ni. Paduan ini umumnya digunakan pada temperatur yang tinggi dan cocok digunakan pada aplikasi produk yang kondisi kerjanya menuntut agar memiliki ketahanan aus yang besar serta dapat mengurangi ekspansi termal yang terjadi.

2. Aluminium-Tembaga (Al-Cu)

Paduan mayor untuk paduan ini adalah unsur tembaga dan hampir tidak ada silikon sebagai minor paduannya, namun ada sejumlah kecil unsur Ni sebagai minor paduannya dengan maksud memperbaiki kekuatan panasnya. Dibandingkan dengan paduan Al-Si, paduan



ini memiliki ekspansi termal yang lebih besar namun sebaliknya dengan ketahanan aus yang rendah

Piston pada umumnya terbuat dari paduan Al-Si dari komposisi eutektik, dan sebagian dari komposisi hipereutektik dikarenakan dapat di cor dan di tempa dengan mudah. Paduan Al-Si dengan komposisi eutektik sudah sejak lama digunakan sebagai bahan material pembentuk piston bahkan hingga sekarang. Sedangkan untuk paduan Al-Si dengan komposisi hipereutektoid juga biasa digunakan sebagai bahan material piston, adapun kelebihanannya dibanding dengan komposisi eutektik untuk paduan Al-Si ialah memiliki ketahanan aus yang jauh lebih besar. Umumnya paduan Al-Si komposisi hipereutektik digunakan pada mesin piston dua langkah. Contohnya penggunaan paduan komposisi hipereutektik paduan Al-Si dengan jumlah konten Si 14.8-18.0 % digunakan di Amerika Serikat untuk mesin piston mobil. Berikut merupakan komposisi paduan Al-Si yang digunakan untuk pembuatan piston Tabel 2.1. (Fachbuch,2016)



Tabel 2.1 Komposisi kimia piston paduan aluminium
(Fachbuch,2016)

	M124	M126	M138	M244
	AISI12CuMgNi	AISI16CuMgNi	AISI18CuMgNi	AISI25CuMgNi
Si	11.0–13.0	14.8–18.0	17.0–19.0	23.0–26.0
Cu	0.8–1.5	0.8–1.5	0.8–1.5	0.8–1.5
Mg	0.8–1.3	0.8–1.3	0.8–1.3	0.8–1.3
Ni	0.8–1.3	0.8–1.3	0.8–1.3	0.8–1.3
Fe	Max. 0.7	Max. 0.7	Max. 0.7	Max. 0.7
Mn	Max. 0.3	Max. 0.2	Max. 0.2	Max. 0.2
Ti	Max. 0.2	Max. 0.2	Max. 0.2	Max. 0.2
Zn	Max. 0.3	Max. 0.3	Max. 0.3	Max. 0.2
Cr	Max. 0.05	Max. 0.05	Max. 0.05	Max. 0.6
Al	Remainder	Remainder	Remainder	Remainder

	M142	M145	M174+	M-SP25
	AISI12Cu3Ni2Mg	AISI15Cu3Ni2Mg	AISI12Cu4Ni2Mg	AlCu2,5Mg1,5FeNi
Si	11.0–13.0	14.0–16.0	11.0–13.0	Max. 0.25
Cu	2.5–4.0	2.5–4.0	3.0–5.0	1.8–2.7
Mg	0.5–1.2	0.5–1.2	0.5–1.2	1.2–1.8
Ni	1.75–3.0	1.75–3.0	1.0–3.0	0.8–1.4
Fe	Max. 0.7	Max. 0.7	Max. 0.7	0.9–1.4
Mn	Max. 0.3	Max. 0.3	Max. 0.3	Max. 0.2
Ti	Max. 0.2	Max. 0.2	Max. 0.2	Max. 0.2
Zn	Max. 0.3	Max. 0.3	Max. 0.3	Max. 0.1
Zr	Max. 0.2	Max. 0.2	Max. 0.2	–
V	Max. 0.18	Max. 0.18	Max. 0.18	–
Cr	Max. 0.05	Max. 0.05	Max. 0.05	–
Al	Remainder	Remainder	Remainder	Remainder

Berikut merupakan sifat fisik dan mekanik dari piston paduan Aluminium pada Tabel 2.2.



Tabel 2.2 Sifat fisik dan mekanik piston paduan aluminium
(Fachbuch,2016)

Description		M124	M126, M138	M142, M145, M174+	M244	
Hardness HB10	20°C	90–130	90–130	100–140	90–130	
	Tensile strength R_m [MPa]	20°C	200–250	180–220	200–280	170–210
		150°C	180–200	170–200	180–240	160–180
		250°C	90–110	80–110	100–120	70–100
Yield strength $R_{p0.2}$ [MPa]	350°C	35–55	35–55	45–65	35–55	
	20°C	190–230	170–200	190–260	170–200	
	150°C	170–210	150–180	170–220	130–180	
	250°C	70–100	70–100	80–110	70–100	
Elongation at fracture A_5 [%]	350°C	20–30	20–40	35–60	30–50	
	20°C	<1	1	<1	0.1	
	150°C	1	1	<1	0.4	
	250°C	3	1.5	1.5–2	0.5	
Fatigue strength under reversed bending stress σ_{bw} [MPa]	350°C	10	5	7–9	2	
	20°C	90–110	80–100	100–110	70–90	
	150°C	75–85	60–75	80–90	55–70	
	250°C	45–50	40–50	50–55	40–50	
Young's modulus [MPa]	350°C	20–25	15–25	35–40	15–25	
	20°C	80,000	84,000	84,000–85,000	90,000	
	150°C	77,000	80,000	79,000–80,000	85,000	
	250°C	72,000	75,000	75,000–76,000	81,000	
Thermal conductivity λ [W/mK]	350°C	65,000	71,000	70,000–71,000	76,000	
	20°C	145	140	130–135	135	
Thermal expansion α [10^{-6} m/mK]	350°C	155	150	140–145	145	
	20–100°C	19.6	18.6	18.5–19.5	18.3	
	20–200°C	20.6	19.5	19.5–20.5	19.3	
	20–300°C	21.4	20.2	20.5–21.2	20.0	
Density ρ [g/cm ³]	20–400°C	22.1	20.8	21.0–21.8	20.7	
	20°C	2.68	2.67	2.75–2.79	2.65	
Relative wear rate		1	0.8	0.85–0.9	0.6	



2.3 Aluminium

Aluminium adalah logam yang banyak ditemukan pengaplikasiannya dalam kehidupan sehari-hari. Aluminium termasuk kedalam logam yang ringan namun memiliki sifat mekanik yang cukup bagus antara lain memiliki sifat tahan korosi, konduktifitas listrik, dan panas yang tinggi. Akan tetapi dalam keadaan murni aluminium memiliki kekuatan yang rendah, untuk itu dalam penggunaan aplikasinya aluminium akan dipadu dengan unsur lain untuk memperbaiki dan meningkatkan sifat mekaniknya. Berikut merupakan karakteristik dan sifat mekanik dari logam aluminium yang diperlihatkan pada Tabel 2.3. (Groover,2010)

Tabel 2.3 Karakteristik dan Sifat Mekanik Logam Aluminium
(Groover,2010)

Material	Aluminium
<i>Density</i> (g/cm ³)	2.70
<i>Crystal Structure</i>	FCC
<i>Hardness</i> (HB)	20
<i>Yield Strength</i> (MPa)	28
<i>Tensile Strength</i> (UTS) (MPa)	69
<i>Modulus Of Elasticity</i> (MPa)	69 X 10 ³

2.4 Silikon

Silikon merupakan unsur semi logam dalam tabel periodik. Silikon adalah satu unsur logam yang paling melimpah di kerak bumi sekitar 26 %. Unsur ini memiliki struktur kristal yang sama seperti berlian, namun kekerasannya lebih rendah. Beberapa karakteristik yang dimiliki Silikon antara lain tergolong kedalam logam yang semikonduktor, ringan, serta kuat namun rapuh. Berikut merupakan karakteristik dan sifat mekanik dari logam silikon dapat dilihat pada Tabel 2.4. (Groover,2010)



Tabel 2.4 Karakteristik dan Sifat Mekanik Logam Silikon
(Groover,2010)

Material	Silikon
<i>Density</i> (g/cm ³)	2.30
<i>Crystal Structure</i>	<i>Diamond Cubic</i>
<i>Hardness</i> (HV)	1000-1200
<i>Tensile Strength</i> (UTS) (MPa)	113
<i>Modulus Of Elasticity</i> (MPa)	115 X 10 ³

2.5 Magnesium

Magnesium merupakan salah satu logam yang ringan namun memiliki sifat mekanik yang bagus seperti aluminium. Salah satu karakteristik pada logam magnesium selain ringan juga relatif lunak. Namun logam ini tidak memiliki kekuatan yang cukup untuk sebagian besar aplikasi teknik. Namun sifat tersebut dapat diperbaiki dengan menambah unsur lain ataupun memberikan perlakuan panas sehingga dapat meningkatkan dan memperbaiki sifat mekaniknya. Berikut akan dijelaskan beberapa karakteristik yang dimiliki logam magnesium pada Tabel 2.5. (Groover,2010)

Material	Magnesium
<i>Density</i> (g/cm ³)	1.74
<i>Crystal Structure</i>	HCP
<i>Hardness</i> (HB)	20
<i>Yield Strength</i> (MPa)	45
<i>Tensile Strength</i> (UTS) (MPa)	150
<i>Modulus Of Elasticity</i> (MPa)	48 X 10 ³

Tabel 2.5 Karakteristik dan Sifat Mekanik Logam Magnesium
(Groover,2010)



2.6 Paduan Aluminium

Komposisi paduan Aluminium pengecoran bersamaan dengan komposisi paduan tempa berada dalam banyak hal. Pengerasan dan sifat lain yang ingin diinginkan dari material didapat melalui penambahan elemen paduan dan perlakuan panas. Dalam membedakan komposisi paduan tempa dan pengecoran didasarkan pada kemampuan untuk di cor nya. Spesifikasi untuk komposisi kimia untuk paduan Aluminium mencakup elemen utama, kecil dan pengotor. (J.Gilbert Kaufman, 2004)

- Unsur paduan utama menentukan rentang unsur yang berpengaruh pada kemampuan untuk di cor dan perbaikan sifat mekaniknya
- Unsur paduan kecil mempengaruhi perilaku pembekuan, modifikasi struktur eutektik, memperbaiki fasa primer, memperhalus dan membentuk ukuran butir, mendorong atau menekan pembentukan fasa, dan mengurangi oksidasi
- Unsur pengotor mempengaruhi kemampuan untuk di cor dan pembentukan fasa yang tidak larut terhadap waktu

Meskipun sejumlah besar casting paduan Aluminium telah dikembangkan, berikut pengelompokannya (J.Gilbert Kaufman, 2004) :

- Aluminium-Tembaga (2xx)
Paduan Al-Cu telah digunakan secara luas dalam cor dan tempa dengan sifat kekuatan dan ketangguhannya yang dibutuhkan. Paduan ini menunjukkan kekuatan dan kekerasan yang tinggi pada temperatur tinggi. Paduan pengecoran dengan komposisi Cu sampai dengan 10% dengan tanpa perlakuan panas menunjukkan kekuatan dan kekerasan yang meningkat secara signifikan dalam keadaan as-cast. Banyak paduan yang mengandung 4 sampai 5% Cu telah dikembangkan dengan jumlah penambahan magnesium yang bervariasi. Kemudian unsur Ag dapat mempercepat proses *aging* dan mengurangi



resiko *stress corrosion*. Dan dengan unsur pengotor yang terkendali dapat menghasilkan *ductility* yang bagus. Dengan kombinasi antara tensile properties dengan *ductility* dapat menghasilkan sifat ketangguhan yang sangat bagus. Paduan Al-Cu rentan terjadinya retak pada saat proses solidifikasi dan penyusutan dendritik. Untuk menghindarinya teknik pengecoran yang digunakan haruslah tepat. Tembaga merupakan dasar paduan yang digunakan untuk perbaikan sifat mekanik pada temperatur tinggi seiring dengan penambahan nikel.

- Aluminium-Silikon-Tembaga (3xx)
Di antara paduan pengecoran Aluminium yang paling banyak digunakan adalah yang mengandung Si dan Cu. Jumlah penambahan keduanya sangat bervariasi, sehingga keduanya akan lebih mendominasi dibanding dengan unsur pepadu lainnya. Efek dari adanya Cu dalam paduan yaitu pada sifat kekuatan dan sifat mampu untuk dimesin yang meningkat. Sedangkan untuk Si memberikan efek pada meningkatnya sifat kemampuan alir dari coran serta mengurangi panas dari logam cair yang terperangkap pada cetakan. Paduan yang mengandung konsentrasi silikon yang lebih banyak dibanding konsentrasi hipoeutektik biasanya lebih cocok digunakan dalam pengecoran yang lebih kompleks dengan cetakan yang permanen melalui proses die casting. Paduan silikon hipereutektik (12 sampai 30% Si) juga mengandung tembaga. Fasa Si primer menjadikan sifat ketahanan aus yang sangat baik, sedangkan tembaga berperan pada pengerasan matriks dan sifat kekuatannya.
- Aluminium-Silikon (4xx)
Paduan biner untuk Al-Si mempunyai sifat fluidity, castability, dan ketahanan korosi yang sangat baik. Namun paduan ini memiliki kemampuan untuk dimesin yang



buruk. Paduan Al-Si bersifat ringan dan memiliki koefisien ekspansi termal yang rendah.

- Aluminium-Silikon-Magnesium (6xx)

Pada paduan ini Aluminium di padu dengan silikon dan juga magnesium. Paduan ini memiliki sifat mekanik yang terus meningkat setelah diberi proses perlakuan panas. Adapun sifat dari paduan ini antara lain memiliki sifat tahan korosi yang baik, dengan ekspansi termal yang rendah. Meskipun kekuatan paduan ini tidak sebesar paduan Al-Cu dan Al-Si-Cu, kekuatan paduan Al-Si-Mg dikategorikan sebagai paduan dengan sifat kekuatan menengah. Penambahan Be pada paduan ini dapat meningkatkan sifat kekuatan dan keuletan dengan mempengaruhi morfologi dan kimia dari senyawa intermetalik.

- Aluminium-Magnesium (5xx)

Paduan ini terdiri dari Al yang di padukan dengan Mg. Paduan ini memiliki sifat mekanik yang bagus antara lain, tahan terhadap korosi, sifat kemampuan mudah untuk di las, sifat kemampuan mudah untuk dimesin, penampilan fisik yang menarik. Oleh karena sifat mekanik yang dimiliki, paduan ini kerap banyak diaplikasikan penggunaannya secara luas seperti dalam bidang arsitektur, serta dekoratif lainnya. Magnesium yang dipadu dengan Aluminium itu akan meningkatkan laju oksidasinya. Kualitas cor dipengaruhi juga oleh Aluminium oksida dan magnesium. Paduan yang mengandung Mg lebih dari 7% dapat diberikan perlakuan panas. Adapun maksud pemberian perlakuan panas adalah untuk memperbaiki sifat mekaniknya



- Aluminium-Zinc-Magnesium (7xx)
Paduan ini mengalami natural age dalam kurun waktu 20-30 hari pada suhu kamar setelah proses pengecoran. Pembekuan yang cepat pada paduan ini dapat menghasilkan mikrosegresi pada fasae Mg-Zn yang mengurangi sifat keras. Perlakuan panas bisa di berikan untuk memperbaiki sifat mekaniknya apabila sifat mekanik tersebut tidak berubah dengan adanya natural age. Perlakuan *artificial aging* dapat digunakan untuk mempercepat proses pengerasan,serta juga perlakuan annealing untuk memperbaiki bentuk dan struktur yang lebih stabil. Paduan ini memiliki sifat kekuatan tarik bagus pada kondisi *as-cast*. Titik lebur pada paduan ini termasuk tinggi. Paduan ini juga memiliki sifat kemampuan untuk di mesin dan tahan terhadap korosi yang bagus. Komposisi kimia dari paduan lain harus di kontrol untuk meminimalkan terjadinya kerentanan terhadap tegangan korosi, namun kemampuan untuk di cor nya buruk.
- Aluminium-Tin (8xx)
Tin adalah elemen paduan utaman dalam komposisi paduan ini. Umumnya digunakan sebagai bahan dari bantalan.adapaun paduan lain yang dipadu dengan Aluminium selain tin adalah bismuth, timbal,dan kadmium namun dengan jumlah konsentrasi yang lebih sedikit. Tujuannya adalah untuk memberikan sifat pemesinan yang bagus. Paduan yang mengandung 5-7% Sn digunakan secara luas untuk bantalan, adapun kriteria suatu bahan agar dapat dijadikan sebagai bahan material untuk bantalan adalah *fatigue strength*, *compressive strength*, dan tahan terhadap korosi. Penambahan unsur lain seperti Cu, Ni, Mg, mempengaruhi sifat kekerasan dan kekuatan, sedangkan Si ditambahkan untuk meningkatkan sifat kemampuan untuk di cor, mengurangi



panas dari logam cair yang terperangkap dalam cetakan, dan meningkatkan sifat kekuatan tekannya.

2.7 Paduan M124 (AlSi12CuMgNi)

Paduan M124 (AlSi12CuMgNi) banyak digunakan di dunia industri otomotif salah satunya adalah komponen piston motor. Tipe paduan ini mengandung silikon (Si) dengan *range* 11,0-13,0% dan Magnesium (Mg) sebagai elemen paduan minor dengan komposisi sebesar 0,8-1,3%. Berikut merupakan Tabel 2.6 menunjukkan komposisi dari paduan M124 (AlSi12CuMgNi).

Tabel 2.6 Komposisi Paduan M124 (AlSi12CuMgNi)
(Fachbuch,2016)

Materials	Si (%)	Cu (%)	Mg (%)	Ni (%)	Fe (%)	Mn (%)	Ti (%)	Zn (%)	Cr (%)	Ar (%)
M124 (AlSi12CuMgNi)	11,0-13,0	0,8-1,5	0,8-1,3	0,8-1,3	Max 0,7	Max 0,3	Max 0,2	Max 0,3	Max 0,05	Remainder

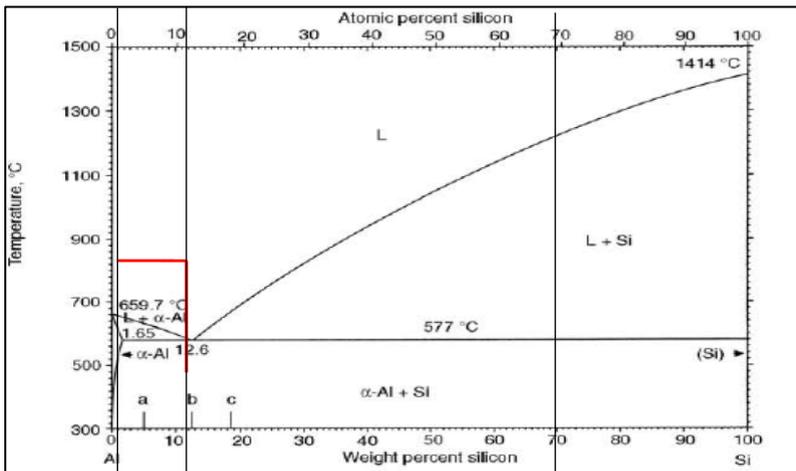
Paduan M124 (AlSi12CuMgNi) adalah salah satu jenis material yang banyak penerapannya pada industri maju karena memiliki keunggulan dari sisi: kemampuan untuk dapat di cor mudah, kekuatan yang tinggi namun ringan, serta tahan terhadap korosi (Husaini, 2006). Paduan ini memiliki sifat mampu cor yang baik, memiliki kekuatan tarik dan kekerasan yang tinggi. Namun memiliki kekurangan berupa kemampuan mesin yang buruk. Dengan adanya penambahan unsur lain seperti silikon sebagai elemen paduan utama maka, unsur silikon akan mempengaruhi sifat mekanik yang di padukan dengan unsur Aluminium. Sedangkan untuk Mg berperan sebagai elemen minor tambahan yang juga akan mempengaruhi sifat mekanik dan struktur mikro dari logam paduan M124 (AlSi12CuMgNi). Tabel 2.7 akan memperlihatkan sifat mekanik dari logam paduan ini. (Fachbuch,2016)



Tabel 2.7 *Mechanical properties of aluminum alloy M124 (AlSi12CuMgNi).* (Fachbuch,2016)

No	Paduan	Ultimate Tensile Stress (MPa)	Yield Strength (MPa)	Hardnes (HV)
1	M124 (AlSi12CuMgNi)	200-250	190-230	94-136

Dari penjelasan diatas telah dijelaskan bahwa paduan M124 (AlSi12CuMgNi) adalah paduan berbahan dasar Aluminium dengan silikon, dan magnesium. Berikut akan dijelaskan terkait diagram fasa antara paduan Aluminium-silikon, Aluminium- magnesium, dan Aluminium-silikon-magnesium. Adapun tujuannya adalah memperlihatkan fasa yang terbentuk pada masing-masing diagram fasa yang diakibatkan penambahan unsur lain pada unsur Aluminium. Gambar 2.3 merupakan diagram fasa dari paduan Aluminium-silikon.



Gambar 2.3 Diagram Fasa Al-Si (ASM international, 1992)



Paduan Al-Si memiliki sifat mampu cor yang baik, tahan korosi, dapat diproses dengan permesinan dan dapat dilas. Kandungan silikon pada diagram fasa Al-Si ini terdiri dari 3 macam yaitu :

- a. *Hipoeutectic* yaitu apabila terdapat kandungan silikon $< 11.7\%$ dimana struktur akhir yang terbentuk pada fasa ini adalah struktur ferrite (*alpha*) kaya Aluminium, dengan struktur eutektik sebagai tambahan.
- b. *Eutectic* yaitu apabila kandungan silikon yang terkandung didalamnya sekitar 11.7% sampai 12.2% Pada komposisi ini paduan Al-Si dapat membeku secara langsung (dari fasa cair ke padat).
- c. *Hypereutectic* yaitu apabila komposisi silikon diatas 12.2% sehingga kaya akan silikon dengan fasa eutektik sebagai fasa tambahan. Keberadaan struktur kristal silikon primer pada daerah ini mengakibatkan karakteristik yaitu :
 1. Ketahanan aus paduan meningkat.
 2. Ekspansi termal yang rendah.
 3. Memiliki ketahanan retak panas (*hot trearing*) yang baik.

Fungsi lain dari unsur silikon dapat mereduksi koefisien ekspansi termal dari paduan aluminium. Selama pemanasan terjadi, pemuaian volume paduan tidak terlalu besar. Hal ini akan menjadi sangat penting saat proses pendinginan. (ASM International, 1993)

Pada diagram fasa di atas untuk garis komposisi pertama (98% Al dan 2% Si), α (struktur kristal fcc) dan β (struktur kristal bcc) digunakan untuk menunjukkan dua fasa yang berbeda masing-masing digunakan untuk menunjukkan fasa Al dan Si. Dari diagram fasa di atas kita dapat menganalisa, bahwa suatu paduan yang terdiri dari kira-kira 98% Al dan 2% Si dipanaskan secara perlahan dari temperatur ruang hingga 1500°C . Maka fasa yang terjadi selama proses pemanasan berlangsung pada temperatur ruang hingga 550°C terbentuk fasa α + eutektik (struktur ferrite (*alpha*) Aluminium, dengan struktur eutektik α Al dan β Si yang tersusun secara *lamellar*) , untuk temperatur

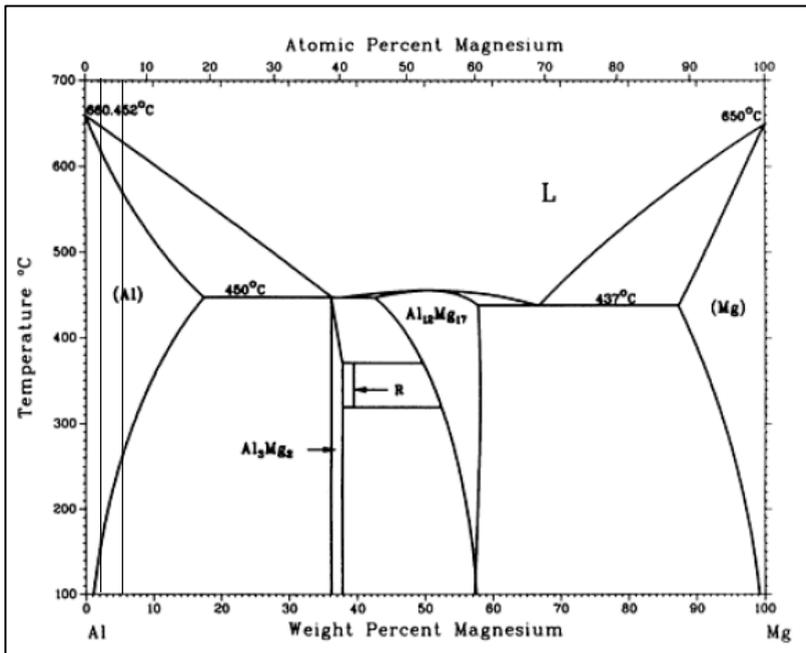


550°C hingga 600°C terbentuk fasa α , fasa eutektik menghilang disebabkan pada temperatur ini β Si larut kedalam α Al Untuk temperatur 600°C hingga 660°C terbentuk fasa α + liquid, sedangkan untuk temperatur 660°C hingga 1500°C terbentuk fasa liquid. Pada diagram fasa di atas untuk garis komposisi kedua (82% Al dan 12% Si) kita dapat menganalisa, bahwa suatu paduan senyawa yang terdiri dari kira-kira 82% Al dan 12%Si dipanaskan secara perlahan dari temperatur ruang hingga 1500°C. Maka fasa yang terjadi selama proses pemanasan berlangsung pada temperatur ruang hingga 550°C terbentuk fasa eutektik α + β (membentuk struktur yang *lamellar*), untuk temperatur 550°C hingga 1500°C terbentuk fasa liquid. Sedangkan pada diagram fasa di atas untuk garis komposisi ketiga (30% Al dan 70% Si) kita dapat menganalisa, bahwa suatu paduan senyawa yang terdiri dari kira-kira 30% Al dan 70%Si dipanaskan secara perlahan dari temperatur ruang hingga 1500°C. Maka fasa yang terjadi selama proses pemanasan berlangsung pada temperatur ruang hingga 550°C terbentuk fasa eutektik + β Si (struktur eutektik α Al dan β Si yang tersusun secara *lamellar*), untuk temperatur 550°C hingga 1100°C terbentuk fasa liquid + β , untuk temperatur 1100°C hingga 1500°C terbentuk fasa liquid.

Gambar 2.4 merupakan diagram fasa dari paduan aluminium magnesium. Pada diagram fasa, garis komposisi pertama (95% Al dan 5% Mg). Dari diagram fasa di atas kita dapat menganalisa, bahwa suatu paduan senyawa yang terdiri dari kira-kira 95% Al dan 5%Mg dipanaskan secara perlahan dari temperatur ruang hingga 650°C. Maka fasa yang terjadi selama proses pemanasan berlangsung pada temperatur ruang hingga 220°C terbentuk fasa α Al + AlMg $_{\beta}$ (kaya struktur *ferrite* (*alpha* Al)), untuk temperatur 220°C hingga 595°C terbentuk fasa α Al, Untuk temperatur 595°C hingga 635°C terbentuk fasa liquid + Al, dan Untuk temperatur 635°C hingga 650°C terbentuk fasa liquid (Al-Mg), Sedangkan pada diagram fasa di atas untuk garis komposisi kedua (80% Al dan 20% Mg). Dari diagram fasa di



atas kita dapat menganalisa, bahwa suatu paduan senyawa yang terdiri dari kira-kira 80% Al dan 20% Mg dipanaskan secara perlahan dari temperatur ruang hingga 650°C. Maka fasa yang terjadi selama proses pemanasan berlangsung pada temperatur ruang hingga 426°C terbentuk fasa α Al + AlMg_{17} (kaya struktur AlMg_{17}), untuk temperatur 426°C hingga 550°C terbentuk fasa *liquid* + Al, Untuk temperatur 550°C hingga 650°C terbentuk fasa *liquid*.

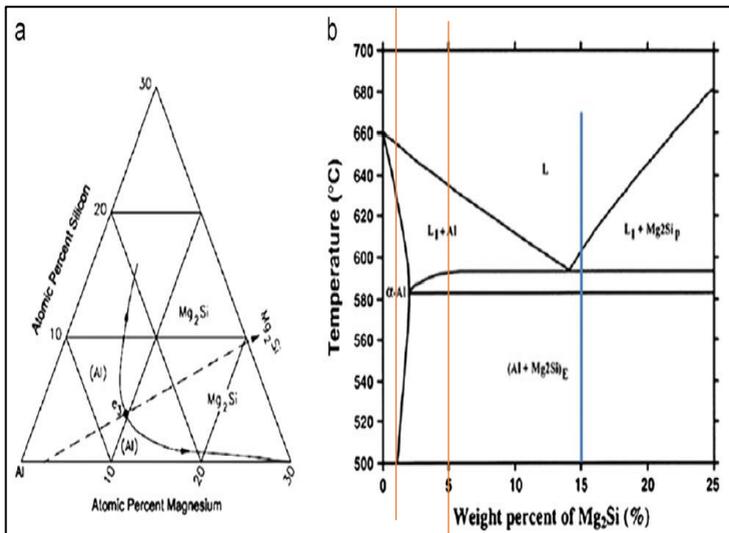


Gambar 2.4 Diagram Fasa Al-Mg (ASM *international*, 1992)

Gambar 2.5 merupakan diagram fasa dari paduan Al-Mg-Si. Pada diagram fasa di atas untuk garis komposisi pertama (98,5% Al dan 1,5% Mg_2Si). Dari diagram fasa di atas kita dapat menganalisa, bahwa suatu paduan senyawa yang terdiri dari kira-kira 98,5% Al dan 1,5% Mg_2Si dipanaskan secara perlahan dari



temperatur ruang hingga 680°C . Maka fasa yang terjadi selama proses pemanasan berlangsung pada temperatur ruang hingga 630°C terbentuk fasa α Al, untuk temperatur 630°C hingga 655°C terbentuk fasa *liquid* + Al, Untuk temperatur 655°C hingga 680°C terbentuk fasa *liquid*, Sedangkan pada diagram fasa di atas untuk garis komposisi kedua (95% Al dan 5% Mg_2Si). Dari diagram fasa di atas kita dapat menganalisa, bahwa suatu paduan senyawa yang terdiri dari kira-kira 95% Al dan 5% Mg_2Si dipanaskan secara perlahan dari temperatur ruang hingga 680°C . Maka fasa yang terjadi selama proses pemanasan berlangsung pada temperatur ruang hingga 590°C terbentuk fasa α Al, dan fasa Al_3Mg_2 , untuk temperatur 590°C hingga 635°C terbentuk fasa *liquid* + Al, Untuk temperatur 553°C hingga 650°C terbentuk fasa *liquid*.



Gambar 2.5 Diagram kesetimbangan fasa (a) ternery diagram Al – Mg – Si (b) binery Al- Mg_2Si (ASM international, 1992)



2.8 Pengecoran

Proses pengecoran logam (*casting*) adalah salah satu teknik pembuatan produk dimana logam dicairkan dalam tungku peleburan kemudian dituangkan ke dalam rongga cetakan yang serupa dengan bentuk asli dari produk cor yang akan dibuat. Sebagai suatu proses manufaktur yang menggunakan logam cair dan cetakan, pengecoran digunakan untuk menghasilkan bentuk asli produk jadi. Dalam proses pengecoran, ada empat faktor yang berpengaruh atau merupakan ciri dari proses pengecoran, yaitu (H. Alian, 2013) :

1. Adanya aliran logam cair ke dalam rongga cetak.
2. Terjadi perpindahan panas selama pembekuan dan pendinginan dari logam dalam cetakan.
3. Pengaruh material cetakan.
4. Pembekuan logam dari kondisi cair.

Pengecoran logam merupakan proses awal yang paling penting dalam industri logam, teknologi pengecoran pun semakin menunjukkan perkembangan sesuai dengan kebutuhan industri logam itu sendiri dan proses pengecoran masih digunakan sampai sekarang untuk memperoleh bentuk logam sesuai dengan yang diinginkan. Dalam sistem dan proses pengecoran tidak lepas dari cetakan, cetakan inilah yang bisa mempengaruhi logam dari segi kekerasan dan bentuk logam, berbicara tentang cetakan, cetakan yang lazim dipakai sampai sekarang adalah cetakan pasir. Beberapa cetakan pasir dan cetakan tanah mengandung zat pengikat seperti tanah lempung, bentonit dan zat pengikat lainnya. (Surdia, 1986)

Pada umumnya dalam setiap pengecoran melewati beberapa tahap antara lain; *patern making* (pembuatan pola cetakan), *core making* (pembuatan inti), *molding* (pembuatan cetakan), *melting and pouring* (pencairan dan penuangan logam), dan *cleaning* (pembongkaran cetakan) kemudian membersihkan coran. (Supriyanto, 2010)

Di dalam proses pengecoran logam dalam usaha untuk menghasilkan suatu produk benda coran yang berkualitas baik

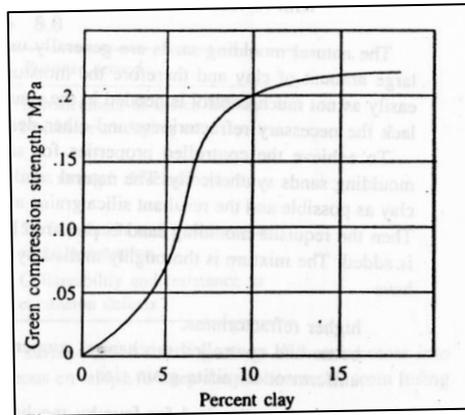


dengan komposisi yang dikehendaki maka ada beberapa faktor yang mempengaruhi yaitu: bahan baku coran, komposisi bahan baku, kualitas pasir cetak (bila menggunakan cetakan pasir), sistem peleburan, sistem penuangan dan pengerjaan akhir dari produk coran.(Surdia, 1984)

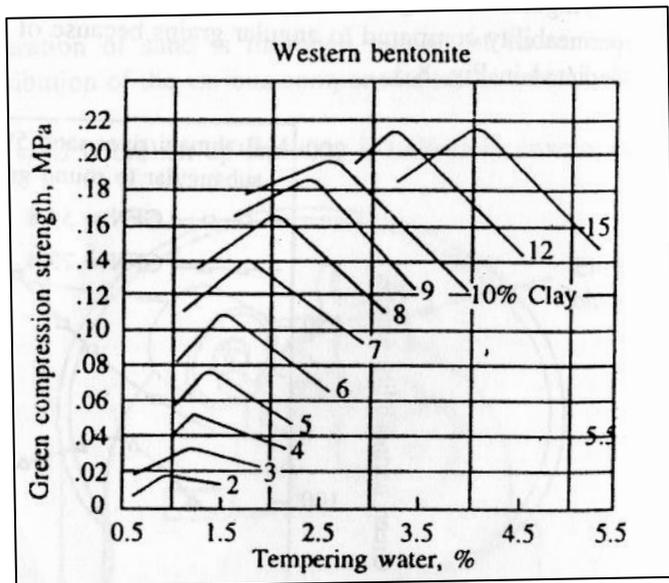
2.9 Sand Casting (cetakan pasir)

Cetakan pasir adalah cetakan yang terbuat dari pasir yang diberi bahan pengikat. Pasir yang paling banyak digunakan adalah pasir *silica* (SiO_2). baik pasir silika dari alam maupun pasir silika buatan dari kwarsit. Bahan pengikat yang paling banyak digunakan adalah bentonit. Bentonite ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O} \cdot n\text{H}_2\text{O}$). adalah sejenis abu vulkanik yang telah lapuk.

Untuk metode yang menggunakan *green sand* (pasir slika+air+clay) kekuatan ikatnya/*compression strength* yang harus di capai antara 100-250 Kpa. Untuk mendapatkan kekuatan tersebut, diperlukan campuran yang ideal. Pada Gambar 2.6 grafik yang menunjukkan hubungan antara *compression strength* dengan kandungan *clay* yang akan dicampur dan pada Gambar 2.7 grafik yang menunjukkan hubungan antara kandungan *clay* dan air dengan *compression strength* (Sudjana, Hadi. 2008).



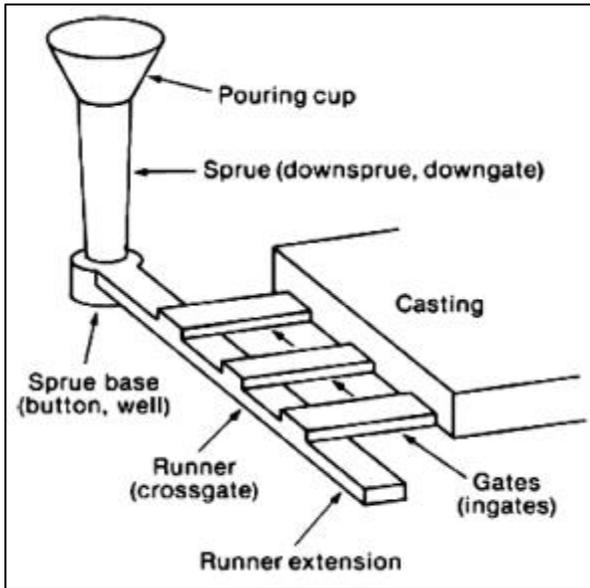
Gambar 2.6 Komposisi clay (P N. Rao, 2001)



Gambar 2.7 Komposisi air (P N. Rao, 2001)



Dalam menggunakan cetakan pasir sebagai salah satu media pengecoran ada beberapa penunjang lain dalam cetakan pasir yang harus ada antara lain adalah sistem saluran.



Gambar 2.8 Istilah-istilah sistem saluran (Sudira, 2000)

Gambar 2.8 merupakan istilah-istilah yang terdapat dalam sistem saluran pada pengecoran. Sistem saluran adalah sistem yang dibuat dimana logam cair mengalir hingga ke rongga cetakan. Secara umum sistem saluran terdiri dari: cawan tuang, saluran turun, saluran pengalir, saluran masuk dan penambah.

(Ashar dkk, 2012)

1. Cawan tuang merupakan corong untuk menampung logam cair dari ladle untuk di masukan ke dalam cetakan.
2. Saluran turun (*downsprue*) dibuat lurus dan tegak dengan irisan berupa lingkaran. Kadang-kadang irisannya sama dari atas sampai bawah, atau mengecil dari atas ke bawah.



3. Pengalir (*runner*) biasanya mempunyai irisan seperti trapesium atau setengah lingkaran sebab irisan demikian mudah dibuat pada permukaan pisah, lagi pula pengalir mempunyai luas permukaan yang terkecil untuk satu luas irisan tertentu, sehingga lebih efektif untuk pendinginan yang lambat.
4. Saluran Masuk (*gate, ingates*) dibuat dengan irisan yang lebih kecil dari pada irisan pengalir, agar dapat mencegah kotoran masuk ke dalam rongga cetakan (Surdia, 1986).
5. Penambah (*riser*) berfungsi memberikan logam cair ke bagian yang menyusut karena pembekuan pada coran, untuk mencegah rongga-rongga penyusutan dan untuk meniadakan pasir yang terbawa serta kerak dan gas gas dari coran.

Setelah mengenal bagian-bagian sistem saluran dan fungsinya, berikut akan dijelaskan pada sub bab berikutnya untuk bagian-bagian dan pertimbangan sebelum membuat pattern pada cetakan.

2.10 Shrinkage Allowance

Semua logam ketika proses pendinginan akan mengalami penyusutan atau *shrink*. Ini dikarenakan adanya getaran *inter-atomic* sehingga atom-atom tersebut membesar dengan naiknya temperatur. Ada dua jenis penyusutan yaitu *liquid shrinkage* dan *solid shrinkage*. *Liquid shrinkage* ialah penyusutan volum logam yang terjadi akibat perubahan liquid menjadi solid. Sedangkan *solid shrinkage* yaitu penyusutan volum logam pada kondisi solid temperatur tinggi menjadi solid temperatur rendah.

Untuk mendapatkan hasil coran yang baik, tidak bisa logam cair dituangkan ke rongga cetakan sesuai bentuk dan dimensi komponen. Oleh karena itu diperlukan kelonggaran (*allowance*) saat pembuatan pattern. Tiap material coran memiliki kelonggaran (*allowance*) yang berbeda, hal itu dapat dilihat pada Tabel 2.8 (P N. Rao, 2001).



Tabel 2.8 *Shrinkage allowance* untuk beberapa logam (P N. Rao, 2001)

Material	<i>Pattern dimension</i> mm	<i>Section thickness</i> Mm	<i>Shrinkage allowance</i> mm/m
<i>Grey cast iron</i>	<i>Up to 600</i>	-	10,5
	<i>600-1200</i>	-	8,5
	<i>Over 1200</i>	-	7
<i>White cast iron</i>	-	-	16-23
<i>Ductile iron</i>	-	-	8,3-10,4
<i>Malleable iron</i>	-	6	11,8
	-	9	10,5
	-	12	9,2
	-	15	7,9
	-	18	6,6
	-	22	4
	-	25	2,6
<i>Plain carbon steel</i>	<i>Up to 600</i>	-	21
	<i>600-1800</i>	-	16
	<i>Over 1800</i>	-	13
<i>Chromium steel</i>	-	-	20
<i>Manganese steel</i>	-	-	25-38
<i>Aluminum</i>	-	-	13
<i>Aluminium bronze</i>	-	-	20-23
<i>Copper</i>	-	-	16
<i>Brass</i>	-	-	15,5
<i>Bronze</i>	-	-	15,5-22
<i>Gunmetal</i>	-	-	10
	-	-	-16
<i>Manganese</i>	-	-	15,6



Material	Pattern dimension mm	Section thickness Mm	Shrinkage allowance mm/m
<i>bronze</i>			
<i>Silicon bronze</i>	-	-	10,4
<i>Tin bronze</i>	-	-	10,4
<i>Chromium copper</i>	-	-	20,8
<i>Lead</i>	-	-	26
<i>Monel</i>	-	-	20
<i>Magnesium</i>	-	-	13
<i>Magnesium alloy</i>	-	-	16
<i>White metal</i>	-	-	6
<i>Zinc</i>	-	-	10-15

Sebagai contoh misalnya suatu material cor berupa *steel* memiliki dimensi *pattern*/pola panjang x lebar x tinggi yaitu 200 mm x 150 mm x 100 mm. Maka dengan menggunakan Tabel 2.8 didapatkan nilai *shrinkage allowance* sebesar 21mm/m dan perhitungannya sebagai berikut:

$$P = 200 \text{ mm} \times 21\text{mm}/1000\text{mm} = 4,2 \text{ mm}$$

$$L = 150 \text{ mm} \times 21\text{mm}/1000\text{mm} = 3,2$$

$$T = 100 \text{ mm} \times 21\text{mm}/1000\text{mm} = 2,1$$

Jadi dari hasil perhitungan tersebut di dapatkan panjang total cor bendanya yaitu 150+4,2 mm, lebar 150+3,2 mm dan tinggi 100+2,1 mm (P N. Rao, 2001).

2.11 Draft Allowance

Ketika pola (*pattern*) diletakan di pasir, akan terjadi kontak antara permukaan pola dan pasir. Ketika pola di ambil atau dilepaskan dari pasir, gesekan antar permukaan pola dan pasir menyebabkan pasir dapat runtuh atau terkikis. Oleh karena itu, diperlukan *pattern* yang memiliki sudut agar memudahkan untuk mengambil *pattern* dari pasir. Tiap material *pattern*

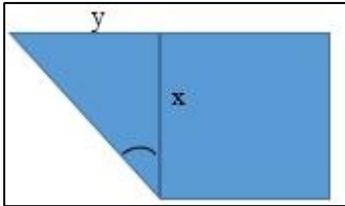


memiliki *draft allowance* yang berbeda dan juga tiap ketinggian *pattern* memiliki nilai *draft* yang berbeda. Ini ditunjukkan dengan Tabel 2.9 (P N. Rao, 2001).

Tabel 2.9 Nilai *draft pattern* (P N. Rao, 2001)

Pattern material	Height of the given Surface (mm)	Draft angle of surface (degrees)	
		External surface	Internal surface
Wood	20	3	3
	21-50	1,5	2,5
	51-100	1	1,5
	101-300	0,75	1
	201-300	0,5	1
	301-800	0,5	0,75
	801-2000	0,35	0,5
	Over 2000	-	0,25
Metal and plastic	20	1,5	3
	21-50	1	2
	51-100	0,75	1
	101-300	0,5	0,75
	201-300	0,5	0,75
	301-800	0,35	0,5

Sebagai contoh misalnya *pattern* yang digunakan berupa *wood* dengan panjang 50mm dan tinggi 100 mm dan berbentuk balok. Maka dengan menggunakan Tabel 2.9 di dapatkan *draft angle*-nya eksternalnya sebesar 1° dan tidak memiliki *draft angle* internal karena tidak memiliki rongga. Untuk perhitungannya sebagai berikut:



$$\tan 1^\circ = y/x$$

$$\tan 1^\circ = y/100 \text{ mm} \quad ; y = 1,74 \text{ mm}$$

Jadi dari hasil perhitungan tersebut di dapatkan panjang total cor bagian atas dengan penambahan *draft* yaitu sebesar 50 mm + 1,74 mm (P N. Rao, 2001).

2.12 Machining Allowance

Pada proses pengecoran dengan *sand casting* didapatkan hasil akhir yang umumnya jelek (permukaan masih kasar) dan dimensi coran belum akurat. Untuk mendapatkan hasil yang bagus dan dimensi yang akurat dilakukan proses *machining*. Oleh karena itu, dengan proses *machining* maka akan dihilangkan bagian yang akan dihilangkan agar mendapatkan coran yang baik. *Machining allowance* tergantung dengan logam coran, tipe cetakan yang digunakan, dan kompleksitas permukaan benda corannya. Hal ini dilihat pada Tabel 2.10 (P N. Rao, 2001).



Tabel 2.10 *Machining allowance* (P N. Rao, 2001)

Dimension (mm)		Allowance (mm)		
		Bore	Surface	Cope side
Cast iron	Up to 300	3	3	5,5
	301-500	5	4	6
	501-900	6	5	6
Cast steel	Up to 150	3	3	6
	151-500	6	5,5	7
	501-900	7	6	9
Non ferrous	Up to 200	2	1,5	2
	201-300	2,5	1,5	3
	301-900	3	2,5	3

Sebagai contoh misalnya benda cor berupa *steel* dengan panjang, lebar dan tinggi yaitu 150 mm x100 mm x 25 dan berbentuk balok. Maka dengan menggunakan Tabel 2.10 di dapatkan *machining allowance* untuk *surface* sebesar 3 mm. Selanjutnya di tambahkan tiap-tiap dimensi benda cor tersebut (P N. Rao, 2001).

2.13 Perlakuan Pasir Cetak

Dalam penggunaan pasir cetak untuk proses pegecoran memiliki beberapa kriteria atau sifat-sifat yang harus dipenuhi sebelum bisa digunakan untuk membantu proses pengecoran, persyaratan sifat- sifat tersebut antara lain sebagai berikut (Surdia, 2000) :

1. Mempunyai sifat mampu bentuk sehingga mudah dalam pembuatan cetakan dengan kekuatan yang cocok , Cetakan yang dihasilkan harus kuat sehingga tidak rusak karena dipindah-pindah dan dapat menahan logam cair wktu dituang kedalamnya. Karena itu kekuatannya pada



- temperatur kamar dan kekuatan panasnya sangat diperluakann.
2. Permeabilitas yang cocok. Dikuatirkan bahwa hasil coran mempunyai cacat seperti rongga penyusutan ,gelembung gas atau kekerasan permukaan, kecuali jika udara rongga – rongga diantara butir butir pasir keluar dari cetakan dengan kecepatan yang cocok.
 3. Distribusi besar butir yang cocok. Permukaan coran diperhaus kalau coran dibuat di dalam cetakan yang berbutir halus. Tetapi kalau butir pasir terlalu halus , gas dicegah keluar dan membuat cacat,yaitu gelembung udara.
 4. Tahan terhadap temperatur logam yang dituang. Temperatur penuangan yang biasa untuk bermacam-macam coran dinyatakan dalam Tabel 2.11 Butir pasir dan pengikat harus mempunyai derajat tahan api tertentu terhadap temperatur tinggi, kalau tempertaur tinggi ini dituang kedalam cetakan.

Tabel 2.11 Temperatur penuangan untuk berbagai coran.
(Surdia, 2000)

Macam Coran	Temperatur Penuangan (°C)
Paduan ringan	650-750
Brons	1.100-1250
Kuningan	950-1.100
Besi cor	1.250-1.450
Baja cor	1.500-1.550

Komposisi yang cocok. Butir pasir bersentuhan dengan logam yang dituang mengalami peristiwa kimia dan fisika karena logam cair mempunyai temperatur yang tinggi. Bahan-bahan yang tercampur yang mungkin



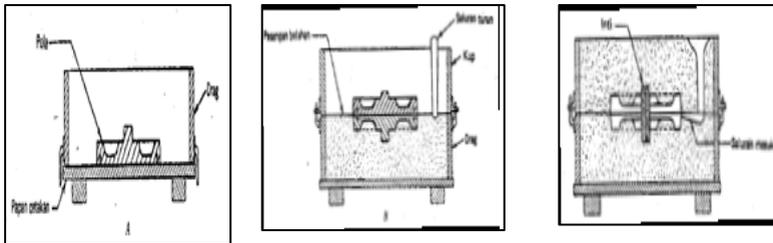
menghasilkan gas atau larut dalam logam adalah tidak dikehendaki.

5. Mampu dipakai lagi. Pasir harus dapat dipakai berulang – ulang supaya ekonomis.
6. Pasir harus murah

Tabel 2.12 Bahan – bahan penyusun cetakan pasir (*sand casting*)
(T R. Bunga, 1981)

No	Bahan	Presentase (%)
1	Pasir silika dengan AFS <i>fineness</i> 130 dan butiran pasir subangular	81,5%
2	Bentonit	16%
3	<i>Graphite</i>	2%
4	<i>Corn flour</i>	0,5%
5	Kadar air	4-5%

Cetakan biasanya dibuat dengan memadatkan pasir. Pasir yang dipakai biasanya pasir alam atau pasir buatan yang mengandung tanah lempung. Cetakan pasir mudah dibuat dan tidak mahal. Pasir yang digunakan kadang-kadang dicampur pengikat khusus, misalnya air-kaca, semen, resin furan, resin fenol atau minyak pengering, karena penggunaan zat-zat tersebut memperkuat cetakan atau mempermudah operasi pembuatan cetakan. Logam yang dapat digunakan pada pengecoran ini adalah besi, baja, tembaga, perunggu, kuningan, aluminium ataupun logam paduan.(H. Alian,2013). Pada Gambar 2.12 akan diperlihatkan proses pembuatan cetakan pasir.



Gambar 2.9 pembuatan cetakan pasir (Surdia, 2000)

Cetakan pasir ini memberikan keuntungan seperti (Susantikai,2010) :

- Bisa di gunakan berulang-ulang sehingga memperkecil biaya produksi
- Mudah dalam pembuatan cetakan sehingga menghemat waktu produksi
- Dalam permeabilitas yang baik akan menghasilkan produk coran yang baik
- Kekuatan cetakan yang tepat akan memberikan hasil dan kualitas yang baik

Adapun kekurangan dari penggunaan cetakan pasir ini yaitu untuk membuat produk yang sangat rumit seperti misalnya patung secara utuh atau sekali cor memang tidak bisa dilaksanakan, namun apabila dibuat (dicor) perbagian akan lebih mudah dibuat, sehingga kekurangan ini bisa teratasi.

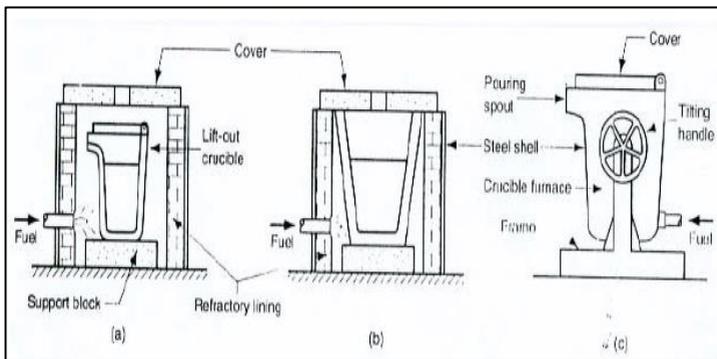
2.14 Crucible Furnace

Tungku atau dapur pembakaran adalah sebuah peralatan yang digunakan untuk mencairkan logam pada proses pengecoran (*casting*) atau untuk memanaskan bahan dalam proses perlakuan panas (*heat Treatment*). Jenis tungku pembakaran yang paling banyak digunakan dalam pengecoran logam ada lima jenis yaitu tungku jenis kupola, tungku pengapian langsung, tungku krusibel, tungku busur listrik, dan tungku induksi. Dalam memproduksi paduan *non ferrous* seperti paduan Aluminium, paduan tembaga,



paduan timah hitam, dan paduan ringan lainnya biasanya dilebur dengan menggunakan tungku peleburan jenis krusibel, sedangkan untuk besi cor menggunakan tungku induksi frekuensi rendah atau kupola. Tungku induksi frekuensi tinggi biasanya digunakan untuk melebur baja dan material tahan temperatur tinggi. (Amir, 2013)

Dalam penggunaan tungku krusibel yang biasanya digunakan dalam proses peleburan paduan non ferrous pada umumnya terdapat 3 jenis tungku krusibel. Berikut merupakan ketiga jenis krusibel tersebut yang diperlihatkan berdasarkan Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Tiga jenis tungku krusibel (a) Krusibel angkat (*lift-out krusibel*), (b) Pot tetap (*stationary pot*), (c) Tungku tukik (*tilting-pot furnance*). (Groover, 2000)

Krusibel angkat yaitu krusibel ditempatkan didalam dapur dan dipanaskan hingga logam mencair. Sebagai bahan bakar digunakan minyak, gas, dan serbuk batu baru. Bila logam telah melebur, krusibel diangkat dari tungku dan digunakan sebagai ladle penuangan. Sedangkan untur tungku pot tetap, tungku tidak dapat dipindah maka logam cair diambil dari kontainer dengan ladle. Dan untuk tungku tukik, tungku dapat ditukik untuk menuangkan logam cair. Adapun kapasitas tungku



krusibel ini sangat terbatas dikarenakan hanya dapat meleburkan logam beberapa ratus pound saja.

Tungku krusibel adalah tungku yang paling tua yang digunakan dalam peleburan logam. Tungku ini mempunyai konstruksi paling sederhana. Tungku ini ada yang menggunakan kedudukan tetap dimana pengambilan logam cair dengan memakai gayung, dan kelebihanannya antara lain fleksibel dan umumnya digunakan untuk pengecoran logam dalam skala kecil dan sedang. Ada pula tungku yang dapat dimiringkan sehingga pengambilan logam dengan menampung dibawahnya dan biasanya digunakan dalam skala sedang dan besar, sedangkan tungku krusibel yang memakai burner sebagai alat pemanas memiliki kedudukan tetap. Dan pada umumnya dari ketiga jenis krusibel itu menggunakan bahan bakar gas ataupun minyak. Dalam tungku krusibel terdapat beberapa komponen penyusun. Adapun komponen penyusun tungku krusibel antara lain (Amir, 2013) :

1. Batu tahan api

Batu tahan api yang umum digunakan untuk dapur peleburan jenis krusibel adalah batu tahan api yang memiliki sifat-sifat seperti di bawah ini :

- a) Tidak melebur pada suhu yang relatif tinggi.
- b) Sanggup menahan lanjutan panas yang tiba-tiba ketika terjadi pembebanan suhu.
- c) Tidak hancur di bawah pengaruh tekanan yang tinggi ketika digunakan pada suhu yang tinggi.
- d) Mempunyai koefisien *thermal* yang rendah sehingga dapat memperkecil panas yang terbuang.
- e) Memiliki tekanan listrik tinggi jika digunakan untuk dapur listrik



Tabel 2.13 Sifat-sifat batu bata tahan api (Alaneme dan Olanrewaju, 2010)

Jenis Batu Bata	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Kandungan lain (%)	PCE (°C)
Super Duty	49-53	40-44	5-7	1.745-1.760
High Duty	50-80	35-40	5-9	1.690-1.745
Menengah	60-80	26-36	5-9	1.640-1.680
Low Duty	60-70	23-33	6-10	1.520-1595

2. Bahan Pengikat (semen tahan api)

Semen merupakan salah satu bahan perekat yang jika dicampur dengan air mampu mengikat bahan-bahan padat seperti pasir dan batu menjadi suatu kesatuan kompak. Sifat pengikatan semen ditentukan oleh susunan kimia yang dikandungnya. Adapun bahan utama yang dikandung semen adalah kapur (CaO), silikat (SiO₂), alumunia (Al₂O₃), ferro oksida (Fe₂O₃), magnesit (MgO), serta oksida lain dalam jumlah kecil. Bahan pengikat berfungsi untuk mengikat batu bata tahan api, serta untuk menutup celah yang terjadi dari penyusunan batu bata. Bahan pengikat yang dipakai ini adalah semen tahan api yang juga dapat menambah ketahanan bahan tahan api terhadap suhu tinggi.

3. Rangka

Struktur rangka dirancang untuk sanggup menahan beban dari berat susunan bata dan komponen lainnya. Rangka dirakit dari susunan batang *stainless steel*. Susunan rangka tersebut dilapisi dengan plat *stainless* sehingga susunan bata tahan api didalamnya menjadi terlindungi.



Gambar 2.11 menjelaskan proses pemasangan batu tahan api dalam krusibel.



Gambar 2.11 Pemasangan batu tahan api (Amir,2013)

2.15 *Mass Balance*

Mass balance merupakan langkah awal yang penting saat merancang proses baru atau menganalisis yang sudah ada. *Mass balance* digunakan untuk semua perhitungan dalam pemecahan masalah rekayasa proses.

Mass balance tidak lebih dari penerapan hukum kekekalan massa, yang menyatakan bahwa massa tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan. Contohnya, ketika memasukan ke reaktor satu ton nafta maka tidak akan dapat menghasilkan dua ton bensin atau gas atau hal lainnya. Satu ton dari total input material hanya akan memberikan satu ton total output.

Mass balance adalah perhitungan akuntansi untuk material digunakan dalam industri untuk menghitung laju alir massa dari aliran yang berbeda yang memasuki atau meninggalkan proses kimia atau fisika. (Felder & Rousseau, 1986)



2.16 Proses *Finishing* Hasil Coran

Setelah proses pengecoran selesai, pasir harus disingkirkan dari rangka cetakan dan coran, kemudian saluran turun, saluran masuk, penambah dipisahkan dari coran dan akhirnya sirip-sirip dipangkas serta permukaan coran dibersihkan. Semua pekerjaan itu dilakukan secara mekanik atau dengan tangan, tetapi dianjurkan agar keseluruhan pekerjaan itu dilakukan secara mekanik. Proses pengerjaan akhir dibagi menjadi dua macam, yang pertama penyingkiran pasir cetak, pasir inti sebanyak mungkin dari hasil coran, kemudian untuk yang kedua adalah proses pemahatan untuk menyingkirkan sirip-sirip dan pasir yang masih melekat pada hasil coran. (Sudira, 2000)

2.16.1 Memisahkan Coran dengan Cetakan

Adapun dalam memisahkan pasir dalam cetakan dengan hasil coran membutuhkan alat-alat bantu yang dapat mempermudah pekerjaan kita dalam hal memisahkan hasil coran dengan pasir cetak. Berikut merupakan beberapa alat yang biasanya digunakan antara lain (Sudira, 2000) :

1. Mesin pembongkar, mesin ini disebut mesin pembongkar dengan mekanisme cara kerja mesin ini adalah menggunakan getaran yang dihasilkan dari mesin untuk membuat pasir cetakan terpisah dari hasil coran.
2. Mesin pemukul inti, mesin ini tidak jauh berbeda dengan mesin pembongkar dalam hal memisahkan hasil coran dengan pasir cetak menggunakan getaran. Namun perbedaannya terletak pada komponen mesin yang dilengkapi dengan dua silinder pengikat yang bergetar. Pada umumnya mesin ini digunakan pada saat keadaan menyingkirkan pasir pada selubung blok, ataupun pasir yang sukar pecah akibat cetakan yang mengeras sendiri.
3. Semprotan air atau semprotan mimis, mekanisme dari mesin penyemprot mimis ini adalah pasir dipisahkan dengan cara menembakkan mimis baja, atau potongan kawat dari atas dan dari samping.



2.16.2 Penyingkiran *Downsprue* dan *Riser*

Cara-cara dibawah ini dipergunakan untuk memisahkan saluran turun dan penambah, sesuai dengan ukuran coran, kualitas bahan dan rencana pengecoran (Sudira, 2000) :

1. Pematahan
Pematahan baisesa dilakukan pada besi cor mampu tempa dengan cara menggetarkan, mebentur, dan mengepres.
2. Pemotongan dengan gas
Pemotongan dengan gas dilaksanakan untuk memisahkan saluran turun dan penambah dari coran baja.
3. Pemotongan dengan busur listrik
Pemotongan ini biasanya dilakukan pada baja paduan tinggi seperti baja tahan karat baja mangan tinggi, dan jarang digunakan untuk besi cord an paduan bukan baja.
4. Pemotongan secara mekanik
Pada umumnya digunakan untuk coran paduan tembaga atau coran paduan ringan.

2.16.3 Penyelesaian (*Finishing*)

Adapun pada saat proses *finising* adalah dengan menghaluskan permukaan hasil coran menggunakan alat gerinda. Ada beberapa macam gerinda yang dapat digunakan untuk menghaaluskan permukaan hasil coran yang kasar yaitu (Sudira, 2000) :

1. Gerinda tangan
2. Gerinda ayun
3. Gerinda bangku
4. Mesin gerinda otomatis



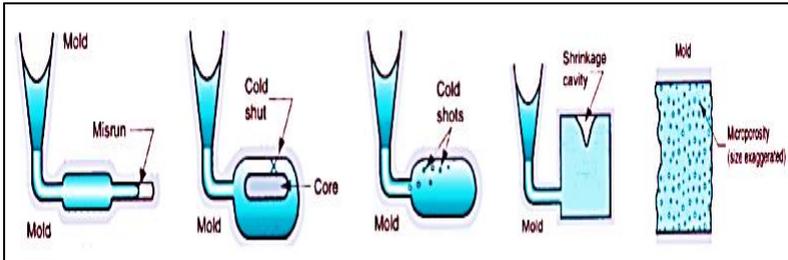
2.17 Cacat Pada Pengecoran

Pada proses pengecoran terlepas pada cacat yang terbentuk pada pasir cetak maupun hasil benda cor. Cacat yang terbentuk pada proses pengecoran merupakan hal yang sangat dihindari dari perusahaan-perusahaan yang bergerak pada bidang cor. Ini disebabkan karena selain mengurangi jumlah *output* produk yang dihasilkan oleh perusahaan disamping itu juga meningkatkan biaya produksi. Kemudian dampak yang timbul pada produk hasil coran yang tidak dapat dihindari ialah menurunnya sifat mekanik standar yang seharusnya dimiliki oleh produk. Berikut pada Gambar 2.12 akan dijelaskan mengenai cacat apa saja yang mungkin terjadi pada *casting* (Groover,2013):

1. *Misruns*, molten metal sudah membeku sebelum terisi semua ke rongga cetakan. Ini disebabkan karena fluidity dari molten metal yang rendah, temperatur tuang yang rendah, dan terlalu lama menuang.
2. *Cold shuts*, cacat ini terjadi ketika dua bagian aliran molten metal yang bersama tapi diantara keduanya tidak terjadi fusi karena pembekuan dini.
3. *Cold shots*, terbentuknya butiran logam padat yang terjepit didalam *casting*. Cara pencegahannya dengan prosedur perancangan gating sistem dan penuangan yang tepat.
4. *Shrinkage cavity*, terjadinya cacat proses penyusutan pada casting sehingga terbatasnya molten metal yang membeku.
5. *Microporosity*, terbentuknya rongga atau lubang-lubang kecil yang terdistribusi merata di hasil *casting*. Hal ini disebabkan karena *permeability* dari cetakan pasir yang rendah, temperatur peleburan dan temperatur penuangan yang terlalu tinggi menyebabkan udara larut ke dalam *molten metal*. Seiring dengan menurunnya temperatur, kelarutan gas di dalam molten metal semakin berkurang sehingga gas tersebut akan keluar dari molten metal. Ketika molten metal telah mengalami solidifikasi gas



tersebut terperangkap dalam solid metal membentuk porositas.(PN RAO,2013)



Gambar 2.12 Cacat pengecoran pada casting (Groover,2013)

2.18 Diagram Ellingham

Diagram Ellingham merupakan diagram yang diplot berdasarkan ΔG dengan temperatur. Karena nilai ΔH dan ΔS pada dasarnya bersifat konstan terhadap temperatur kecuali terjadi perubahan fasa, sehingga energi bebas Gibbs (ΔG) dengan temperatur dapat digambarkan sebagai persamaan garis lurus dengan ΔS sebagai gradien dan ΔH sebagai konstanta. Perubahan gradien akan terjadi ketika terjadinya perubahan fasa pada material yang meliputi pelelehan ataupun penguapan.

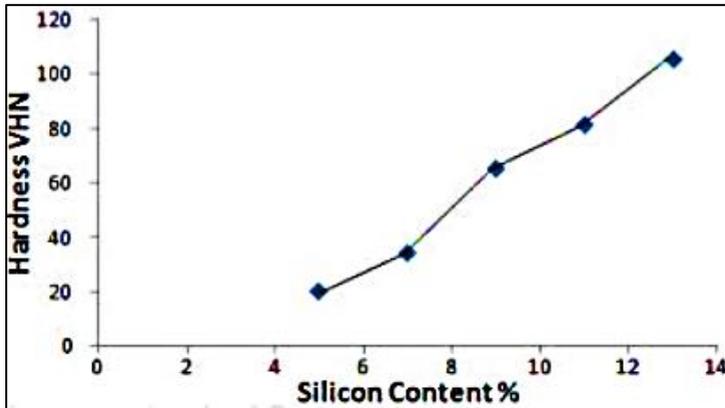
Posisi garis dari suatu reaksi pada diagram Ellingham menunjukkan kestabilan oksida sebagai fungsi dari temperatur. Reaksi yang berada pada bagian atas diagram adalah logam yang bersifat lebih mulia (contohnya emas dan platina), dan oksida dari logam ini bersifat tidak stabil dan mudah tereduksi. Semakin kebawah posisi garis reaksi maka logam bersifat semakin reaktif dan oksida menjadi semakin stabil. Suatu logam dapat digunakan untuk mereduksi oksida jika garis oksida yang akan direduksi terletak diatas garis logam yang digunakan sebagai reduktor. Contoh, garis $2Mg + O_2 \rightarrow 2MgO$ terletak dibawah garis $Ti + O_2 \rightarrow TiO_2$, maka magnesium dapat digunakan untuk



2.19 Penelitian Sebelumnya

2.19.1 Penelitian Uji Kekerasan Paduan Al-Si

Dampak kadar silikon pada sifat mekanik paduan aluminium dilakukan oleh Milind G Kalhapure1 (2013). Dalam persiapan pengujian ini adalah dengan mencairkan Aluminium murni (99.7%) dan Slikon murni (99.5%) yang di jual komersil menggunakan sebuah krusibel grafit didalam sebuah tungku pembakaran yang tinggi frekuensinya, pelelehan itu terjadi pada temperatur 720 °C untuk mencapai komposisi yang homogen. Setelah penghilangan gas dengan penambahan padatan exachloroethane sebanyak 1%. Dari hasil pengujian kekerasan ini dapat dilihat berdasarkan Gambar 2.14 .



Gambar 2.14 Nilai hasil kekerasan dari paduan Al-Si
(G Kalhapure1, 2013)

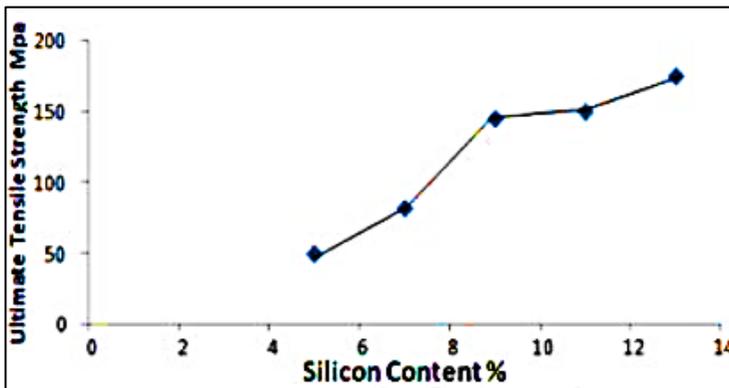
Berdasarkan gambar dapat dilihat dengan jelas bahwa dengan semakin banyak jumlah kadar silikon yang terkandung di dalam paduan Aluminium maka akan menyebabkan sifat mekanik nya yaitu berupa kekerasan akan meningkat. Jumlah kadar silikon yang meningkat akan mempengaruhi fraksi volume daerah



terbentuknya fasa Si semakin luas dan ketika siliko primer muncul sebagai partikel polyhedral yang kasar.

2.19.2 Penelitian Uji Kekuatan Tarik Paduan Al-Si

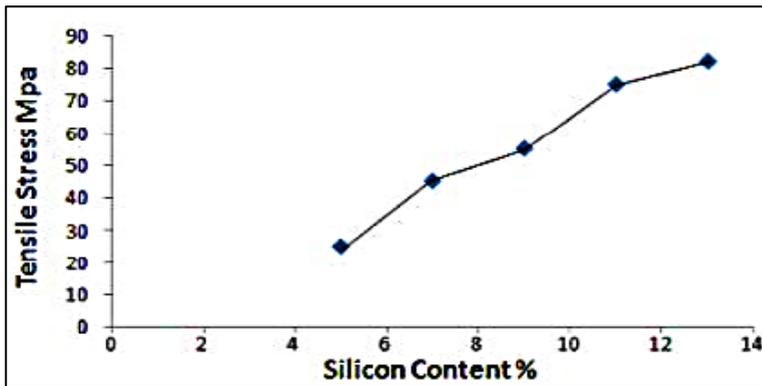
Dampak kadar silikon pada sifat mekanik paduan aluminium dilakukan oleh Milind G Kalhpure1 (2013). Dalam persiapan pengujian ini adalah dengan mencairkan Aluminium murni (99.7%) dan Slikon murni (99.5%) yang di jual komersil menggunakan sebuah krusibel grafit didalam sebuah tungku pembakaran yang tinggi frekuensinya, pelelehan itu terjadi pada temperatur 720 °C untuk mencapai komposisi yang homogen. Dalam penelitian ini diteliti mengenai pengaruh silikon dengan penambahan 5, 7, 9.25, dan 14 % Si pada paduan Aluminum. Pengujian tarik adalah prosedur pengujian yang paling banyak digunakan, dikarenakan dengan pengujian ini kita akan mendapatkan banyak informasi mengenai kekuatan material dan sifat deformatis dalam sekali pengujian. Beberapa hasil dari pengujiannya adalah UTS (Ultimate Tensile Strength), kekuatan yield Dari hasil pengujian *tensile* ini dapat dilihat hasil UTS berdasarkan Gambar 2.15.



Gambar 2.15 Nilai hasil UTS dari paduan Al-Si (G Kalhpure1, 2013)



Dari gambar tersebut kita dapat mengamati konten silikon didalam peningkatan paduan, sifat kekuatan (UTS dan tegangan tarik) dari paduan Al-Si meningkat maskimum sebesar 175 Mpa pada komposisi 14% Si. Begitupun juga dengan yield strength yang ikut meningkat secara signifikan dengan penambahan kadar silikon dalam paduan Al-Si. Berikut Gambar 2.16 akan menjelaskan terkait hal itu.



Gambar 2.16 Nilai hasil *Yield Strength* dari paduan Al-Si. (G Kalhapure1, 2013)

Dari gambar tersebut kita dapat mengamati konten silikon didalam peningkatan paduan, besar nilai *yield strength* dari paduan Al-Si meningkat maskimum sebesar 85 Mpa pada komposisi 14% Si.

2.19.3 Penelitian Uji Metallografi Paduan Al-Si

Struktur mikro dan sifat mekanik dari paduan hypoeutektik Al-Si oleh M. Gupta (1999). Dalam persiapan pengujian ini adalah dengan mencairkan paduan Aluminium AA1050 (99.5%) dan Slikon murni (98.5%) menggunakan sebuah krusibel grafit didalam sebuah tungku pembakaran yang tinggi

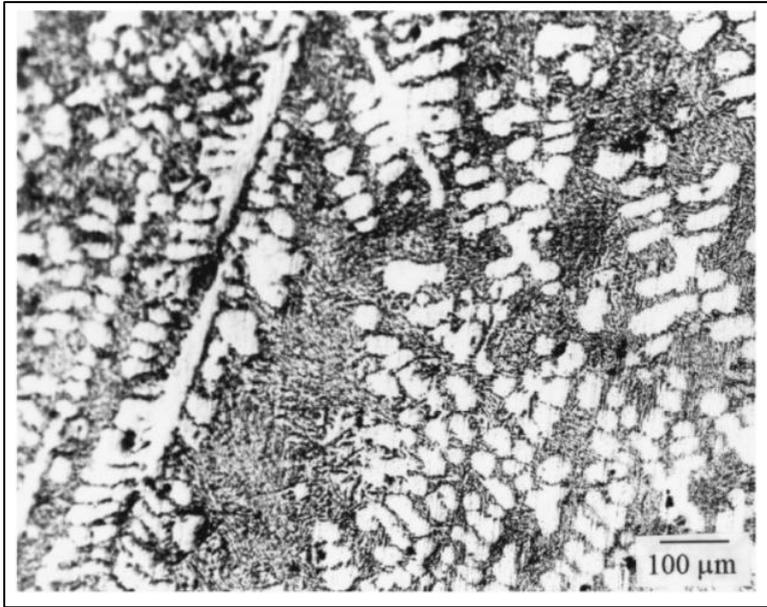


frekuensinya, pelelehan itu terjadi pada temperatur 950 °C. Berikut merupakan perbedaan hasil dari dua struktur mikro paduan hypoeutektik Al-Si dengan variasi kadar silikon yang berbeda. Gambar 2.17 dan Gambar 2.18 menjelaskan lebih detail.



Gambar 2.17 Hasil struktur mikro dari paduan Al-7Si.
(M.Gupta, 1999)

Pada gambar terlihat bahwa terdapat beberapa fasa yang muncul. Fasa utama yang terdapat pada paduan ini adalah fasa α Al dengan fasa eutektik (α Al + Si, yang tersusun secara *lamellar*) sebagai tambahan. Sedangkan sebaliknya pada paduan Al-10Si akan memiliki fraksi fasa eutektik yang lebih luas banyak dan luas dari pada fraksi luas daerah dengan fasa α Al dikarenakan sudah mulai mendekati daerah eutektik dengan kadar Si pada paduan AlSi sebanya 12,6%. Berikut Gambar 2.18 yang memperlihatkan struktur mikro dari paduan Al-10Si.



Gambar 2.18 Hasil struktur mikro dari paduan Al-10Si.
(M.Gupta, 1999)

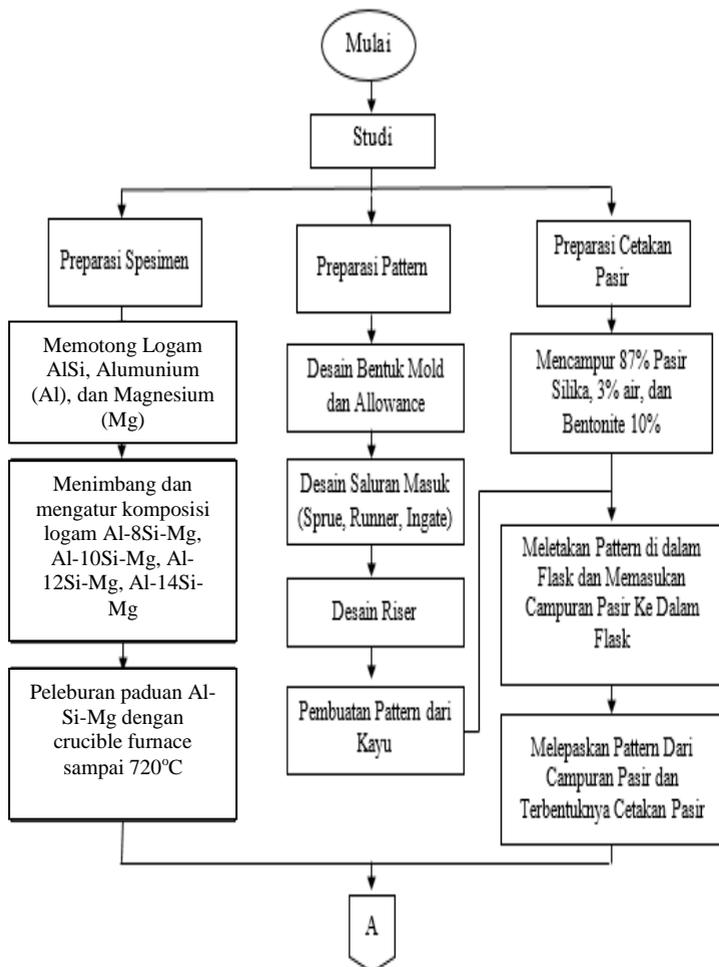


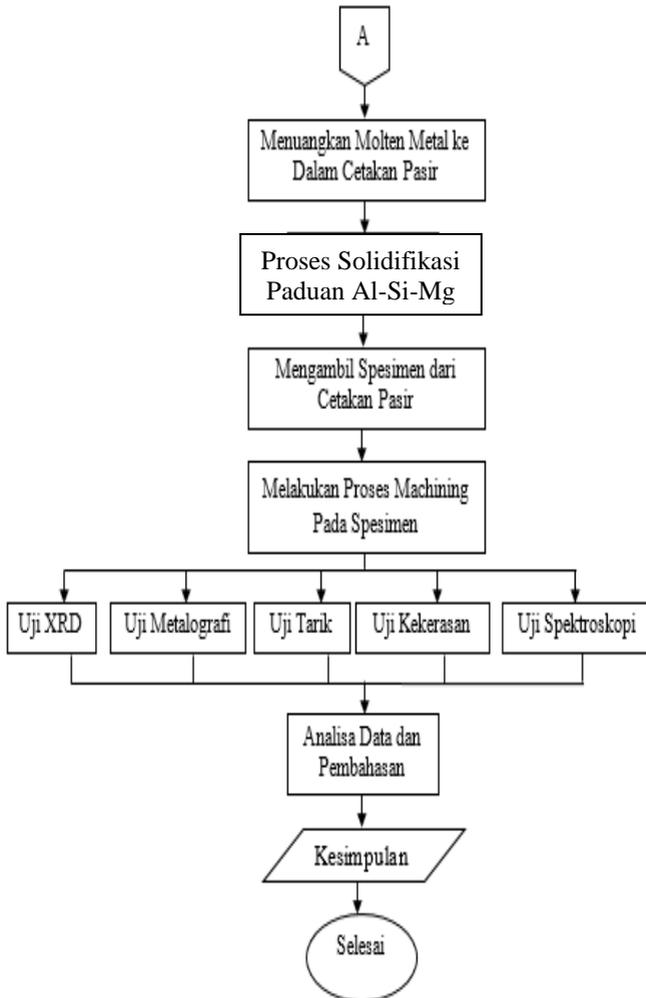
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Pelaksanaan penelitian ini dilakukan beberapa pengujian seperti ditunjukkan dalam Gambar 3.1 dibawah ini:





Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahap. Tahapan penelitian digambarkan pada diagram alir yang



ditunjukkan pada gambar 3.1. Pertama, dilakukan studi literatur terkait penelitian, lalu mempersiapkan cetakan pasir dan bahan yaitu Al-Si-Mg dengan variabel komposisi Si 8,10,12,14% berat dan Mg 1,2% berat. Setelah itu proses peleburan bahan menggunakan *crucible furnace* pada temperatur 720°C lalu dituangkan kedalam cetakan pasir. Setelah logam dingin spesimen diambil kemudian dilakukan proses machining. Kemudian dilakukan pengujian komposisi kimia dengan OES untuk menentukan komposisi kimia paduan dan dilakukan pengujian yang meliputi, uji kekerasan, uji XRD, uji metalografi dan uji tarik. Selanjutnya dilakukan analisa data dan pembahasan terhadap data hasil uji. Proses terakhir adalah mengambil kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan.

3.2. Material yang Digunakan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah:

1. AlSi20

Paduan yang digunakan pada penelitian ini merupakan paduan Aluminium silikon dengan persen jumlah berat sebesar 20% Si dalam bentuk *ingot* dari PT. Pinjaya Logam, Mojokerto. Ditunjukkan oleh Gambar 3.2



Gambar 3. 2 AlSi20 *ingot*



2. Aluminium

Aluminium (Al) dalam bentuk batang dengan kadar >97% didapatkan dari PT. Inalum, Medan. Aluminium digunakan sebagai logam paduan. Ditunjukkan oleh Gambar 3.3



Gambar 3. 3 Aluminium (Al) *ingot*

3. Magnesium

Magnesium (Mg). Magnesium yang digunakan dalam penelitian ini berupa magnesium dalam bentuk *ingot*, dengan kadar >97% dari PT. Pinjaya Logam, Mojokerto. ditunjukkan pada Gambar 3.4 .



Gambar 3. 4 Magnesium (Mg) *ingot*



4. Bahan Etsa

Bahan etsa yang digunakan dalam penelitian ini sesuai dengan ASM Metal Handbook Vol 9.

- 190 ml *aquades*
- 3 ml HCl
- 5 ml HNO₃
- 2 ml HF

3.3. Peralatan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah

1. *Crucible Furnace*

Furnace yang digunakan untuk melelehkan dan memadukan bahan merupakan tungku bakar (*burner*). Ditunjukkan oleh Gambar 3.5



Gambar 3. 5 Tungku bakar (*burner*)



2. *Crucible* grafit

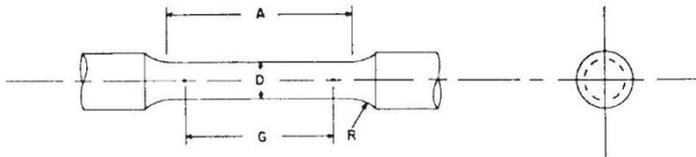
Digunakan sebagai wadah untuk proses peleburan. Krusibel yang digunakan memiliki ukuran A3 dan terbuat dari *insulating brick* tipe C-1 dibeli dari U.D Kampung Dukuh, Surabaya. Ditunjukkan oleh Gambar 3.6



Gambar 3. 6 Krusibel grafit

3. Pola Cetakan Komponen

Pola cetakan komponen digunakan untuk membuat cetakan hasil coran pada cetakan pasir. Pola cetakan hasil coran disesuaikan dengan standar pengujian yang akan dilakukan. Contoh pola cetakan yang akan dilakukan pada pengujian tarik ditunjukkan oleh. Gambar 3.7



Gambar 3. 7 Spesimen uji tarik (ASTM E8)

4. Pattern

Pattern cetakan yang digunakan adalah pattern untuk sprue dan riser. Dimensi rancangan dari



sprue, riser, runner dan gate yang akan digunakan pada cetakan adalah sebagai berikut :

Dimensi Produk

Panjang (mm)	314,03
Lebar (mm)	51,663
Tinggi (mm)	17,221

Dimensi Runner

Luas Runner 1 (mm ²)	785,83325
Sisi Runner 1 (mm)	28,032718
Panjang Runner (mm)	318,08194
Luas Runner 2 (mm ²)	412,56246
Tinggi Runner 2 (mm)	7,702382139

Dimensi Gate

Luas Inggate 1 (mm ²)	392,911663
Sisi Inggate 1 (mm)	19,822125
Luas Inggate 2 (mm ²)	412,56246
Sisi Inggate 2 (mm)	20,311634

Dimensi Riser

Diameter Riser (mm)	55
Tinggi Riser (mm)	70
Tipe Riser	Open

5. Kikir

Kikir yang digunakan adalah milik Lab. Teknik Material dan Metalurgi ITS. Kikir digunakan untuk meratakan permukaan spesimen.



6. Gelas Ukur 250 ml
Alat ini digunakan untuk mengukur bahan saat pembuatan larutan etsa.
7. Timbangan digital
Digunakan untuk mengukur massa bahan lebur. Ditunjukkan oleh Gambar 3.8



Gambar 3. 8 Timbangan Digital

8. Kertas Amplas (taiyo eco)
Digunakan untuk grinding spesimen pada uji metalografi. Digunakan kertas amplas *silicon carbide grade 80* hingga 2000
9. Gergaji (newdior)
Digunakan untuk memotong bahan lebur dan hasil coran.
10. Alat Uji Kekerasan *Universal* (HBRV - 187.5A)
Alat ini digunakan untuk mengukur kekerasan spesimen.
11. XRF
Alat ini digunakan untuk mengetahui komposisi kimia benda hasil coran
12. XRD
Alat ini digunakan untuk mengetahui system Kristal, struktur Kristal serta fasa dari hasil coran
13. Alat Uji Tarik



Mesin uji tarik yang digunakan adalah milik Lab. Metalurgi Teknik Material dan Metalurgi ITS. Digunakan untuk menguji kekuatan tarik dari spesimen paduan logam

14. Mesin *Grinding & Polishing*

Alat ini digunakan dalam proses grinding serta polishing spesimen dalam uji metalografi.

15. Mikroskop Optik Metalurgi (OLYMPUS BX51M-RF)

Alat ini digunakan untuk mengetahui struktur mikro spesimen.

3.4 Variabel Percobaan

Variabel penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah variasi penambahan unsur padu Si sebesar 8, 10, 12, 14%.

3.5. Prosedur Percobaan

3.5.1. Prosedur Pengecoran

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Aluminium (Al) ditambahkan dengan unsur paduan silikon (Si) dengan kadar 8 %, 10 %, 12 %, 14 %wt Si. Persiapan bahan mengikuti langkah-langkah sebagai berikut :

1. Melakukan perhitungan allowance untuk mendapatkan volum coran dengan bentuk batangan/persegi panjang.

Panjang (p) = 310 mm

Lebar (l) = 17 mm

Tinggi (t) = 17 mm

a. *Shrinkage Allowance*

Dengan menggunakan Tabel 2.8 *shrinkage allowance* untuk beberapa logam, di dapatkan nilai



shrinkage allowance untuk material *copper* sebesar 16 mm/m, maka dengan nilai tersebut dapat dicari panjang, lebar dan tinggi *allowance*-nya sebagai berikut:

$$p = 310 \text{ mm} \times 13 \text{ mm}/1000 \text{ mm} = 4,03 \text{ mm}$$

$$l = 17 \text{ mm} \times 13 \text{ mm}/1000 \text{ mm} = 0,221 \text{ mm}$$

$$t = 17 \text{ mm} \times 13 \text{ mm}/1000 \text{ mm} = 0,221 \text{ mm}$$

Jadi, dari hasil perhitungan tersebut didapatkan nilai masing-masing dimensi yaitu sebesar:

$$p = 310 \text{ mm} + 4,03 \text{ mm} = 314,03 \text{ mm}$$

$$l = 17 \text{ mm} + 0,221 \text{ mm} = 17,221 \text{ mm}$$

$$t = 17 \text{ mm} + 0,221 \text{ mm} = 17,221 \text{ mm}$$

b. *Machining allowance*

Dengan menggunakan Tabel 2.10 *Machining allowance* untuk beberapa material, didapatkan nilai *machining allowance* untuk material *non-ferrous* di *surface* sebesar 1,5 mm untuk satu sisi *surface*, jika saat *machining* dilakukan di dua sisi *surface* berbeda, maka nilai *allowance*-nya dikali 2. Dengan nilai tersebut dapat dicari panjang, lebar dan tinggi *allowance*-nya sebagai berikut:

$$p = 314,03 \text{ mm} + 2(1,5 \text{ mm}) = 317,03 \text{ mm}$$

$$l = 17,221 \text{ mm} + 2(1,5 \text{ mm}) = 20,221 \text{ mm}$$

$$t = 17,221 \text{ mm} + 2(1,5 \text{ mm}) = 20,221 \text{ mm}$$

Khusus untuk dimensi lebar(l), ukurannya di kali 3 karena ingin membuat 3 spesimen tarik dengan lebar masing-masing 20,221 mm, sehingga nilainya menjadi

$$p = 317,03 \text{ mm}$$

$$l = 20,221 \text{ mm} \times 3 = 60,663 \text{ mm}$$

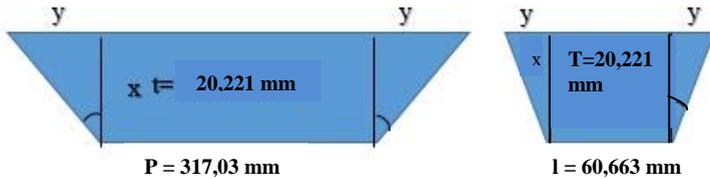
$$t = 20,221 \text{ mm}$$

c. *Draft allowance*

Dengan menggunakan Tabel 2.9 Nilai *draft pattern* maka di dapatkan sudut *draft*. Metode penelitian



ini dilakukan dengan menggunakan *pattern* dengan berbahan kayu, maka dari Tabel 2.9 di dapatkan nilai sudut *draft*-nya sebesar $1,5^\circ$. Dengan nilai tersebut dapat dicari panjang dan lebar *allowance*-nya sebagai berikut:



$$\tan(1,5^\circ) = \frac{y}{x}$$

$$\tan(1,5^\circ) = \frac{y}{x}$$

$$\tan(1,5^\circ) = \frac{y}{20,221 \text{ mm}}$$

$$y = 0,529 \text{ mm}$$

$$\tan(1,5^\circ) = \frac{y}{20,221 \text{ mm}}$$

$$y = 0,529 \text{ mm}$$

Sehingga didapatkan masing- dimensi sebagai berikut:

$$P = 317,03 \text{ mm} + 2(y) = 317,03 \text{ mm} + 2(0,529) \\ = 318,088 \text{ mm}$$

$$l = 60,663 \text{ mm} + 2(y) = 60,663 \text{ mm} + 2(0,529) \\ = 61,721 \text{ mm}$$

$$t = 20,221 \text{ mm}$$

$$\text{Volum casting} = p \times l \times t \\ = 318,088 \text{ mm} \times 61,721 \text{ mm} \times 20,221 \text{ mm} \\ = 396993,018 \text{ mm}^3$$



2. Melakukan perhitungan pada *Gatting* Sistem

Tabel 3.1 Perhitungan *Gatting* Sistem

Dimensi Spesimen	Ukuran Awal	Shrinkage Allowance	Machining Allowance	Draft Allowance
Panjang (mm)	310	314,03	317,03	318,081492
Lebar (mm)	17	17,221	60,663	61,714492
Tinggi (mm)	17	17,221	20,221	20,221
Volume Casting (mm ³)	396943,04			
Surface Area Casting awal (mm ²)	54620,185			
Diameter Riser (mm)	55			
Tinggi Riser (mm)	70			
Volume Riser (mm ³)	166223,75			
Surface Area Riser awal (mm ²)	16838,25			
Luas Kontak (mm ²)	2374,625			
S A Casting (mm ²)	52245,56			
S A Riser (mm ²)	14463,625			
Freezing Ratio (smb-X)	1,5126454			
Volume Ratio (Smb-Y)	0,4187597			
Tipe Riser	Open			
Density Paduan (kg/mm ³)	0,0000027			
W casting (Kg)	1,0717462			
Pouring Time (s)	15			
Effisiensi Factor	0,9			
Luas Choke Sprue (mm ²)	785,83325			
Diamer Sprue (mm)	31,639555			
Tinggi Bashin (mm)	25			
Luas Top Sprue (mm ²)	1314,9505			
Diameter Top Sprue	40,927939			
Luas Runner 1 (mm ²)	785,83325			
Sisi Runner 1 (mm)	28,032718			
Panjang Runner (mm)	318,08149			
Luas Inggate 1 (mm ²)	392,91663			
Sisi Inggate 1 (mm)	19,822125			
Luas Inggate 2 (mm ²)	412,56246			
Sisi Inggate 2 (mm)	20,311634			
Luas Runner 2 (mm ²)	412,56246			
Tinggi Runner 2 (mm)	14,717177			



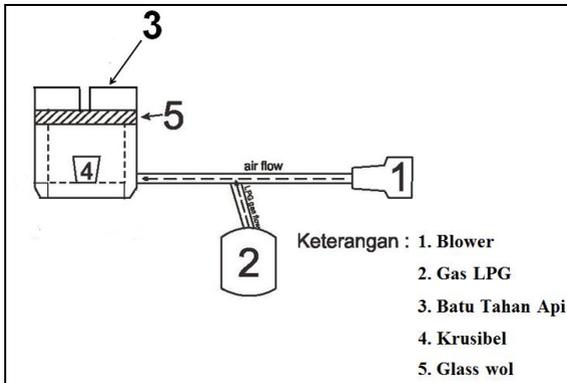
3. Menyiapkan dan menimbang kedua bahan yaitu tembaga dan nikel dengan kadar Al-8Si-Mg, Al-10Si-Mg, Al-12Si-Mg, dan Al-14Si-Mg. Dari perhitungan *gating* sistem, didapatkan nilai berat *casting* sebesar 1,071 kg. Sebelum melakukan eksperimen, preparasi sampel dilakukan dengan cara menghitung massa tiap – tiap bahan lebur untuk mendapatkan komposisi hasil coran yang diinginkan. Perhitungan massa bahan lebur pada penelitian kali ini menggunakan prinsip *material balance*. Perhitungan *material balance* menggunakan Persamaan 3.1. Skema peleburan ditunjukkan pada Gambar 3.10 dan % komposisi serta massa *raw material* yang digunakan dalam proses peleburan ditunjukkan pada Tabel 3.2

$$\frac{\% \text{ Target unsur}}{\% \text{ Rasio Kadar Unsur Pada Bahan}} \times \text{Massa Total} \dots\dots\dots(3.1)$$

Tabel 3. 2 Komposisi raw material input

No.	Paduan	Al (%)	Si (%)	Mg (%)
1	Al-8Si-Mg	90,8	8	1,2
2	Al-10Si-Mg	88,8	10	1,2
3	Al-12Si-Mg	86,8	12	1,2
4	Al-14Si-Mg	84,8	14	1,2

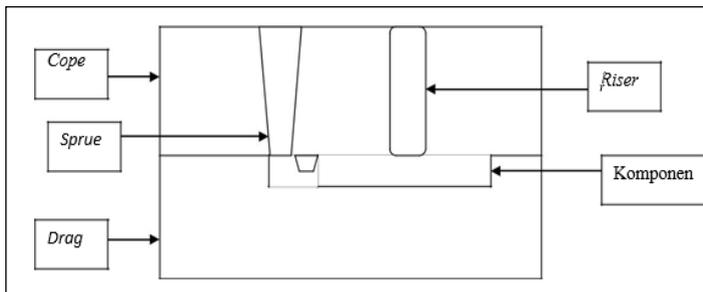
Setelah proses penghitungan jumlah bahan lebur, *raw material* kemudian diletakkan pada krusibel. Langkah selanjutnya yaitu melakukan peleburan AlSi20 dan Al *pure* yang telah diletakkan dalam krusibel menggunakan *crucible furnace* sampai temperatur 650°C kemudian di masukkan Mg dengan bantuan pengaduk berbahan *stainless steel* seperti ditunjukkan pada Gambar 3.9



Gambar 3. 9 Skema peleburan dengan *crucible furnace*

3.5.2. Preparasi Cetakan

Cetakan yang digunakan dalam penelitian terbuat dari pasir silika dan *benonite* sebagai perekat. Pertama menyiapkan pasir silika, *benonite*, dan air. Selanjutnya menimbang pasir silika dan *benonite* dengan komposisi 87% pasir silika, 3% air dan 10% *benonite*. Kemudian memasukan pasir silika dan *benonite* ke dalam wadah dan mengaduknya secara merata dengan menambahkan air secara bertahap. Lalu menyiapkan *flask* dan pola benda. Terakhir membuat cetakan sesuai kebutuhan, diperlihatkan pada Gambar 3.10.



Gambar 3. 10 Cetakan pasir pada proses pengecoran



3.6. Proses Pengujian

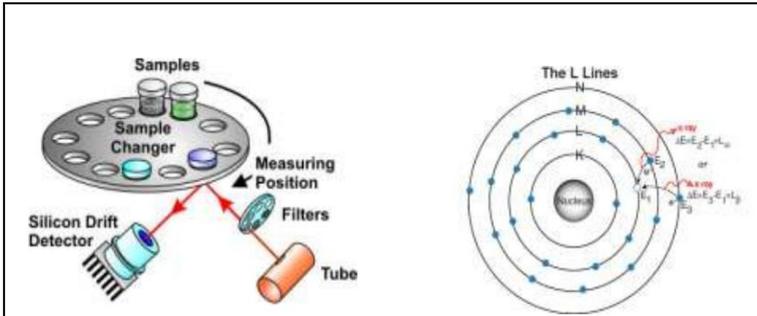
Penelitian ini dilakukan empat pengujian. Pengujian komposisi dengan OES, pengujian metalografi untuk melihat struktur mikro. *Hardness test* untuk mengetahui nilai kekerasan. Uji XRD untuk mengetahui fasa yang terbentuk.

3.6.1 Pengujian Komposisi Kimia

Analisis menggunakan XRF dilakukan berdasarkan identifikasi dan pencacahan karakteristik sinar-X yang terjadi dari peristiwa efekfotolistrik. Efekfotolistrik terjadi karena elektron dalam atom target (sampel) terkena berkas berenergi tinggi (radiasi gamma, sinar-X). Bila energi sinar tersebut lebih tinggi dari pada energi ikat elektron dalam orbit K, L, atau M atom target, maka elektron atom target akan keluar dari orbitnya. Dengan demikian atom target akan mengalami kekosongan elektron. Kekosongan elektron ini akan diisi oleh elektron dari orbital yang lebih luar diikuti pelepasan energi yang berupa sinar-X. Skematik proses identifikasi dengan XRF tampak pada Gambar 3.8 Sinar-X yang dihasilkan merupakan gabungan spektrum sinambung dan spektrum berenergi tertentu (discreet) yang berasal bahan sasaran yang tertumbuk elektron. Jenis spektrum discreet yang terjadi tergantung pada perpindahan elektron yang terjadi dalam atom bahan. Spectrum ini dikenal dengan spektrum sinar-X karakteristik. Spektrometri XRF memanfaatkan sinar-X yang dipancarkan oleh bahan yang selanjutnya ditangkap detektor untuk dianalisis kandungan unsur dalam bahan. Bahan yang dianalisis dapat berupa padat massif, pelet, maupun serbuk. Analisis unsur dilakukan secara kualitatif maupun kuantitatif. Analisis kualitatif menganalisis jenis unsur yang terkandung dalam bahan dan analisis kuantitatif dilakukan untuk menentukan konsentrasi unsur dalam bahan. Sinar-X yang dihasilkan dari peristiwa



seperti peristiwa tersebut diatas ditangkap oleh oleh detektor semi konduktor Silikon Litium (SiLi).

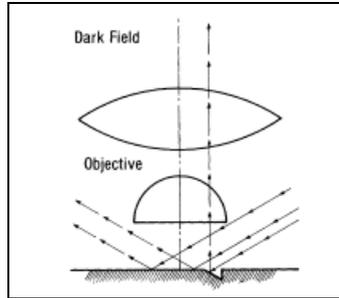


Gambar 3. 11 Prinsip pengujian Komposisi Kimia (BATAN,2012)

3.6.2 Pengujian Struktru Mikro

Metalografi adalah suatu metode pengujian untuk melihat struktur logam pada skala mikro. Struktur atau gambar logam yang terlihat melalui pengamatan dengan mikroskop disebut mikrostruktur. Pada gambar ini terlihat daerah lingkup ukuran mikro struktur logam yang umumnya diamati dengan mikroskop. Gambar 3.12 menunjukkan alur sinar datang pada pemngamatan Metalografi.

Tujuan dilakukannya pengujian metalografi pada penelitian ini adalah melihat struktur yang terbentuk pada spesimen hasil pemaduan. Struktur mikro yang terlihat akan dibandingkan dengan diagram fasa paduan. Pengamatan ini dilakukan untuk melihat pengaruh unsur paduan terhadap diagram fasa dan strukturnmikro. Pengujian menggunakan Metallurgical Microscope OLYMPUS BX51M-RF larutan etsa yang digunakan sesuai dengan ASM Metal Handbook Vol 9 untuk Al-Si-Mg.



Gambar 3. 12 Alur sinar pada pengamatan metalografi
(Kaufmann, 2003)

3.6.3 Pegujian Kekerasan

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui ketahanan sebuah material terhadap indentasi dan goresan. Pengujian kekerasan dilakukan berdasarkan ASTM E92 dengan menggunakan metode vickers. Alat yang digunakan adalah *Universal Hardness Tester HBRV-187.5A* (lihat Gambar 3.13) di Laboratorium Metalurgi Teknik Material dan Metalurgi ITS. Beban yang diberikan sebesar 100 kgf dan waktu pembebanan selama 10 s. Pengujian kekerasan dilakukan sebanyak 3 kali indentasi. Gambar 3.13 menunjukkan Mesin Universal Hardness Tester HBRV - 187.5A.



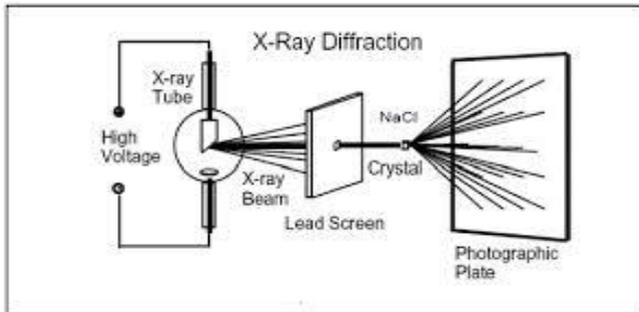
Gambar 3. 13 Mesin Universal Hardness Tester HBRV - 187.5A

3.6.4 Pengujian Fasa

Pengujian fasa dilakukan dengan menggunakan XRD. Analisa difraksi sinar X dilakukan dengan tujuan mengidentifikasi transformasi fasa yang terbentuk pada paduan Al-Si-Mg yang sudah terbentuk selama proses melting. Karakterisasi difraksi Sinar-X (XRD). Prinsip kerja pada pengujian XRD 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. Gambar 3.14 menunjukkan prinsip kerja pengujian XRD. Pengujian XRD dilakukan di Laboratorium Karakterisasi Material Jurusan Teknik Material dan Metalurgi ITS. Pengujian dilakukan dengan



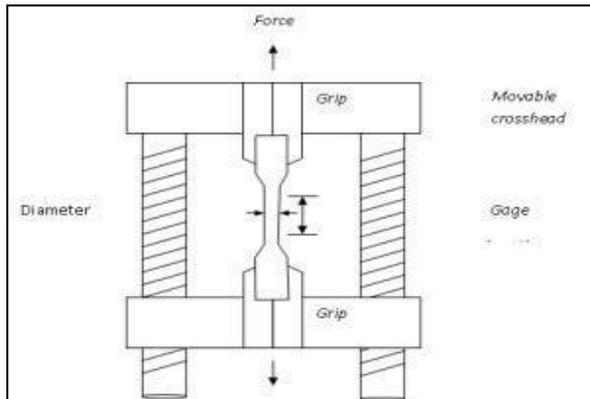
mesin PAN Analytical XRD. Sampel yang digunakan untuk pengujian XRD ini harus memiliki ketinggian tidak lebih dari 4 mm.



Gambar 3. 14 Prinsip kerja XRD (Kaufmann, 2003)

3.6.5 Pengujian Tarik

Pengujian tarik adalah pengujian yang digunakan untuk menguji kekuatan suatu bahan/material dengan cara memberikan beban gaya yang sesumbu. Selain itu, uji ini juga dilakukan untuk mengukur ketahanan suatu material terhadap gaya statis yang diberikan secara lambat. Dilakukan berdasarkan standar JIS Z 2201 No.5 (a) di Lab. Metalurgi Jurusan Teknik Maerial dan Metalurgi ITS. Spesimen disiapkan sesuai dengan standar uji yang digunakan. Memasangkan spesimen pada alat pengujian dan pastikan spesimen terkunci pada grip. Memberikan beban secara terus menerus sampai spesimen mengalami patah. Grafik uji tarik akan dihasilkan setelah pengujian selesai dilakukan. Pada Gambar 3.15 menjelaskan tentang mesin uji tarik dan spesimen yang berada pada alat uji tersebut.



Gambar 3. 15 Mesin Uji Tarik dan Spesimen

3.6.6 Pengujian Porositas

Pengamatan porositas dapat dilakukan dengan melihat secara visual pada setiap sisi bagian luar dari benda coran. Dari spesimen benda coran tersebut dicari nilai porositasnya untuk menentukan tingkat porositas dari benda coran. Pengujian porositas dilakukan dengan menggunakan metode Archimedes. Porositas dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara jumlah volume ruang kosong yang dimiliki oleh zat padat terhadap jumlah dari volume zat padat itu sendiri dan dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$\text{porosity} = 1 - \frac{\rho_m}{\rho_{th}}$$

Keterangan:

ρ_m : *Density sebenarnya*

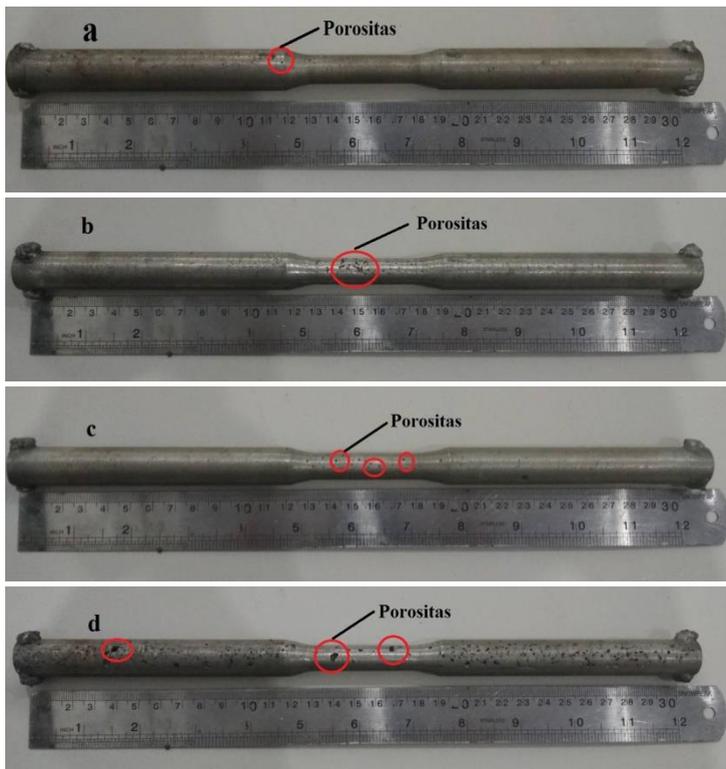
(Sumpena 2017)

ρ_{th} : *Density theory*

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengamatan Hasil Peleburan Paduan Al-Si-Mg

Hasil peleburan yang dilakukan untuk membentuk paduan logam Al-Si-Mg dilihat pada Gambar 4.1. Warna dari masing-masing logam paduan Al-Si-Mg hasil coran tidak ada perbedaan antara satu sama lain dikarenakan warna dasar dari Aluminium adalah perak.



Gambar 4.1 Hasil Coran Paduan Al-Si
(a) Al-8Si-Mg (b) Al-10Si-Mg (c) Al-12Si-Mg (d) Al-14Si-Mg



Gambar 4.1 (a) adalah logam hasil peleburan spesimen pertama paduan Al-Si-Mg dengan kadar massa 90,8% Al, 8% Si, dan 1,2% Mg. Paduan berwarna perak sama dengan warna dari masing-masing logam pembentuk paduannya. Hasil pengecoran memiliki dimensi yang sesuai dengan dimensi cetakan. Hasil coran terdapat porositas dibagian permukaan *grib* spesimen uji Gambar 4.1 (b) merupakan hasil peleburan spesimen kedua paduan Al-Si-Mg dengan kadar massa 88,8% Al, 10% Si, dan 1,2% Mg. Paduan hasil peleburan ini pada permukaannya terlihat porositas dengan ukuran berbeda dan tersebar cukup banyak pada bagian *gauge length*. Hasil pengecoran paduan ini memiliki dimensi yang sesuai dengan dimensi cetakan. Gambar 4.1 (c) merupakan hasil peleburan spesimen ketiga paduan Al-Si-Mg dengan kadar massa 86,8% Al, 12% Si, dan 1,2% Mg. Paduan ini memiliki warna yang sama dengan masing-masing bahan pembentuk paduannya yaitu berwarna perak. Porositas yang tampak terdapat dipermukaan dan tersebar merata di bagian *gauge length* pada spesimen ketiga ini memiliki ukuran yang sama. Untuk ukuran porositas yang muncul ini agak lebih kecil jika dibandingkan dengan lubang-lubang yang terdapat pada spesimen kedua. Hasil pengecoran paduan ini memiliki dimensi yang sesuai dengan dimensi cetakan. Gambar 4.1 (d) merupakan hasil peleburan spesimen keempat paduan Al-Si-Mg dengan kadar massa 84,8% Al, 14% Si, dan 1,2% Mg. Paduan ini memiliki warna yang sama dengan ketiga spesimen sebelumnya yaitu perak. Pada bagian permukaan terdapat banyak sekali porositas dengan ukuran yang jauh lebih besar dibanding pada porositas yang muncul pada spesimen kedua dan ketiga. Porositas ini tersebar tidak hanya pada bagian *gauge length* tapi juga pada bagian *grib*. Dan porositas ini hanya terdapat di setengah bagian dari bentuk *full* spesimen paduan. Hasil pengecoran paduan ini memiliki dimensi yang sesuai dengan dimensi cetakan.

Porositas yang terjadi pada hasil coran paduan Al-Si-Mg pada penelitian ini karena terperangkapnya gas pada cetakan sehingga membentuk gelembung-gelembung gas. Hal ini



disebabkan karena *permeability* dari cetakan pasir yang rendah, temperatur peleburan dan temperatur penuangan yang terlalu tinggi menyebabkan udara larut ke dalam *molten metal*. Seiring dengan menurunnya temperatur, kelarutan gas di dalam *molten metal* semakin berkurang sehingga gas tersebut akan keluar dari molten metal. Ketika *molten metal* telah mengalami solidifikasi gas tersebut terperangkap dalam *solid metal* membentuk porositas. (PN RAO, 2013)

4.2 Komposisi Kimia Paduan Al-Si-Mg

Pada penelitian ini, proses pengecoran menggunakan bahan baku Aluminium *ingot* dengan kadar kemurnian 99,9 %, paduan Al-Si12 *ingot*, serta Magnesium *ingot* dengan kadar kemurnian 97,9 %. Paduan Al-Si-Mg yang dibuat dalam proses pengecoran ini mengamati tentang pengaruh banyaknya jumlah penambahan Si sebagai unsur pepadu utama. Unsur Si dalam paduan Al-Si di variasikan dengan komposisi yaitu Al-8Si-Mg, Al-10Si-Mg, Al-12Si-Mg, dan Al-14Si-Mg. Paduan – paduan tersebut dihasilkan melalui proses yang sama yaitu melalui proses peleburan didalam krusibel *furnace* dengan krusibel SiC. Raw material paduan dipanaskan di dalam krusibel *furnace* selama \pm 20 menit hingga logam meleleh. Setelah paduan meleleh secara sempurna, paduan cair diaduk menggunakan batang *stainless steel* agar komposisinya tercampur secara merata. Setelah diaduk, paduan cair dituang ke dalam cetakan pasir. Setelah proses pengecoran selesai dilakukan, maka didapatkan hasil coran paduan. Rancangan komposisi kimia yang dilakukan pada penelitian dapat dilihat pada Tabel 4.1



Tabel 4.1 Komposisi Kimia Paduan Al-Si-Mg (% wt)

Paduan	Komposisi Rancangan			Komposisi Aktual		
	Al (% wt)	Si (% wt)	Mg (% wt)	Al (% wt)	Si (% wt)	Mg (% wt)
Al-8Si-Mg	90,8	8	1,2	83,4	12,7	0
Al-10Si-Mg	88,8	10	1,2	81,7	14,6	0
Al-12Si-Mg	86,8	12	1,2	77,1	17,7	0
Al-14Si-Mg	84,8	14	1,2	72,1	21,7	0

Tabel 4.1 menunjukkan bahwa terdapat beberapa perbedaan hasil pengujian komposisi kimia rancangan sebelum proses peleburan dibandingkan komposisi kimia setelah proses peleburan. Pada paduan Al-8Si-Mg, hasil pengujian komposisi kimia unsur Si yang bertambah sebanyak 4,7% dan unsur Al dan Mg yang menghilang secara berturut-turut sebanyak 7,4%, dan 1,2%. Paduan Al-10Si-Mg mengalami penambahan komposisi unsur Si sebanyak 4,6% dan kehilangan komposisi unsur Al dan Mg berturut-turut sebanyak 7,1%, dan 1,2%. Paduan Al-12Si-Mg mengalami penambahan komposisi unsur Si sebanyak 5,7% sedangkan untuk komposisi unsur Al dan Mg menghilang berturut-turut sebanyak 9,7%, dan 1,2%. Sedangkan untuk paduan Al-14Si-Mg mengalami penambahan komposisi unsur Si sebanyak 7,7% dan kehilangan komposisi unsur Al dan Mg berturut-turut sebanyak 12,7%, dan 1,2% dari rancangan.

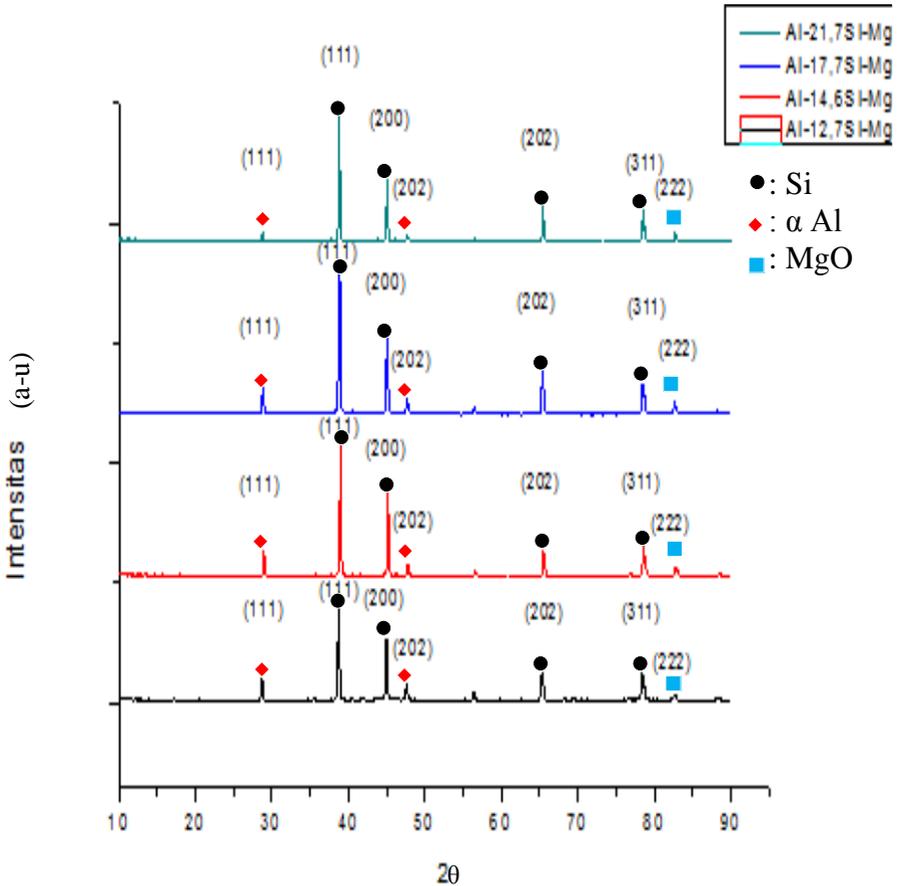
Berdasarkan hasil pengujian, unsur Al mengalami pengurangan, unsur Si mengalami penambahan, sedangkan unsur Mg mengalami oksidasi menjadi MgO menyebabkan unsur Mg



tidak terdapat didalam komposisi logam paduan. Hal ini terjadi serupa pada unsur Al yang mengalami oksidasi selama proses peleburan, sehingga membuat jumlah berat komposisi Al mengalami pengurangan dari persen jumlah komposisi yang direncanakan. Menurut diagram elingham, unsur Al dan Mg lebih mudah mengalami oksidasi karena memiliki Nilai Energi Bebas Gibbs yang lebih negatif dibandingkan dengan unsur Si. Unsur Al dan Mg lebih mudah bereaksi dengan oksigen membentuk Aluminium oksida (Al_2O_3) dan magnesium oksida (MgO). Untuk Aluminium oksida (Al_2O_3) dan magnesium oksida (MgO) akan berubah menjadi terak (*slag*) yang mengapung membentuk lapisan diatas logam cair. Terak tersebut kemudian dihilangkan dengan cara menarik terak menggunakan batang pengaduk berbahan *stainless steel*. Jumlah unsur Aluminium yang berkurang juga disebabkan oleh unsur lain yang tercampur kedalam paduan Al-Si-Mg sehingga unsur utama Al mengalami pengurangan. Unsur lain tersebut adalah Fe yang berasal dari batang pengaduk. Batang pengaduk Fe meleleh selama proses peleburan paduan dalam membantu melarutkan unsur Mg pada logam paduan Al-Si-Mg. (Michael, 2011)

4.3 Pengamatan Hasil XRD Paduan Al-Si-Mg

Pengujian X-Ray Diffraction dilakukan di Laboratorium Karakterisasi Material Departemen Teknik Material FTI-ITS. Bertujuan untuk mengidentifikasi transformasi fasa yang terbentuk pada paduan Al-Si-Mg. Pola XRD hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Hasil pengolahan data XRD untuk logam paduan Al-Si-Mg

Analisis pengolahan data hasil pengujian XRD menggunakan software Match 3. Pada logam paduan Al-12,7Si-Mg, *peak* Al muncul pada 2θ 38,45 pada bidang (1 1 1), 2θ 44,70 pada bidang (2 0 0), 2θ 65,05 pada bidang (2 0 2), serta



2θ 78,16 pada bidang (3 1 1) dengan nama fasa α Aluminium. Fasa α aluminium yang muncul ini memiliki struktur kristal *cubic* sesuai dengan nomor PDF #96-431-3218. Kemudian untuk peak Si muncul pada 2θ 28,43 pada bidang (1 1 1), serta 2θ 47,31 pada bidang (2 0 2) dengan nama fasa silikon. Fasa silikon yang muncul ini memiliki struktur kristal *cubic* sesuai dengan nomor PDF #96-210-4738. Sedangkan untuk peak MgO muncul pada 2θ 82,36 pada bidang (2 2 2) dengan nama fasa MgO. Fasa MgO yang muncul ini memiliki struktur kristal *cubic* sesuai dengan nomor PDF #96-901-3253.

Pada logam paduan Al-14,6Si-Mg, *peak* Al muncul pada 2θ 38,71 pada bidang (1 1 1), 2θ 44,94 pada bidang (2 0 0), 2θ 65,26 pada bidang (2 0 2), serta 2θ 78,34 pada bidang (3 1 1) dengan nama fasa α Aluminium. Fasa α aluminium yang muncul ini memiliki struktur kristal *cubic* sesuai dengan nomor PDF #96-900-8461. Kemudian untuk peak Si muncul pada 2θ 28,70 pada bidang (1 1 1), serta 2θ 47,90 pada bidang (2 0 2) dengan nama fasa silikon. Fasa silikon yang muncul ini memiliki struktur kristal *cubic* sesuai dengan nomor PDF #96-152-6656. Sedangkan untuk peak MgO muncul pada 2θ 83,00 pada bidang (2 2 2) dengan nama fasa MgO. Fasa MgO yang muncul ini memiliki struktur kristal *cubic* sesuai dengan nomor PDF #96-901-3201.

Pada logam paduan Al-17,7Si-Mg, *peak* Al muncul pada 2θ 38,81 pada bidang (1 1 1), 2θ 45,05 pada bidang (2 0 0), 2θ 65,36 pada bidang (2 0 2), serta 2θ 78,47 pada bidang (3 1 1) dengan nama fasa α Aluminium. Fasa α aluminium yang muncul ini memiliki struktur kristal *cubic* sesuai dengan nomor PDF #96-901-2003. Kemudian untuk peak Si muncul pada 2θ 28,83 pada bidang (1 1 1), serta 2θ 47,65 pada bidang (2 0 2) dengan nama fasa silikon. Fasa silikon yang muncul ini memiliki struktur kristal *cubic* sesuai dengan nomor PDF #96-152-6656. Sedangkan untuk peak MgO muncul pada 2θ 82,65 pada bidang (2 2 2) dengan nama fasa MgO. Fasa MgO yang muncul ini memiliki struktur kristal *cubic* sesuai dengan nomor PDF #96-901-3254.



Pada logam paduan Al-21,7Si-Mg, *peak* Al muncul pada 2θ 38,62 pada bidang (1 1 1), 2θ 44,89 pada bidang (2 0 0), 2θ 65,52 pada bidang (2 0 2), serta 2θ 78,63 pada bidang (3 1 1) dengan nama fasa α Aluminium. Fasa α aluminium yang muncul ini memiliki struktur kristal *cubic* sesuai dengan nomor PDF #96-230-0251. Kemudian untuk *peak* Si muncul pada 2θ 28,85 pada bidang (1 1 1), serta 2θ 47,78 pada bidang (2 0 2) dengan nama fasa silikon. Fasa silikon yang muncul ini memiliki struktur kristal *cubic* sesuai dengan nomor PDF #96-152-6656. Sedangkan untuk *peak* MgO muncul pada 2θ 83,25 pada bidang (2 2 2) dengan nama fasa MgO. Fasa MgO yang muncul ini memiliki struktur kristal *cubic* sesuai dengan nomor PDF #96-901-3202.

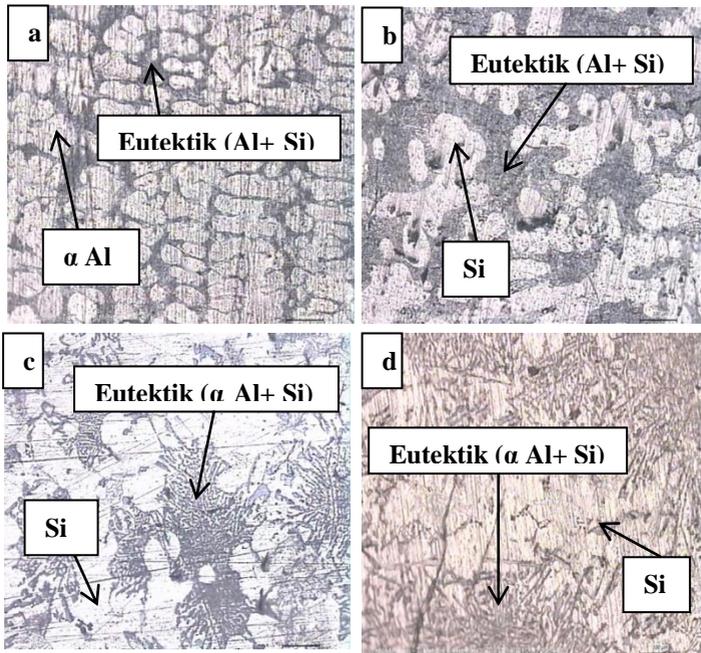
Dari hasil pengujian XRD didapatkan terdapat tiga fasa yang terbentuk yaitu fasa α Al, fasa Si, dengan fasa MgO. Dari fasa-fasa yang terbentuk berdasarkan hasil XRD, tidak semua fasa yang muncul sesuai. Fasa yang diinginkan terbentuk adalah fasa Mg_2Si . Fasa ini terbentuk karena adanya ikatan antara masing-masing unsur penyusun yaitu unsur silikon dengan magnesium, akan tetapi pada kondisi saat peleburan logam paduan, unsur Mg mengalami oksidasi sehingga terbentuk fasa MgO (Michael, 2011). Dalam penelitian ini logam paduan Al-Si-Mg termasuk kedalam diagram fasa eutektik Al-Si. Pada paduan komposisi Al-12,7Si-Mg terbentuk fasa Si dan fasa eutektik sebagai fasa tambahan. Untuk paduan komposisi Al-14,6Si-Mg terbentuk fasa Si dan fasa eutektik sebagai fasa tambahan. Sedangkan untuk paduan Al-17,7Si-Mg dan Al-21,7Si-Mg menghasilkan fasa yang sama seperti sebelumnya yaitu fasa Si dan fasa eutektik hanya saja yang membedakan luasan fraksi daerah fasa Si yang semakin besar dengan bertambahnya jumlah penambahan Si dan sebaliknya luasan fraksi fasa eutektik yang berkurang, Fasa eutektik tersusun secara *lamellar* antara fasa α Al dengan Si.

4.4 Pengamatan Struktur Mikro Paduan Al-Si-Mg

Pengamatan struktur mikro paduan Al-Si-Mg dilakukan dengan pengujian metalografi sesuai ASTM E407-07. Larutan



etsa yang digunakan adalah etsa kode 3a dengan bahan 2 ml HF, 3 ml HCl, 5 ml HNO₃, dan 190 ml *aquades*. Pemberian larutan etsa pada spesimen menggunakan metode *immerse*. *Immerse* dilakukan selama 10-20 detik. Berikut merupakan hasil pengamatan struktur mikro seluruh paduan Al-Si-Mg dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Pengamatan Struktur Mikro Paduan Al-Si-Mg(As-Cast) (a) Al-12,7Si-Mg (b) Al-14,6Si-Mg (c) Al-17,7Si-Mg (d) Al-21,7Si-Mg pada perbesaran 100 kali

Gambar 4.3 (a) menunjukkan pengamatan hasil struktur mikro yang terbentuk pada logam paduan Al-12,7Si-Mg untuk perbesaran 100 kali. Terlihat pada gambar (a) terdapat dua daerah yang dapat di bedakan dengan warna gelap dan terang. Untuk



daerah yang berwarna terang mewakili fasa α Al sedangkan untuk daerah yang berwarna gelap mewakili fasa eutektik (Al+Si). Logam paduan ini termasuk kedalam logam paduan Aluminium silikon dengan komposisi hipereutektik. Oleh karena itu pada struktur mikro logam paduan ini fasa eutektik (Al+Si) jauh mendominasi dibanding fasa α Al yang berperan sebagai fasa tambahan, serta baru munculnya fasa Si. Untuk struktur eutektik pada paduan ini berbentuk acicular tanpa penambahan oleh *modifier*. Gambar 4.3 (b) menunjukkan hasil struktur mikro yang terbentuk pada logam paduan Al-14,6Si-Mg untuk perbesaran 100 kali. Terlihat pada gambar (b) tidak jauh berbeda dengan struktur logam paduan sebelumnya pada gambar (a) yaitu terdapat dua daerah yang dapat dibedakan dengan warna gelap dan terang. Kemudian logam paduan Al-14,6Si-Mg ini juga sama digolongkan kedalam logam paduan Aluminium silikon dengan komposisi hipereutektik seperti logam paduan sebelumnya. Dengan bertambahnya kandungan Si maka pada komposisi hipereutektik paduan ini terbentuk fasa silikon primer yang bentuknya relatif kasar (*coarse*) dan mendominasi sementara itu kebalikan dengan fraksi volume dan fraksi luas dari fasa silikon primer, fasa eutektik interdendritik (Al+Si) akan menurun. Gambar 4.3 (c) menunjukkan pengamatan hasil struktur mikro yang terbentuk pada logam paduan Al-17,7Si-Mg untuk perbesaran 100 kali. Terlihat pada gambar (c) struktur mikro yang terbentuk agak berbeda jika dibandingkan dengan 2 struktur mikro logam paduan sebelumnya. Dapat terlihat bahwa terdapat dua daerah yang dapat dibedakan antara lain daerah yang berwarna terang dan daerah yang berwarna gelap berbentuk *lamellar* (berlapis). Logam paduan ini termasuk kedalam paduan Aluminium silikon dengan komposisi hipereutektik. Fasa yang terbentuk ialah fasa Si dan fasa eutektik interdendritik (Al+Si). Fasa Si lebih mendominasi dibanding fasa eutektik interdendritik (Al+Si) yang berperan sebagai fasa tambahan. Untuk fasa eutektik strukturnya berupa plat kasar (*coarse plates*) atau jarum. Silikon berwarna hitam sedangkan matriks berwarna putih



merupakan Al yang menumpuk berbentuk lapisan (*lamellar*). Sedangkan untuk gambar (d) menunjukkan pengamatan hasil struktur mikro yang terbentuk pada logam paduan Al-21,7Si-Mg untuk perbesaran 100 kali. Terlihat bahwa pada gambar 4.3 (d) struktur mikro yang terbentuk ialah fasa Si dengan fasa eutektik interdendritik (Al+Si), dengan fasa Si lebih mendominasi ketimbang dengan fasa eutektik interdendritik (Al+Si) yang terbentuk. Diketahui bahwa paduan Al-Si memiliki tiga daerah komposisi menurut diagram biner. Tiga daerah tersebut digolongkan berdasarkan persentasi komposisi berat silikon dalam paduan Al-Si, tiga daerah tersebut yaitu komposisi hipoeutektik, komposisi eutektik, dan komposisi hipereutektik (Elzanaty,2014). Dengan menambahnya persen silikon pada paduan Al-Si maka akan mempengaruhi fasa yang terbentuk pada masing-masing struktur mikro di setiap daerah komposisinya. Untuk komposisi hipoeutektik yaitu kurang dari 12,6% jumlah Si maka fasa yang terbentuk adalah fasa Al primer (α Al) sebagai fasa yang dominan ketimbang fasa eutektik interdendritik (Al+Si) yang menjadi fasa tambahan (Kalhapure,2013). Kemudian untuk komposisi eutektik maka akan muncul fasa eutektik (Al+Si) yang tersusun secara berlapis dengan Si berwarna gelap dan berbentuk jarum (*coarse plate*) yang menempati matrik berwarna terang yaitu Al (Elzanaty,2014). Sedangkan untuk komposisi hipereutektik fasa yang terbentuk ialah fasa silikon dengan bentuk struktur kasar yang lebih mendominasi di banding dengan fasa eutektik interdendritik (Al+Si) yang hanya berperan sebagai fasa tambahan.(Mathai,2015)

4.5 Pengujian Porositas Paduan Al-Si-Mg

Pada hasil coran logam paduan Al-Si-Mg terlihat jelas bahwa terdapat lubang-lubang kecil yang tampak tersebar merata pada permukaan spesimen untuk masing-masing paduan. Ukuran lubang-lubang tersebut bervariasi untuk masing-masing spesimen. Lubang-lubang yang timbul itu sering dikenal sebagai cacat porositas dalam pengecoran. Porositas merupakan cacat hasil dari



benda coran yang disebabkan karena terdapatnya udara yang terperangkap tidak bisa keluar dari rongga pasir sehingga menyebabkan udara tersebut masuk kedalam *molten metal* pada saat *molten metal* dituang atau proses pembekuan (solidifikasi) didalam cetakan. Gelembung-gelembung gas (*bubbles*) yang terbentuk diselah cetakan saat kontak dengan logam dan gelembung di dalam logam cair yang terperangkap pada saat pembekuan (solidifikasi) akan menjadi pori-pori di dalam benda cor (campbell, 2003). Porositas merupakan hal yang tidak diinginkan yang terjadi pada produk benda coran karena menyebabkan sifat mekanik coran menurun (Wasiu,2012). Pengujian porositas dilakukan untuk melihat persen jumlah porositas yang terdapat pada hasil benda coran untuk logam paduan Al-Si-Mg. Pengujian ini dilakukan berdasarkan pada hukum archimedes dengan cara mencari selisih massa benda didalam air dengan massa benda di udara. Berikut Tabel 4.2 Menunjukkan persen jumlah porositas dari hasil pengujian yang telah dilakukan.

Tabel 4.2 Jumlah Porositas Logam Paduan Al-Si-Mg

No	Paduan	Jumlah Porositas (%)
1	Al-12,7Si-Mg	0,628
2	Al-14,6Si-Mg	1,768
3	Al-17,7Si-Mg	1,872
4	Al-21,7Si-Mg	2,112

Setelah proses uji komposisi maka didapatkan komposisi yang tidak sesuai dengan perencanaan pada persen jumlah berat komposisi masing-masing unsur penyusun pada pembuatan logam paduan Al-Si-Mg. Dalam mencari uji porositas dibutuhkan densitas teoritis dan densitas aktual yang telah disebutkan dalam prosedur pengujian porositas. Untuk itu besar persen berat komposisi yang dihasilkan pada uji komposisi mempengaruhi dalam menentukan nilai densitas teoritis. Besar persen jumlah



komposisi yang di hasilkan pada pengujian komposisi menggunakan alat XRF yang akan digunakan walaupun tidak sesuai dengan persen jumlah berat komposisi yang direncanakan. Pada logam paduan Al-12,7Si-Mg, didapatkan perhitungan jumlah porositas sebesar 0,628%. Pada logam paduan Al-14,6Si-Mg, hasil perhitungan jumlah porositas sebesar 1,768%. Pada logam paduan Al-17,7Si-Mg, didapatkan hasil perhiungan jumlah porositas sebesar 1,872%, Sedangkan untuk logam paduan Al-21,7Si-Mg, didapatkan hasil perhitungan jumlah porositas sebesar 2,112%. Terlihat bahwa jumlah persen porositas terbanyak terjadi pada spesimen ke empat untuk logam paduan Al-21,7Si-Mg sebsar 2,112%, sedangkan untuk jumlah porositas terendah terjadi pada spesimen pertama unuk logam paduan Al-12,7Si-Mg sebesar 0,628%. Hasil ini juga sesuai jika dibandingkan secara visual dengan masing-masing hasil coran untuk logam paduan Al-Si-Mg. Pada paduan Al-21,7Si-Mg tampak banyak porositas yang tersebar merata dengan ukuran yang cukup besar jika dibandingkan dengan spesimen logam paduan Al-Si-Mg yang lain pada spesimen untuk pengujian tarik. Sedangkan untuk spesimen logam paduan Al-12,7Si-Mg tampak porositas yang jauh lebih sedikit dengan ukuran yang kecil-kecil jika dibandingkan dengan tiga spesimen logam paduan Al-Si-Mg yang lainnya. Dengan terdapatnya cacat porositas maka akan mempengaruhi sifat mekanik dari benda hasil coran. Dengan adanya penambahan unsur dengan tujuan untuk dipadu agar dapat meningkatkan sifat mekaninya, namun dikarenakan terdapat cacat porositas sifat mekanik yang muncul akan tidak sesuai ataupun menjadi lebih buruk dari yang seharusnya. Hal lain yang menyebabkan porositas selain penggunaan cetakan pasir adalah digunakannya sistem saluran kurang baik pada cetakan pasir.

4.6 Pengujian Kekerasan Paduan Al-Si-Mg

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui ketahanan paduan Al-Si-Mg terhadap indentasi dan goresan. Tabel 4.3 Menunjukkan nilai kekerasan pada masing-masing



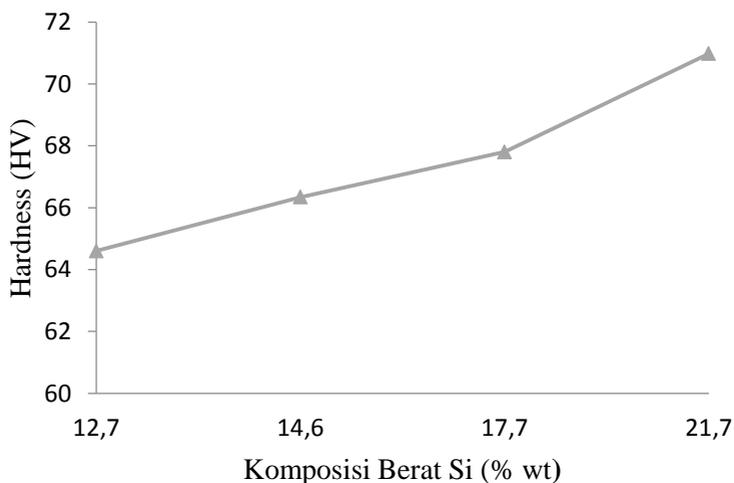
paduan Al-Si-Mg. Setiap pengujian dilakukan pengujian terhadap 5 titik sehingga didapatkan 5 nilai kekerasan pada masing-masing spesimen. Beban yang digunakan adalah 100 kg dan indentasi dilakukan selama 10 detik. Dari kelima hasil tersebut, dilakukan perhitungan rata-rata kekerasan setiap paduan Al-Si-Mg. Berikut besar nilai rata-rata kekerasan ditunjukkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Nilai Kekerasan Paduan Al-Si-Mg

No	Paduan	Hardness (HV)
1	Al-12,7Si-Mg	$64,6 \pm 4,292$
2	Al-14,6Si-Mg	$66,34 \pm 1,740$
3	Al-17,7Si-Mg	$67,8 \pm 3,328$
4	Al-21,7Si-Mg	$70,98 \pm 2,233$



Paduan logam Al-12,7Si-Mg dengan indentasi pada lima titik memiliki rata-rata kekerasan vickers sebesar 64,6 VHN. Logam paduan Al-14,6Si-Mg memiliki rata-rata kekerasan vickers sebesar 66,34 VHN. Logam paduan Al-17,7Si-Mg memiliki rata-rata kekerasan vickers sebesar 67,8 VHN. Logam paduan Al-21,7Si-Mg memiliki nilai rata-rata kekerasan vickers sebesar 70,98 VHN. Dari hasil pengujian kekerasan ini dapat terlihat bahwa dengan semakin bertambahnya jumlah silikon dalam paduan akan meningkatkan sifat kekerasan dari paduan ini.



Gambar 4.4 Pengaruh Penambahan Unsur Si terhadap Kekerasan Paduan Al-Si-Mg

Gambar 4.4 menunjukkan grafik kenaikan nilai kekerasan paduan Al-Si yang berbanding lurus dengan bertambahnya unsur Si. Paduan Al-21,7Si-Mg mempunyai nilai kekerasan paling besar dibandingkan dengan paduan Al-17,7Si-Mg, Al-14,6Si-Mg, dan Al-12,7Si-Mg. Paduan Al-12,7Si-Mg memiliki nilai kekerasn paling rendah dibanding yang lain. Unsur Al akan memiliki sifat mekanik yang baik jika dipadu dengan unsur yang lain.



Penambahan unsur Si akan memperbaiki sifat mekanik dari unsur Al pure. Hal ini dikarenakan unsur Si merupakan tergolong unsur yang bersifat getas (*brittle*). Paduan Al-Si-Mg merupakan larutan padat subtisonal dengan beberapa fasa yang akan terbentuk seperti fasa α Al, fasa eutektik (α Al + Si), dan fasa Si. Dengan ukuran radius unsur Si lebih kecil dibanding radius unsur Al, sedangkan unsur Mg radiusnya jauh lebih besar dari radius unsur Al. Dengan ini akan terjadi dislokasi pada susunan atom Al-Si-Mg yang menyebabkan timbulnya tegangan di dalam *lattice* atau *matrix* Al sehingga menyebabkan nilai kekerasannya akan meningkat (Malgorzata, 2004). Dengan penambahan unsur Si akan meningkatkan sifat kekerasannya (G Kalhapure1, 2013).

4.7 Pengujian Kekuatan Tarik Paduan Al-Si-Mg

Pengujian tarik dilakukan pada paduan Al-Si-Mg untuk mengetahui pengaruh varisasi penambahan Si pada sifat mekanik seperti *ultimate tensile strength* dari masing-masing logam paduan. Untuk bentuk spesimen uji tarik dari logam paduan Al-Si-Mg ini menggunakan bentuk standar spesimen uji tarik berbentuk *rod* berdasarkan ASTM E38. Pada pengujian tarik, spesimen akan diberikan beban terus-menerus hingga spesimen mengalami *fracture* atau patah. Spesimen yang akan digunakan untuk pengujian tarik terjadi pada bagian *gauge length* setelah pengujian dilakukan. Berikut merupakan Gambar 4.5 Yang menggambarkan pola patahan dari masing-masing logam paduan Al-Si-Mg hasil dari pengujian tarik.



Gambar 4.5 Pola Patahan Hasil Pengujian Tarik Logam Paduan Al-Si-Mg (a) Al-12,7Si-Mg (b) Al-14,6Si-Mg (c) Al-17,7Si-Mg (d) Al-21,7Si-Mg

Gambar 4.5 (a) merupakan hasil pengujian tarik untuk logam paduan Al-12,7Si-Mg. Terlihat bahwa pada permukaan gauge length untuk paduan sepesimen uji tarik ini tidak tampak porositas. *Fracture* yang terjadi tepat diantara sepanjang daerah *gauge length* nya. Pola patahan yang terbentuk memperlihatkan bahwa patahan bergelombang di masing-masing sisi, dan tidak



memperlihatkan *necking* yang jelas. Gambar 4.5 (b) merupakan hasil pengujian tarik untuk logam paduan Al-14,6Si-Mg. Agak sedikit berbeda dengan paduan spesimen uji tarik yang pertama, tampak pada permukaan *gauge length* nya terdapat lubang-lubang kecil (*porosity*) yang terlihat secara visual tersebar merata. *Fracture* yang terjadi tepat diantara sepanjang daerah *gauge length* nya. Pola patahan yang terbentuk hampir sama dengan pola patahan pada paduan spesimen uji tarik yang pertama yaitu terdapat garis bergelombang diantara kedua sisi nya, serta tidak memperlihatkan *necking* yang jelas. Gambar 4.5 (c) merupakan hasil pengujian tarik untuk logam paduan Al-17,7Si-Mg. Terlihat bahwa pada daerah *gauge length* tampak lubang-lubang kecil (porositas) yang memiliki ukuran yang hampir sama dengan paduan spesimen uji tarik yang kedua dan terlihat secara jelas secara visual tersebar merata. Untuk *fracture* yang terjadi masih dalam batas sepanjang daerah *gauge length* nya. Pola patahan yang terbentuk hanya memperlihatkan sedikit garis bergelombang antar kedua sisi patahannya, sedangkan untuk pola patahan antara kedua sisinya tidak terlihat *necking* yang jelas. Gambar 4.5 (d) merupakan hasil pengujian tarik untuk spesimen logam paduan Al-21,7Si-Mg. Porositas yang terdapat pada permukaan spesimen ini jauh lebih banyak, lebih besar dan lebih dalam dan tersebar merata ketimbang pada spesimen uji tarik logam paduan yang kedua dan ketiga. Porositas yang lebih banyak dan lebih besar ukurannya menyebabkan *fracture* yang terjadi pada spesimen ini terjadi tepat pada salah satu lubang (*porosity*) nya. *Fracture* yang terjadi masih terjadi pada sepanjang daerah *gauge length* nya. Pola patahan yang terbentuk diantara kedua sisi patahannya tidak terdapat garis bergelombang dan *necking*. Secara keseluruhan pola patahan yang terbentuk pada semua spesimen uji tarik paduan Al-Si-Mg memperlihatkan bahwa pola patahannya bersifat *brittle* (getas). Nilai yang didapatkan dari hasil pengujian tarik akan disajikan pada Tabel 4.4 Sampai dengan Tabel 4.4. Sedangkan untuk gambar hasil pengujian tarik akan diperlihatkan dari Gambar 4.5 Sampai dengan Gambar 4.5



Tabel 4.4 Menunjukkan hasil dari pengujian tarik untuk nilai *ultimate tensile strength* pada masing-masing sepsimen uji logam paduan Al-Si-Mg. Didapatkan nilai *ultimate tensile strength* hasil pengujian pada setiap variasi penambahan unsur Si pada paduan Al-Si-Mg. Berikut gambaran hasil nilai UTS yang didapat.

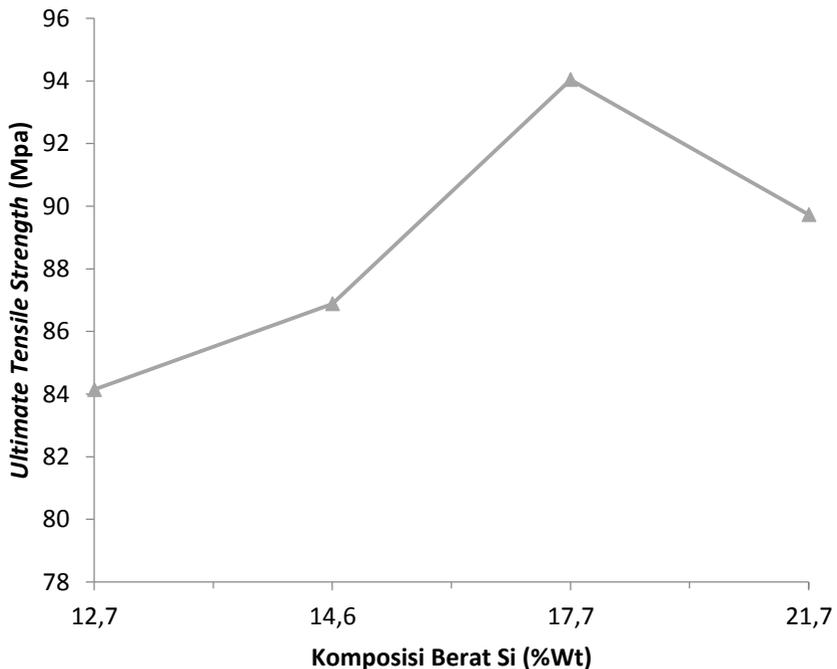
Tabel 4.4 Nilai *Ultimate Tensile Strength* Paduan Al-Si-Mg

No	Paduan	<i>Ultimate Tensile Strength</i> (MPa)
1	Al-12,7Si-Mg	84,14
2	Al-14,6Si-Mg	86,88
3	Al-17,7Si-Mg	94,04
4	Al-21,7Si-Mg	89,73

Untuk paduan Al-12,7Si-Mg memiliki nilai *ultimate tensile strength* sebesar 84,14 Mpa. Pada paduan Al-14,6Si-Mg memiliki nilai *ultimate tensile strength* sebesar 86,88 Mpa. Pada paduan Al-17,7Si-Mg memiliki nilai *ultimate tensile strength* sebesar 94,04 Mpa. Sedangkan pada paduan Al-21,7Si-Mg memiliki nilai *ultimate tensile strength* sebesar 89,73 Mpa. Terlihat bahwa dengan variasi penambahan unsur silikon akan mempengaruhi besar nilai *ultimate tensile strength* nya. Namun pada variasi penambahan unsur silikon dengan jumlah terbanyak yaitu 14% mengalami penurunan nilai *ultimate tensile strength* nya. Penurunan ini diakibatkan karena terjadinya *fracture* pada salah satu spesimen uji tarik logam paduan Al-21,7Si-Mg tepat pada porositas yang ada. Ini menyebabkan nilai *ultimate tensile strength* yang didapat dari salah satu nya menjadi lebih rendah sehingga mengakibatkan nilai *ultimate tensile strength* nya lebih



kecil dibanding dengan nilai *ultimate tensile strength* yang didapatkan oleh sepsimen uji tarik pada logam paduan Al-Si-Mg yang ketiga yaitu Al-17,7Si-Mg. Dengan penambahan unsur silikon pada logam aluminium akan meningkatkan sifat mekaniknya. Namun dengan adanya cacat porositas pada hasil coran akan menyebabkan sifat mekanik yang menurun (Wasiu,2012).



Gambar 4.6 Pengaruh Penambahan Unsur Si terhadap Nilai *Ultimate Tensile Strength* Paduan Al-Si-Mg

Gambar 4.6 menunjukkan hubungan antara nilai *ultimate tensile strength* dengan komposisi berat dari variasi penambahan



unsur silikon. Akibat dari penambahan unsur silikon pada Al *pure* akan memperbaiki sifat mekanik nya. Si akan meningkatkan fluidity hasil coran dan juga menaikkan sifat kekeerasan serta kekuatan tarik dari logam Al *pure*, namun dengan meningkatnya kekuatan tarik dan kekerasannya akan berakibat pada *machine ability* yang rendah (Mathai,2015). Semakin banyak jumlah persen berat komposisi silikon yang dipadu dengan logam *pure* Al maka akan meningkatkan nilai dari *ultimate tensile strength* nya, namun tidak terlepas dari semua logam hasil *casting* baik paduan ataupun tidak sifat mekaniknya dipengaruhi oleh ada atau tidaknya cacat pada keadaan *as-cast* nya. Cacat dalam pengecoran banyak macamnya salah satunya adalah cacat porositas yang timbul pada hasil coran logam paduan Al-Si-Mg ini. Dibuktikan dengan adanya cacat porositas yang memepengaruhi besar nilai *ultimate tensile stress* yang terdapat pada spesimen uji tarik logam paduan Al-Si-Mg dengan jumlah komposisi persen berat Si sebesar 21,7%. Nilai *ultimate tensile strength* pada paduan Al-21,7Si-Mg hasilnya lebih rendah jika dibandingkan dengan spesimen uji tarik untuk paduan Al-17,7Si-Mg. Untuk nilai *ultimate tensile strength* yang diuji pada masing-masing spesimen uji tarik paduan Al-Si-Mg karena penambahan komposisi Si 12,7-17,7% mengalami peningkatan terkecuali untuk paduan dengan komposisi Si 21,7% mengalami penurunan akibat *fracture* yang tepat terjadi pada cacat porositasnya. Oleh karena itu semakin banyak jumlah pesen berat komposisi Si dalam paduan Al-Si-Mg, nilai *ultimate tensile strength* nya semakin tinggi. (Mathai,2015)

Material yang umum digunakan untuk aplikasi piston adalah logam paduan M124 (AlSi12CuMgNi). Material M124 (AlSi12CuMgNi)digunakan sebagai aplikasi dari piston dikarenakan memiliki sifat mekanik yang bagus seperti memeiliki kemampuan untuk di cor yang baik, ketahan korosi yang baik, serta yang paling penting memiliki sifat kekuatan tarik dan kekerasan yang baik sehingga dapat memenuhi sebagai material yang sesuai dengan kondisi kerja dari sebuah piston. Tabel 4.5

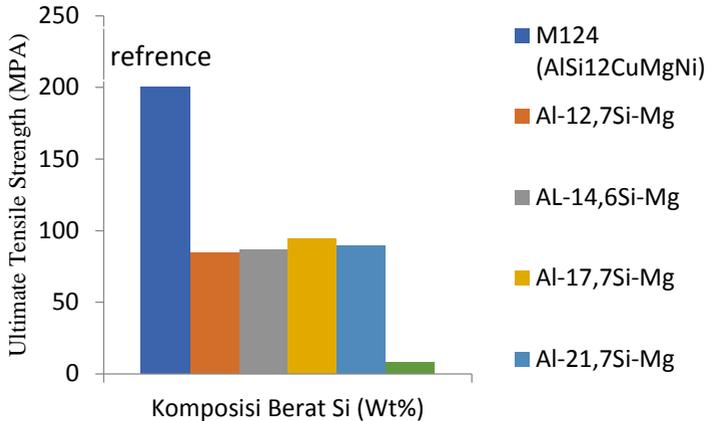


Menunjukkan nilai *ultimate tensile strength* dari material M124 (AlSi12CuMgNi) dan logam paduan Al-Si-Mg yang bervariasi pada persen jumlah berat komposisi silikon.

Tabel 4.5 Nilai Kekuatan Tarik Material M124 (AlSi12CuMgNi) dengan Paduan Al-Si-Mg

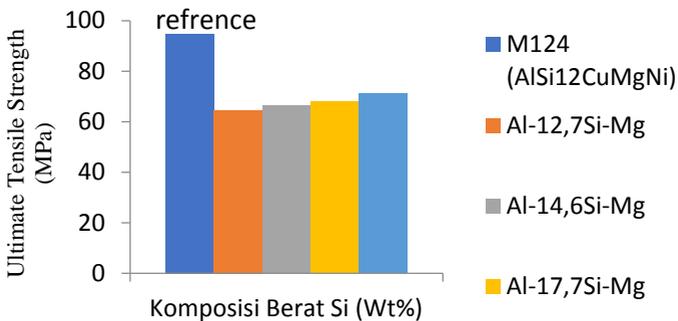
No	Material	<i>Ultimate Tensile Strength</i> (MPa)	<i>Hardnes</i> (HV)
1	M124 (AlSi12CuMgNi)	200 – 250	94,74 - 136,81
2	Al-12,7Si-Mg	84,14	64,60
3	Al-14,6Si-Mg	86,88	66,34
4	Al-17,7Si-Mg	94,04	67,80
5	Al-21,7Si-Mg	89,73	70,98

Logam paduan Al-Si-Mg memiliki nilai *ultimate tensile strength* yang lebih rendah jika dibandingkan dengan material M124 (AlSi12CuMgNi). Gambar 4.7 akan memperlihatkan perbandingan secara keseluruhan nilai-nilai kekuatan tarik material M124 (AlSi12CuMgNi) dengan logam paduan Al-Si-Mg.



Gambar 4.7 Perbandingan Nilai Kekuatan Tarik Material M124 (AlSi12CuMgNi) dengan Logam Al-Si-Mg

Sedangkan pada Gambar 4.8 Akan memperlihatkan perbandingan secara keseluruhan nilai-nilai kekerasan material M124 (AlSi12CuMgNi) dengan logam paduan Al-Si-Mg.



Gambar 4.8 Perbandingan Nilai Kekerasan Material M124 (AlSi12CuMgNi) dengan Logam Al-Si-Mg



Pada Gambar 4.7 dan Gambar 4.8 keseluruhan nilai yang dimiliki oleh logam paduan Al-Si-Mg terpaut jauh lebih rendah jika dibandingkan dengan material M124 (AlSi12CuMgNi). Hal ini disebabkan dikarenakan terdapat cacat porositas yang terjadi pada semua spesimen logam paduan Al-Si-Mg. Hal ini dapat disebabkan karena temperatur tuang yang terlalu tinggi sehingga menyebabkan ikatan antar atom pada *molten metal* melemah sehingga *molten metal* mudah bereaksi dengan udara. Penyebab kedua terjadinya porositas adalah terperangkapnya udara yang terdapat pada cetakan pasir yang kurang padat sehingga saat *molten metal* dituang udara akan terperangkap dalam cetakan dan masuk kedalam *molten metal* sehingga menyebabkan terbentuknya *bubbles* (campbell, 2003). Dan penyebab lain terjadinya cacat porositas pada coran dikarenakan penggunaan *gating system* yang buruk. Hal lain yang menyebabkan sifat mekanik hasil coran pada logam paduan Al-Si-Mg pada penelitian ini adalah tidak terbentuknya fasa intermetalik Mg_2Si seperti yang diharapkan. Unsur Mg mengalami oksidasi menjadi senyawa MgO dan tidak terdeteksi dalam komposisi yang direncanakan sehingga tidak juga muncul fasa intermetalik pada semua logam paduan Al-Si-Mg dalam penelitian ini. Keseluruhan nilai *ultimate tensile strength*, dan *hardnes* dari material M124 (AlSi12CuMgNi) memang jauh lebih baik dari paduan Al-Si-Mg pada penelitian ini. Oleh karena itu paduan Al-Si-Mg pada penelitian ini belum dapat menyamai sifat mekanik seharusnya pada material M124 (AlSi12CuMgNi) sebagai material piston.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan pada penelitian ini adalah :

1. Unsur Si mempengaruhi nilai kekerasan paduan Al-Si-Mg. Semakin bertambahnya unsur Si dalam paduan, nilai kekerasan paduan semakin tinggi. Nilai kekerasan tertinggi dimiliki oleh logam paduan Al-21,7Si-Mg dengan nilai kekerasan sebesar 70,98 HV. Sedangkan untuk nilai kekerasan yang terendah dimiliki oleh paduan Al-12,7Si-Mg dengan nilai sebesar 64,60 HV.
2. Unsur Si mempengaruhi nilai kekuatan tarik paduan Al-Si-Mg. Semakin bertambahnya unsur Si di dalam paduan, nilai kekuatan tarik akan semakin tinggi. Nilai *ultimate tensile strength* pada logam paduan Al-12,7Si-Mg sebesar 84,14 MPa, Al-14,6Si-Mg sebesar 86,88 MPa, dan Al-17,7Si-Mg sebesar 94,04 MPa.
3. Unsur Si mempengaruhi struktur mikro pada paduan Al-Si-Mg. Semakin bertambahnya unsur Si dalam paduan maka bagian fasa Si akan memiliki luasan daerah yang lebih luas, sedangkan untuk fasa α Al dan fasa eutektik (α Al+Si) akan berperan sebagai fasa tambahan.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat digunakan untuk melanjutkan penelitian kedepannya, diantaranya :

1. Melakukan degassing pada saat proses peleburan logam paduan Al-Si-Mg bertujuan untuk mengeluarkan hidrogen agar tidak menyebabkan cacat pada hasil benda cor.



-
2. Menggunakan alat *thermo gun* untuk mengontrol temperatur pada saat proses peleburan logam paduan Al-Si-Mg
 3. Menggunakan *cover flux* setelah proses degassing dengan tujuan untuk menutupi atau *covering* logam paduan cair agar terhindar dari masuknya gas hidrogen kedalam logam paduan.

DAFTAR PUSTAKA

- _____. 1992. **ASM Handbook Volume 2 : Properties and Selection : Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials**. ASM international Handbook Committee.
- _____. 1992. **ASM Handbook Volume 2 : Alloy Phase Diagrams**. ASM international Handbook Committee.
- _____. 2004. **ASM Handbook Volume 9: Metallographic and Microstructures**. ASM International Handbook Committee.
- Alian, H. 2013. **Kajian Eksperimental Pengaruh Paduan Timah AKI (10%, 15%, 20%, 25%) Pada Coran Tembaga Pipa AC (AI Conditioner) Berkas Terhadap Sifat Mekanik**. Palembang : Universitas Sriwijaya
- Ashar, L.H. 2012. **Analisis Pengaruh Model Sistem Saluran Dengan Pola Styrofoam Terhadap Sifat Fisis dan Kekerasan Produk Puli Pada Proses Pengecoran Aluminium Daur Ulang**. Universitas Wahid Hasyim : Semarang.
- Astika, I Made. 2010. **Pengaruh Jenis Pasir Cetak Dengan Zat Pengikat Bentonit Terhadap Sifat Permeabilitas dan Kekuatan Tekan Basah Cetakan Pasir (Sand Casting)**. *Corrosion Engineering Third Edition*. New York : McGraw-Hill Book Company. Bali : Universitas Udayana
- Avner, S.H. 1974. **Introduction To Physical Metallurgy**. New York : McGraw-Hill Book Comapny.

- Callister, William. 2008. *Material Science and Engineering An Introduction 8th Edition*. New York : JohnWiley & Sons, Inc.
- Campbell, J. 2003. *Casting*.New York: ASM International.
- Elzanaty, Hesham. 2014. *Effect Of Different Si Content On The Mechanical Properties In Al-Based Alloy*. Mesir : University for Science and Technology.
- Groover, M. 2013. *Fudamental Of Modern Manufacture 4th Edition*. USA : JohnWiley & Sons, Inc.
- J. Stempo, Michael. 2012. *The Ellingham Diagram : How to Use It In Heat-Treat-Process Atmosphere Troubleshooting*.Texas: Air Liquide International U.S. LP.
- Kalhapure, Milind G. 2013. *Impact Of Silicon Content On Mechanical Properties Of Aluminum Alloy*. India : Department of Physics, P.V.P. College.
- Mahle. 2012. *Piston and Engine Testing*. Germany
- Malgorzata, Warmuzek. 2004. *Aluminum-Silicon Casting Alloys*. USA : ASM International
- Mathai, Blesson. 2005. *Effect of Silicon On Mechanical Properties Of Al-Si Piston Alloys*.India : MA College of Engineering, Kothamangalam.
- Schafer, Fred. 2004. *Internal Combustion Engine Handbook*. USA.

LAMPIRAN

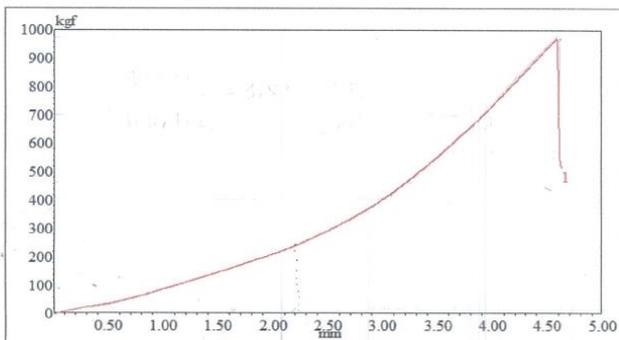
Lampiran 1: Hasil uji tarik Al-8Si-Mg



Laboratorium Metalurgi
 Jurusan Teknik Material dan Metalurgi
 Fakultas Teknologi Industri
 Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

Test Date : 06-12-2017

Test Result



Sample Code	Diameter mm	Area mm ²	Yield point kgf	Yield Str. kgf/mm ²	Max. Load kgf	UTS kgf/mm ²	Elongation %
Al-8Si-Mg-1	12.00	113.10	967.63	8.56	970.25	8.58	
---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---

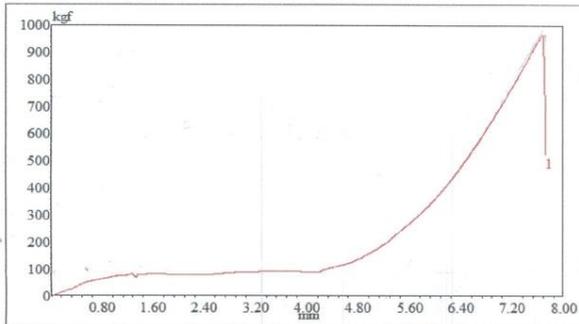
Lampiran 2: Hasil uji tarik Al-10Si-Mg



Laboratorium Metalurgi
 Jurusan Teknik Material dan Metalurgi
 Fakultas Teknologi Industri
 Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

Test Date : 06-12-2017

Test Result



Sample Code	Diameter mm	Area mm ²	Yield point kgf	Yield Str. kgf/mm ²	Max. Load kgf	UTS kgf/mm ²	Elongation %
Al-10Si-Mg-1	11.80	109.36	965.80	8.83	969.16	8.86	
---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---

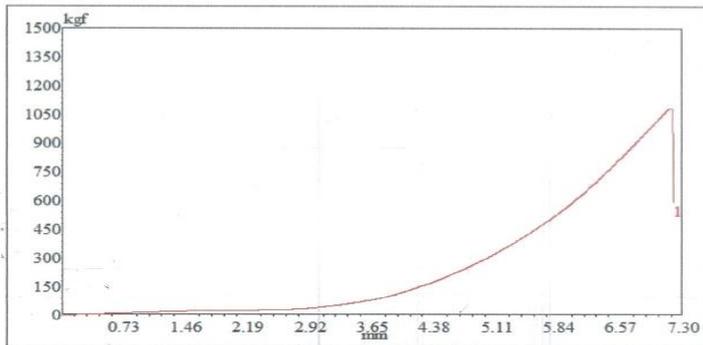
Lampiran 3: Hasil uji tarik Al-12Si-Mg



Laboratorium Metalurgi
 Jurusan Teknik Material dan Metalurgi
 Fakultas Teknologi Industri
 Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

Test Date : 06-12-2017

Test Result



Sample Code	Diameter mm	Area mm ²	Yield point kgf	Yield Str. kgf/mm ²	Max. Load kgf	UTS kgf/mm ²	Elongation %
Al-12Si-Mg-1	12.00	113.10	1083.96	9.58	1084.33	9.59	
---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---

Lampiran 4: Hasil uji tarik Al-14Si-Mg

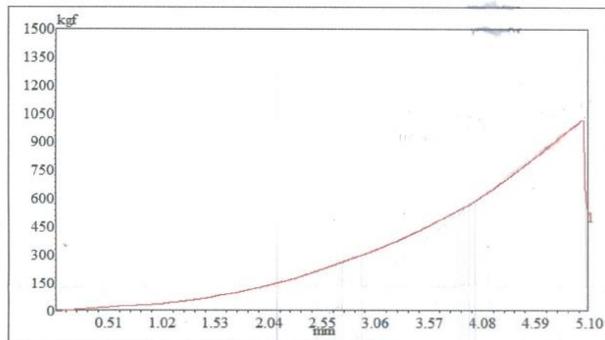
Al-14Si-Mg



Laboratorium Metalurgi
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

Test Date : 06-12-2017

Test Result

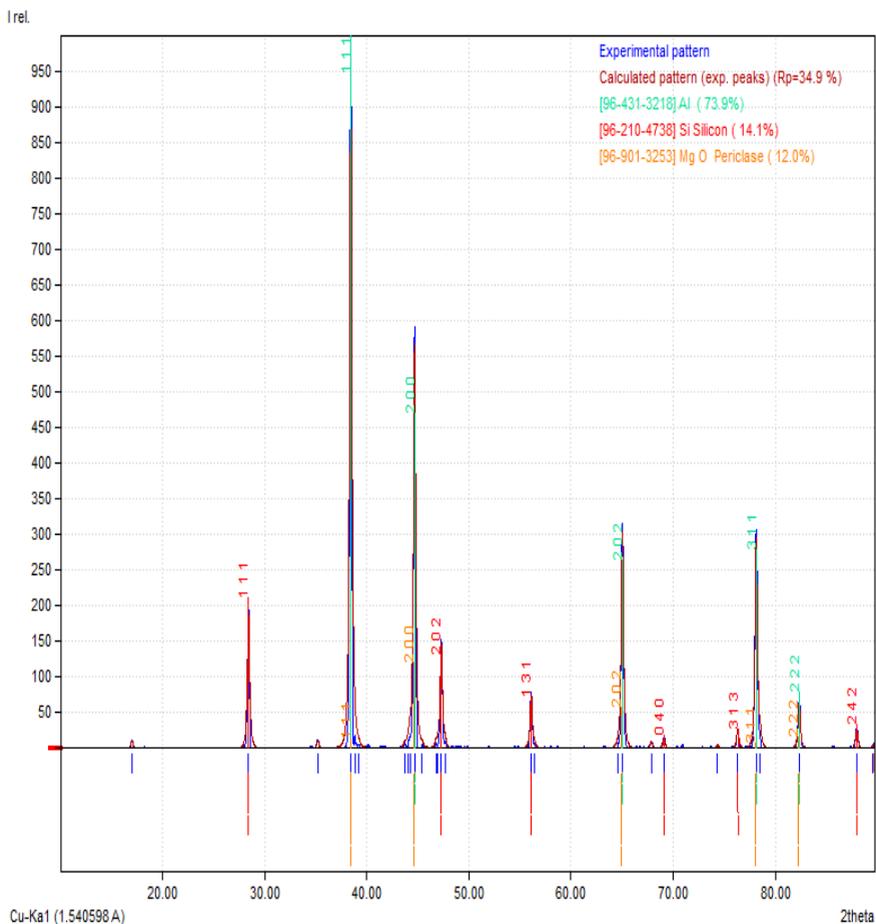


Sample Code	Diameter mm	Area mm ²	Yield point kgf	Yield Str. kgf/mm ²	Max. Load kgf	UTS kgf/mm ²	Elongation %
Al-14Si-Mg-1	11.90	111.22	1014.74	9.12	1017.89	9.15	
---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---

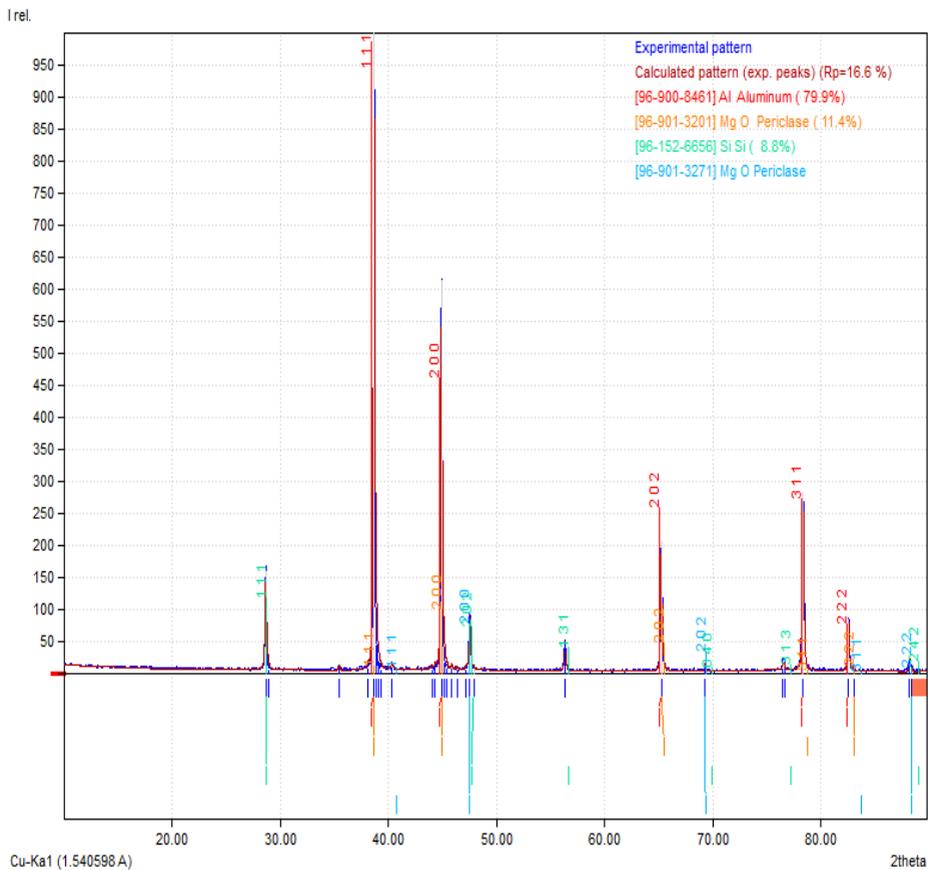
Lampiran 5: Hasil uji Tarik Paduan Al-Si-Mg (Yield Strength)

No	Paduan	<i>Yield Strength</i> (Mpa)
1	Al-8Si-Mg	60,60
2	Al-10Si-Mg	62,86
3	Al-12Si-Mg	77,96
4	Al-14Si-Mg	69,33

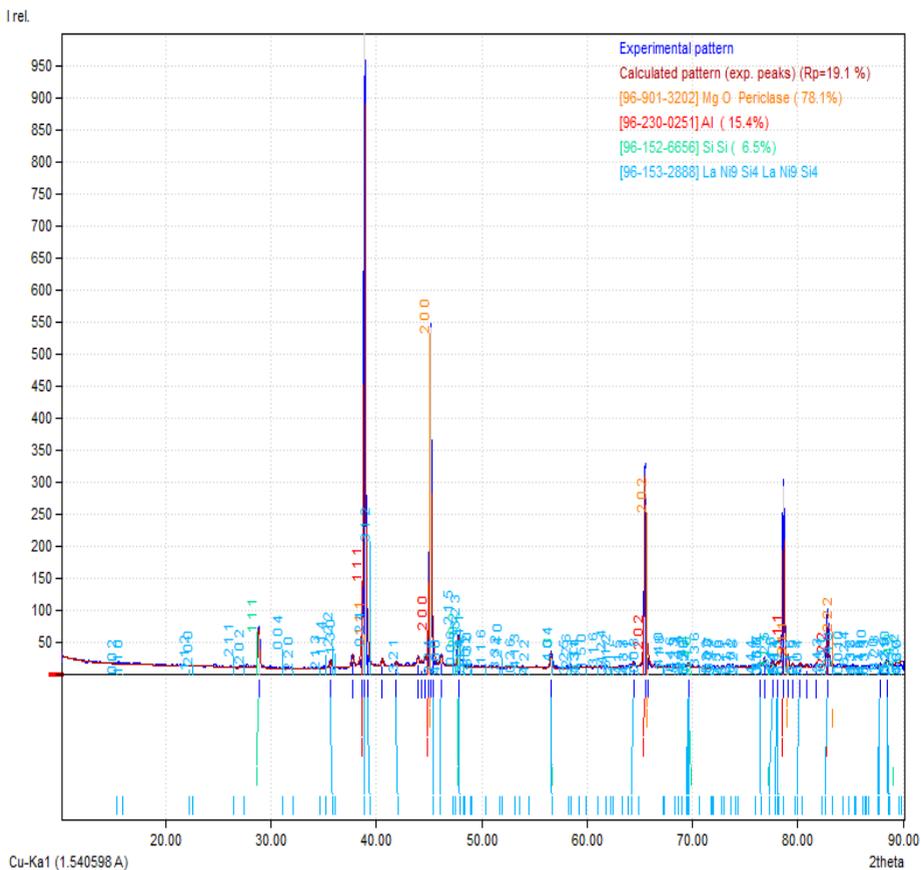
Lampiran 6: Hasil uji XRD Paduan Al-8Si-Mg



Lampiran 7: Hasil uji XRD Paduan Al-10Si-Mg



Lampiran 9: Hasil uji XRD Paduan Al-12Si-Mg



Lampiran 10: Hasil uji XRF Paduan Al-Si-Mg

2. Logam E1 (10.7437 gr)											
Compound	Conc	Unit	Compound	Conc	Unit	Compound	Conc	Unit	Compound	Conc	Unit
Al	72.1	0%	Al	71.8	0%	Al2O3	78.8	0%	Al2O3	78.9	0%
Si	21.7	0%	Si	21.9	0%	SiO2	18.3	0%	SiO2	18.2	0%
P	0.52	0%	P	0.55	0%	P2O5	0.44	0%	P2O5	0.44	0%
Ca	0.57	0%	Ca	0.55	0%	CaO	0.27	0%	CaO	0.28	0%
Ti	0.05	0%	Ti	0.051	0%	TiO2	0.027	0%	TiO2	0.029	0%
V	0.02	0%	V	0.021	0%	V2O5	0.01	0%	V2O5	0.01	0%
Mn	0.297	0%	Mn	0.294	0%	MnO	0.125	0%	MnO	0.125	0%
Fe	2.59	0%	Fe	2.59	0%	Fe2O3	1.2	0%	Fe2O3	1.2	0%
Ni	0.188	0%	Ni	0.188	0%	NiO	0.073	0%	NiO	0.0743	0%
Cu	2	0%	Cu	2	0%	CuO	0.766	0%	CuO	0.77	0%
Ga	0.034	0%	Ga	0.036	0%	Ga2O3	0.015	0%	Ga2O3	0.013	0%

3. Logam E2 (12.4178 gr)											
Compound	Conc	Unit	Compound	Conc	Unit	Compound	Conc	Unit	Compound	Conc	Unit
Al	76.9	0%	Al	77.1	0%	Al2O3	83.4	0%	Al2O3	83.4	0%
Si	17.8	0%	Si	17.7	0%	SiO2	14.1	0%	SiO2	14.1	0%
P	0.63	0%	P	0.65	0%	P2O5	0.52	0%	P2O5	0.52	0%
K	0.37	0%	K	0.34	0%	K2O	0.14	0%	K2O	0.14	0%
Ca	0.949	0%	Ca	0.941	0%	CaO	0.433	0%	CaO	0.441	0%
Ti	0.057	0%	Ti	0.055	0%	TiO2	0.031	0%	TiO2	0.029	0%
V	0.026	0%	V	0.025	0%	V2O5	0.01	0%	V2O5	0.015	0%
Mn	0.056	0%	Mn	0.052	0%	MnO	0.023	0%	MnO	0.023	0%
Fe	1.45	0%	Fe	1.43	0%	Fe2O3	0.653	0%	Fe2O3	0.648	0%
Ni	0.11	0%	Ni	0.11	0%	NiO	0.042	0%	NiO	0.042	0%
Cu	1.59	0%	Cu	1.58	0%	CuO	0.601	0%	CuO	0.596	0%
Ga	0.044	0%	Ga	0.043	0%	Ga2O3	0.017	0%	Ga2O3	0.017	0%

4. Logam E3 (10.3211 gr)											
Compound	Conc	Unit	Compound	Conc	Unit	Compound	Conc	Unit	Compound	Conc	Unit
Al	81.7	0%	Al	81.6	0%	Al2O3	87.3	0%	Al2O3	87.2	0%
Si	14.6	0%	Si	14.6	0%	SiO2	10.9	0%	SiO2	11	0%
P	0.56	0%	P	0.62	0%	P2O5	0.43	0%	P2O5	0.42	0%
Ca	0.8	0%	Ca	0.779	0%	CaO	0.35	0%	CaO	0.354	0%
Ti	0.073	0%	Ti	0.072	0%	TiO2	0.035	0%	TiO2	0.038	0%
V	0.02	0%	V	0.02	0%	V2O5	0.01	0%	V2O5	0.013	0%
Mn	0.041	0%	Mn	0.041	0%	MnO	0.018	0%	MnO	0.016	0%
Fe	1.7	0%	Fe	1.71	0%	Fe2O3	0.741	0%	Fe2O3	0.739	0%
Ni	0.039	0%	Ni	0.042	0%	NiO	0.016	0%	NiO	0.015	0%
Cu	0.424	0%	Cu	0.433	0%	CuO	0.158	0%	CuO	0.158	0%
Zn	0.022	0%	Zn	0.024	0%	ZnO	0.0081	0%	ZnO	0.0084	0%
Ga	0.038	0%	Ga	0.039	0%	Ga2O3	0.015	0%	Ga2O3	0.015	0%

5. Logam E4 (7.4889 gr)											
Compound	Conc	Unit	Compound	Conc	Unit	Compound	Conc	Unit	Compound	Conc	Unit
Al	83.3	0%	Al	83.4	0%	Al2O3	88.4	0%	Al2O3	88.5	0%
Si	12.8	0%	Si	12.7	0%	SiO2	9.75	0%	SiO2	9.71	0%
P	0.53	0%	P	0.56	0%	P2O5	0.4	0%	P2O5	0.38	0%
Ca	0.49	0%	Ca	0.48	0%	CaO	0.23	0%	CaO	0.22	0%
Cr	0.02	0%	Cr	0.02	0%	Cr2O3	0.0078	0%	Cr2O3	0.005	0%
Mn	0.032	0%	Mn	0.034	0%	MnO	0.014	0%	MnO	0.015	0%
Fe	2.43	0%	Fe	2.42	0%	Fe2O3	1.06	0%	Fe2O3	1.05	0%
Ni	0.033	0%	Ni	0.032	0%	NiO	0.013	0%	NiO	0.012	0%
Cu	0.312	0%	Cu	0.301	0%	CuO	0.109	0%	CuO	0.108	0%
Ga	0.027	0%	Ga	0.024	0%	Ga2O3	0.0097	0%	Ga2O3	0.0082	0%

Lampiran 10: Hasil uji XRF Paduan Al-Si-Mg

No	Paduan	<i>Hardness</i> (HV)
1	Al-12,7Si-Mg	64,6 ± 4,292
2	Al-14,6Si-Mg	66,34 ± 1,740
3	Al-17,7Si-Mg	67,8 ± 3,328
4	Al-21,7Si-Mg	70,98 ± 2,233

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BIODATA PENULIS



Eri Dya Fadly, Lahir di Jakarta pada tanggal 10 Januari 1996. Penulis menempuh pendidikan dasar di SDIT BUAH HATI. Kemudian dilanjutkan ke jenjang pertama di SMPN 103 Jakarta. Selanjutnya dilanjutkan ke jenjang atas di SMAN 48 Jakarta. Lalu penulis melanjutkan pendidikan ke perguruan tinggi negeri yaitu di Departemen Teknik Material FTI-ITS. Selama menempuh perkuliahan penulis juga tercatat aktif di acara departemen maupun institusi. Penulis pernah menjadi panitia di acara yg diadakan fakultas maupun institusi seperti menjadi panitia acara pelatihan LKMM TD XX dan XXI. Penulis juga pernah menjadi Staff Ahli Departemen Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa (PSDM) HMMT FTI-ITS 2016/2017.

Penulis memiliki pengalaman kerja praktek di PT.PJB Gresik, pada bulan Desember-Januari 2017 dan PT. Inalum di Medan, pada bulan Juni-Juli 2017 dan memiliki topik selama kerja praktek dengan judul “Analisis Penambahan Unsur Cr dan Ni Serta Redesign Dimensi pada Teeth Blade Untuk Meminimalisir Terjadinya Crack”.

Tugas akhir yang diambil penulis yaitu dala bidang Pengecoran dengan judul “Analisis Penambahan Silikon Terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Pada Paduan Alumunium Silikon Magnesium (Al-Si-Mg) Untuk Aplikasi Piston”.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)