



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PENGARUH UNSUR MANGAN PADA PADUAN ALUMINIUM  
CAIR Al-7%Si TERHADAP  
SIFAT FISIK DAN MEKANIK LAPISAN INTERMETALIK  
PADA FENOMENA *DIE SOLDERING***

**SKRIPSI**

**ADI HERSUNI  
0405040023**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI METALURGI DAN MATERIAL  
DEPOK  
DESEMBER 2009**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,  
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk  
telah saya nyatakan dengan benar

Nama : Adi Hersuni  
NPM : 0405040023  
Tanda Tangan :  
Tanggal : 30 Desember 2009

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :  
Nama : Adi Hersuni  
NPM : 0405040023  
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material  
Judul Skripsi : Pengaruh Unsur Mangan Pada Paduan Aluminium  
Cair Al-7%Si Terhadap Sifat Fisik Dan Mekanik Lapisan Intermetalik Pada  
Fenomena *Die Soldering*

**Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Metalurgi dan Material Fakultas Teknik, Universitas Indonesia**

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Ir. Sri Harjanto (.....)  
Penguji 1 : Dr.-Ing. Ir. Bambang Suharno (.....)  
Penguji 2 : Dwi Marta Nurjaya ST, MT (.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 30 Desember 2009

## KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Metalurgi dan Material pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu saya mengucapkan terima kasih kepada:

- (1) Dr. Ir. Sri Harjanto selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
- (2) Orang tua dan keluarga saya yang telah memberikan bantuan dukungan baik moral maupun material
- (3) Fierdania Yusvita S.Kep yang banyak memberikan bantuan kepada penulis
- (4) Vika Rizkia ST, MT yang telah menjadi partner terbaik dalam penelitian
- (5) Keluarga besar Departemen Metalurgi & Material FTUI
- (6) Keluarga besar IMMt FTUI 2007, BEM FTUI 2008, dan BEM UI 2009
- (7) Sahabat yang telah banyak membantu saya dalam menyelesaikan skripsi ini.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu metalurgi dan material ke depan.

Depok, 30 Desember 2009

Penulis

## HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

---

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Adi Hersuni  
NPM : 04050400023  
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material  
Departemen : Teknik Metalurgi dan Material  
Fakultas : Teknik  
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif** (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

Pengaruh Unsur Mangan Pada Paduan Aluminium Cair Al-7%Si Terhadap Sifat Fisik Dan Mekanik Lapisan Intermetalik Pada Fenomena *Die Soldering*

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya,

Dibuat di: Depok  
Pada tanggal : 30 Desember 2009  
Yang menyatakan

(Adi Hersuni)

## ABSTRAK

Nama : Adi Hersuni  
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material  
Judul : Pengaruh Unsur Mn Pada Paduan Al-7%Si Terhadap Sifat Fisik dan Mekanik Lapisan Intermetalik pada Fenomena *Die Soldering*

*Die soldering* merupakan hasil dari reaksi permukaan antara aluminium cair dengan material cetakan. Karena afinitas aluminium terhadap besi tinggi menyebabkan besi dari cetakan terdifusi kedalam aluminium cair dan membentuk lapisan intermetalik dari fasa binner Fe-Al dan ternary Fe-Al-Si di permukaan cetakan.

Penelitian ini dilakukan untuk mempelajari morfologi dan karakteristik yang terdiri dari ketebalan dan kekerasan lapisan intermetalik  $Al_xFe_ySi_z$  yang terbentuk selama proses pencelupan. Benda uji yang digunakan yaitu baja perkakas H13 hasil annealing, yang dicelup pada Al-7%Si dengan temperatur tahan 700 °C dengan dilakukan penambahan unsur Mn yang berbeda-beda, yaitu 0.1%Mn, 0.3%Mn, 0.5%Mn, dan 0.7%Mn.

Dalam penelitian ini, dihasilkan dua lapisan intermetalik pada masing-masing pencelupan, yaitu *compact* dan *broken layer*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kondisi efektif untuk mengurangi kecenderungan cacat *die soldering* dengan meminimalisasi pembentukan *compact layer* adalah pada kondisi penambahan 0.3% Mn dalam paduan Al-7%Si dengan waktu kontak 20, 40, dan 60 menit. Sedangkan pada *broken layer*, penurunan ketebalan terlihat signifikan pada penambahan Mn sebesar 0,7% dengan waktu kontak 40 dan 60 menit.

Kata Kunci : H13, *die soldering*, lapisan intermetalik, pengaruh penambahan Mn, Al-7%Si, Al-12%Si

## ABSTRACT

Name : Adi Hersuni  
Study Program : Teknik Metalurgi & Material  
Title : Effect of % Mangan Addition  
on Al-7%Si to The Intermetallic Layer on *Die Soldering*  
Phenomenon

Die soldering is the result of the reaction between the molten aluminum and the die material. Due to high affinity of aluminum to iron, it causes the iron the formation of intermetallic layers of binary Fe-Al and ternary Fe-Al-Si phases on the die surface.

This research was run to study the mechanical and physical properties which consist of thickness and hardness the intermetallic layers formed during dipping test. The sample used in this research is as anneal H13 tool steel that dipped into the molten Al-12%Si at the temperature of 700 °C with different Mn content that is 0.1%Mn, 0.3%Mn, 0.5%Mn, and 0.7%Mn.

This research resulted two intermetallic layers in the surface of H13 tool steel. The result showed that the most effective condition in order to mitigate *die soldering* tendention is minimizing the form of *compact layer* by addition of 0.3%Mn into Al-7%Si alloy in dip time around 20 minutes. Then, Mn addition up to 0.7% Si reduces the thickness of *broken layer* with the most effective dip time around 40 and 60 minutes

Key Words :

H13, *die soldering*, intermetallic layer, influence of Mn addition, Al-7%Si, Al-12%Si

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS .....	ii
LEMBAR PENGESAHAN .....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKSASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS .....	v
ABSTRAK .....	vi
ABSTARCT .....	vii
DAFTAR ISI .....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	x
DAFTAR TABEL .....	xii
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1. LATAR BELAKANG .....	1
1.2. TUJUAN PENELITIAN .....	2
1.3. RUANG LINGKUP PENELITIAN .....	2
1.4. MANFAAT PENELITIAN .....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	4
2.1 PENGECORAN CETAK TEKAN ( <i>DIE CASTING</i> ) .....	4
2.1.1 Jenis-Jenis <i>Die Casting</i> .....	4
2.1.2 Material Cetakan <i>Die Casting</i> .....	9
2.2 ALUMINIUM DAN PADUANNYA .....	11
2.2.1 Paduan Aluminium-Silikon .....	14
2.2.2 Paduan Aluminium-7wt%Silikon (Al-7%Si) .....	15
2.2.3 Fasa Intermetalik Paduan Al-Si .....	16
2.3 H13 <i>TOOLSTEEL</i> .....	16
2.3.1 Karakteristik AISI H13 .....	16
2.3.2 Anneling AISI H13 .....	17
2.3.3 Pembentukan Senyawa Intermetalik Selama Pembekuan .....	18
2.4 <i>DIE SOLDERING</i> .....	19
2.4.1 Mekanisme Soldering .....	21
2.4.2 Faktor-faktor yang mempengaruhi Die Soldering .....	24
BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....	27
3.1 DIAGRAM ALIR .....	27
3.2 ALAT DAN BAHAN .....	28

3.2.1 Alat .....	28
3.2.2 Bahan .....	29
3.3 PROSEDUR PENELITIAN.....	31
3.3.1 Preparasi Sampel Tool Steel H13.....	31
3.3.2 Persiapan Sampel.....	32
3.3.3 Percobaan <i>Die Soldering</i> .....	32
3.4 PENGUJIAN.....	35
3.4.1 Persiapan Sampel Pengujian.....	35
3.4.2 Pengujian SEM & EDS .....	36
3.4.3 Pengujian Microhardness .....	37
BAB IV HASIL ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....	38
4.1 Morfologi dan Karakteristik Lapisan Intermetalik .....	38
4.2 Indikasi Fasa pada Lapisan Intermetalik yang Terbentuk.....	40
4.3 Pengaruh Unsur Mangan dan Waktu Kontak Terhadap Ketebalan Lapisan Intermetalik .....	46
4.4 Pengaruh Unsur Mangan Terhadap Kekerasan Lapisan Intermetalik.....	50
BAB V KESIMPULAN.....	52
DAFTAR REFERENSI .....	53
Lampiran 1 .....	56
Lampiran 2 .....	57
Lampiran 3 .....	58

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Skema mesin <i>Gravity Die Casting</i> .....	4
Gambar 2.2 Skema mesin HPDC.....	5
Gambar 2.3 Ilustrasi Mesin <i>Hot Chamber Die Casting</i> .....	6
Gambar 2.4 Ilustrasi gambar <i>Cold Hamber Die Casting</i> .....	8
Gambar 2.5 Skema mesin <i>Low Pressure Die Casting</i> .....	9
Gambar 2.6 Diagram Fasa Al-Si.....	14
Gambar 2.7 Diagram Fasa Biner Al-Fe.....	19
Gambar 2.8 Ilustrasi lingkungan yang terjadi selama proses <i>Die casting</i> .....	20
Gambar 2.9 Mekanisme <i>Die Soldering</i> .....	22
Gambar 3.1 Diagram Alir.....	27
Gambar 3.2 Penampang Dapur <i> Holding</i> .....	28
Gambar 3.3 SEM yang dilengkapi dengan EDS.....	28
Gambar 3.4 Dimensi Sampel setelah dipotong dengan Gergaji Mesin.....	31
Gambar 3.5 Skema Dapur <i> Holding</i> .....	34
Gambar 4.1 Lapisan Intermetalik yang Terbentuk Hasil Pencelupan Baja H13 ke dalam paduan Al7%Si dengan kandungan 0,5% Mn selama 60 menit.....	38
Gambar 4.2 Lapisan Intermetalik yang Terbentuk Hasil Pencelupan Baja H13 ke dalam paduan Al7%Si dengan kandungan 0,5% Mn selama 40 menit.....	39
Gambar 4.3 Diagram Fasa Fe-Al.....	40
Gambar 4.4 Data hasil XRD paduan Al-7%Si 0.1%Mn dengan baja H13 hasil pencelupan dalam Al-7%Si 0.7%Mn dengan waktu kontak 20 menit.....	43
Gambar 4.5 Hasil XRD <i>master alloy</i> Al-7%Si 0.1%Mn dengan waktu kontak 20 menit dibandingkan dengan Al-7%Si 0.7%Mn.....	44
Gambar 4.6 Hasil XRD <i>master alloy</i> Al-7%Si 0.3%Mn dengan waktu kontak 20 menit dibandingkan dengan Al-7%Si 0.7%Mn.....	44
Gambar 4.7 Hasil XRD <i>master alloy</i> Al-7%Si 0.5%Mn dengan waktu kontak 20 menit dibandingkan dengan Al-7%Si 0.7%Mn.....	45
Gambar 4.8 Hasil XRD <i>master alloy</i> Al-7%Si 0.7%Mn dengan waktu kontak 20 menit dibandingkan dengan Al-7%Si 0.7%Mn.....	44
Gambar 4.9 Data hasil penelitian pengaruh unsur Mn terhadap ketebalan <i>compact layer</i> pada paduan Al7%Si dalam fungsi waktu.....	46
Gambar 4.10 Data hasil penelitian pengaruh unsur Mn terhadap ketebalan <i>broken layer</i> pada paduan Al7%Si dalam fungsi waktu.....	48
Gambar 4.11 Data hasil penelitian pengaruh unsur Mn terhadap total ketebalan lapisan intermetalik pada paduan Al7%Si.....	49

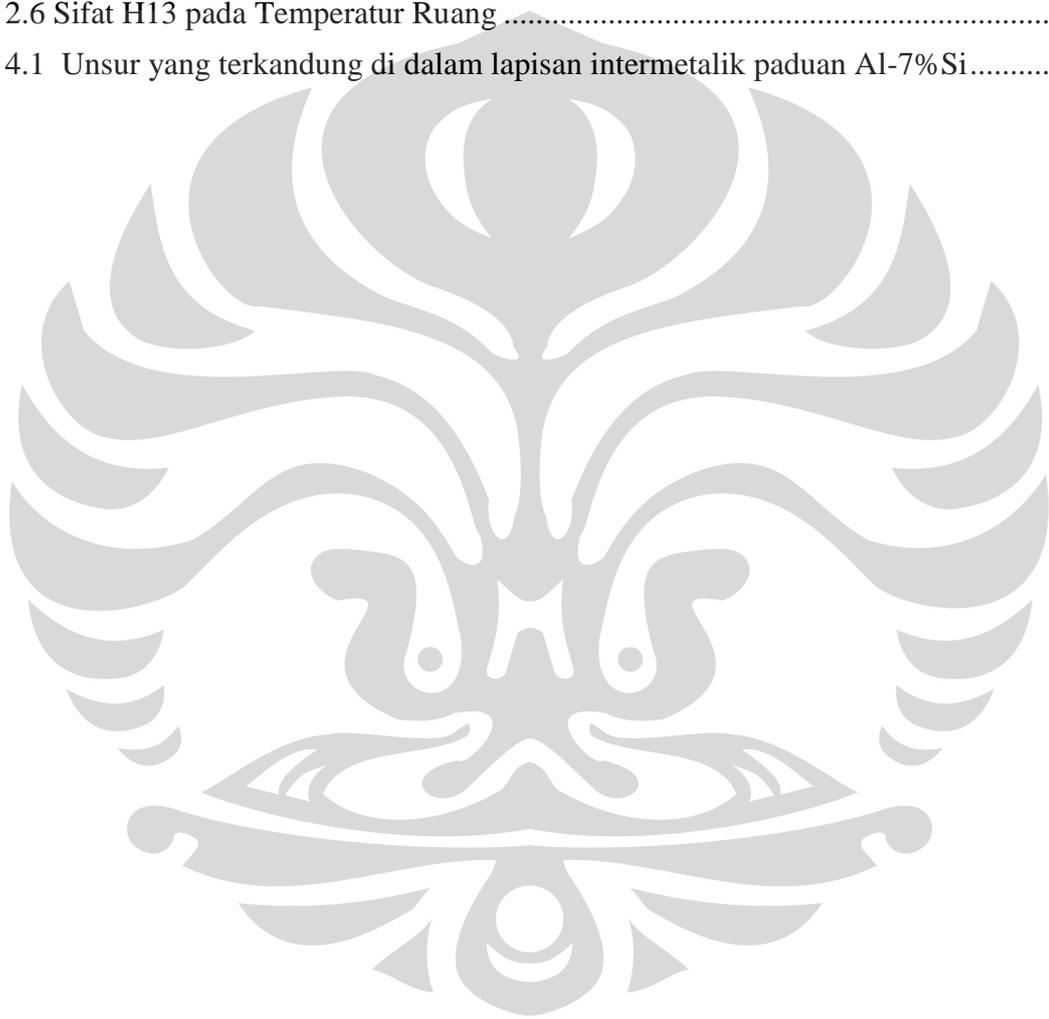
Gambar 4.12 Data hasil penelitian pengaruh waktu kontak terhadap kekerasan lapisan intermetalik pada paduan Al7%Si.....50

Gambar 4.13 Data hasil penelitian pengaruh %Mn terhadap kekerasan lapisan intermetalik pada paduan Al7%Si.....50



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komposisi Kimia AISI H13 .....	10
Tabel 2.2 Sifat Mekanis H13 pada Temperatur Ruang.....	11
Tabel 2.3 Kelarutan Padat Beberapa Unsur dalam Aluminium.....	12
Tabel 2.4 Sistem Penamaan pada Aluminium Tuang.....	13
Tabel 2.5 Komposisi kimia tool steel pada umumnya.....	17
Tabel 2.6 Sifat H13 pada Temperatur Ruang .....	17
Tabel 4.1 Unsur yang terkandung di dalam lapisan intermetalik paduan Al-7%Si.....	42



# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1. LATAR BELAKANG

Laju pertumbuhan industri di Indonesia, khususnya industri otomotif, telah berkembang dengan cukup pesat. Sebagai hasil komponen maupun kendaraan bermotor, industri otomotif tentunya banyak menggunakan material logam sebagai bahan bakunya dengan berbagai kelebihan dan kekurangannya masing-masing. Di lain sisi, penggunaan material logam yang semakin luas menyebabkan perlunya usaha untuk memodifikasi dan merekayasa material logam yang ada sehingga mampu menghasilkan material logam dengan karakteristik yang lebih baik. Hal ini menyebabkan penanganan terhadap material logam harus terus dikembangkan. Salah satu modifikasinya adalah pengecoran. Pengecoran sebagai suatu proses manufaktur dalam industri otomotif umumnya digunakan dalam memproduksi komponen-komponen mesin kendaraan bermotor dengan spesifikasi yang berbeda-beda. Metode pengecoran yang banyak diaplikasikan di industri otomotif salah satunya adalah proses pengecoran cetak (*die casting*) dengan menggunakan material dasar paduan aluminium.

*Die casting* merupakan proses dimana logam cair diinjeksikan ke cetakan logam dengan kecepatan dan tekanan tinggi. Ketika pembekuan telah berlangsung sempurna dan cetakan telah dingin, kemudian cetakan dibuka dan komponen dikeluarkan dari cetakan. Proses *die casting* memiliki banyak keuntungan ekonomis karena dapat memproduksi komponen dengan toleransi ukuran yang sangat kecil dan permukaan yang halus. Namun, keuntungan tersebut terhalang oleh mahalnya harga/biaya dari sebuah cetakan. Biasanya biaya dari cetakan akan mempengaruhi setidaknya 20% dari biaya produksi total pada industri aluminium *die casting*<sup>(1)</sup>. Karena semakin banyak komponen yang dapat diproduksi dengan menggunakan sebuah cetakan, maka biaya produksi akan semakin rendah. Oleh sebab itu, umur pakai sebuah cetakan merupakan faktor penting dalam proses *die-casting*.

Selain itu, pada industri *die casting* merupakan suatu tantangan untuk menurunkan waktu siklus dari proses pengecoran sehingga dapat meningkatkan produktivitas dan menurunkan biaya produksi<sup>(2)</sup>. Kerusakan pada cetakan

merupakan penghalang pada tantangan ini karena menyebabkan perlu diadakannya perbaikan atau penggantian cetakan sehingga menurunkan produktivitas.

Pada umumnya kerusakan cetakan disebabkan karena retak termal, *washout*, dan *soldering* yang terjadi pada permukaan cetakan yang mengalami kontak langsung dengan logam cair. *Soldering* didefinisikan sebagai fenomena adhesi dari logam ke permukaan cetakan atau inti<sup>(1)</sup>. Hal ini akan menyebabkan masalah pada proses *die casting* yaitu melekatnya komponen pada cetakan dan meningkatkan keausan adesif ketika komponen dilepaskan dari cetakan. Melekatnya komponen ke permukaan cetakan biasanya terjadi pada saat proses pembekuan. Dengan berkembangnya industri *die casting* perhatian khusus diberikan kepada *die soldering* karena telah menurunkan efisiensi dan produktivitas proses pengecoran.

## 1.2. TUJUAN PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan:

- a. Mengetahui morfologi lapisan intermetalik yang terbentuk selama soldering akibat penambahan 0,1%, 0,3%, 0,5% dan 0,7% Mn dalam Al-7%Si.
- b. Mengetahui waktu yang paling efektif untuk mengurangi ketebalan lapisan intermetalik pada paduan aluminium Al-7%Si yang mengandung 0,1%, 0,3%, 0,5% dan 0,7% Mn.
- c. Mengetahui pengaruh kandungan unsur mangan (Mn) terhadap kekerasan dan ketebalan lapisan intermetalik paduan Aluminium Al-7%Si yang mengandung 0,1%, 0,3%, 0,5% dan 0,7% Mn.

## 1.3. RUANG LINGKUP PENELITIAN

Material yang digunakan pada penelitian ini adalah:

1. Bahan baku yang digunakan adalah *Master Alloy Al-7wt%Si*
2. Material yang diuji adalah *Tool Steel H13*
3. Penambahan Mn dengan menggunakan Al-80%Mn yang mempunyai kadar sebesar 0,1%, 0,3%, 0,5% dan 0,7%
4. Temperatur *holding* adalah 700 °C dengan waktu 20, 40, dan 60 menit

**Parameter Penelitian:**

Penambahan unsur Mn ke dalam paduan Al-7%wtSi pada temperatur holding 700 °C dengan kadar Mn 0,1%, 0,3%, 0,5% dan 0,7% dan waktu 20, 40, dan 60 menit

**Karakterisasi Pengujian:**

1. Pengujian kekerasan awal baja perkakas H13 dan kekerasan lapisan intermetalik yang terbentuk setelah pencelupan menggunakan *microvickers hardness tester*.
2. Pengujian komposisi kimia master alloy menggunakan *Optical Emission Spectrometer (OES)*.
3. Pengujian komposisi kimia lapisan intermetalik hasil pengujian menggunakan *Energy Dispersive Spectrometer (EDS)*.
4. Pengujian morfologi dan ketebalan lapisan intermetalik yang terbentuk hasil pengujian menggunakan *Scanning Electron Microscope (SEM)*
5. Pengujian fasa lapisan intermetalik menggunakan *X-Ray Diffraction (XRD)*

**1.4. MANFAAT PENELITIAN**

Hasil dari penelitian ini dapat digunakan sebagai acuan oleh industri pengecoran aluminium untuk meminimalisasi fenomena *die soldering* pada cetakan logam yang terbuat dari *tool steel* H13, melalui penambahan mangan pada paduan aluminium dan kontrol waktu yang sesuai. Sehingga, produktivitas dari cetakan meningkat dan umur pakainya juga lebih optimal.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 PENGECORAN CETAK TEKAN (*DIE CASTING*)

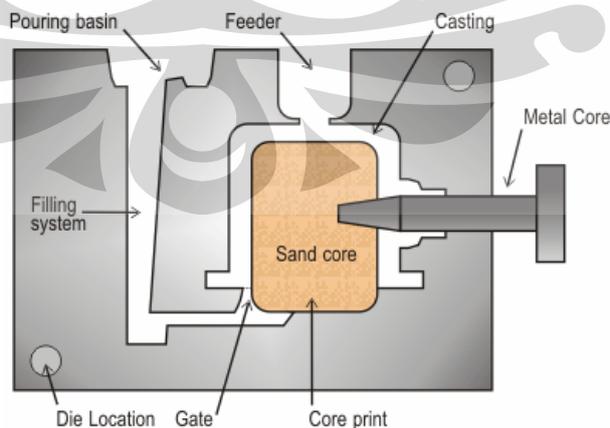
#### 2.1.1 Jenis-jenis Die Casting

*Die casting* merupakan proses pengecoran logam dengan menggunakan cetakan logam. Karakteristik dari proses pengecoran ini adalah logam cair didorong oleh aplikasi tekanan untuk mengalir dengan kecepatan tinggi selama proses injeksi dan mengisi cetakan dalam waktu singkat, biasanya dalam milisekon. Tekanan yang lazim digunakan adalah 10,3 sampai 14 Mpa<sup>(3)</sup>. Proses *die casting* mampu meningkatkan produktivitas menjadi lebih tinggi dibandingkan proses pengecoran lainnya karena produk yang dihasilkan mempunyai sifat-sifat yang sangat baik seperti akurasi dimensi yang tinggi, permukaan coran yang halus dan dapat diproduksi secara massal<sup>(4)</sup>.

Berdasarkan cara pengaliran logam ke dalam cetakan, proses *die casting* umumnya dibagi menjadi 3, yaitu *gravity die casting*, *high pressure die casting* dan *low pressure die casting*. Adapun penjelasannya adalah sebagai berikut :

#### 1. *Gravity Die Casting*

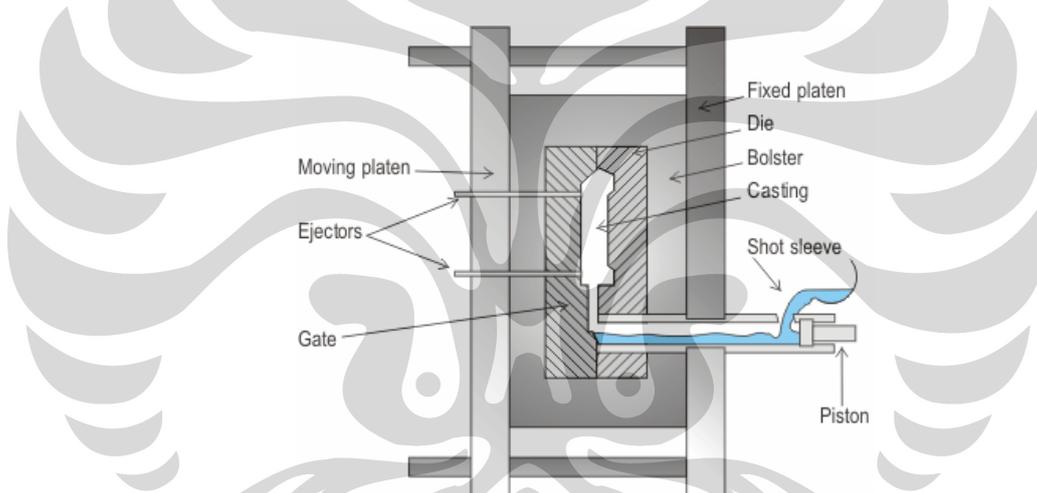
Pada proses ini, cetakan diisi dengan logam cair tanpa menggunakan bantuan gaya dari sumber lain selain gaya gravitasi dan ketinggian penuangan logam cair itu sendiri. Skema mesin *gravity die casting* dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Skema mesin *gravity die casting*<sup>(5)</sup>

## 2. *High Pressure Die Casting (HPDC)*

Pada proses ini logam cair diinjeksikan ke dalam rongga cetakan (*die*) dengan kecepatan dan tekanan yang tinggi sebesar 200 bar. Logam cair akan membeku dengan cepat dalam *die* yang terbuat dari logam dan hasil cor kemudian dilepaskan dari rongga cetakan oleh suatu sistem *ejector*. Proses pengisian cetakan yang sangat cepat, memungkinkan metode ini dipakai untuk pengecoran benda-benda yang tipis dengan bentuk rumit. Selain itu, jumlah waktu proses yang singkat memungkinkan jumlah produk yang dihasilkan akan lebih besar sehingga produksi dapat berlangsung lebih ekonomis dan efisien. Ilustrasi mesin High Pressure Die Casting (HPDC) dapat dilihat pada gambar 2.2 di bawah ini.



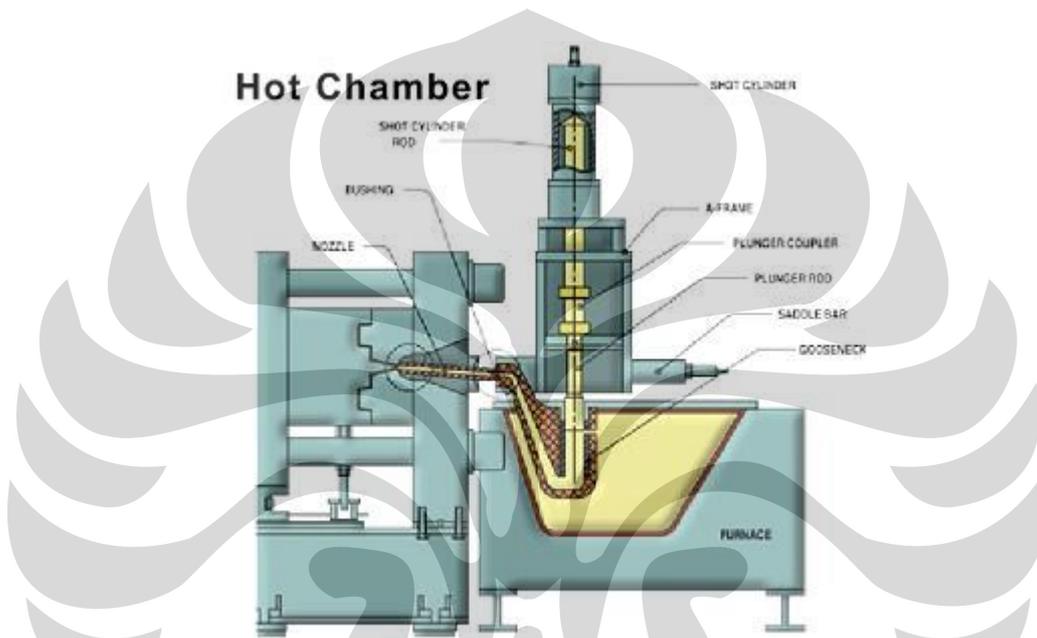
Gambar 2.2 Skema mesin HPDC <sup>(6)</sup>

Mesin *high pressure die casting* terdiri atas 2 plat vertikal dimana *bolster* ditempatkan untuk menyanggah cetakan. Salah satu plat dapat digerakkan sehingga cetakan dapat dibuka dan ditutup. Sejumlah logam dituang ke dalam *shot sleeve* dan kemudian dimasukkan ke dalam cetakan menggunakan piston yang digerakkan secara hidrolik. Sesaat logam membeku, cetakan terbuka dan benda coran diambil.

Berdasarkan klasifikasinya, maka mesin untuk proses *high pressure die casting* ini dapat dibagikan menjadi dua, yaitu ruang panas (*hot chamber*) dan ruang dingin (*cold chamber*). Perbedaan pokok antara kedua cara tersebut terletak pada penempatan tungku peleburan.

- **Proses Ruang Panas (*Hot Chamber Process*)**

Proses ini biasa digunakan untuk logam dengan titik lebur yang rendah seperti paduan-paduan Zn, Pb, Sn, dan Mg agar dapat mengurangi resiko terjadinya pembekuan logam yang terlalu cepat. Selain itu, proses ini memiliki beberapa keunggulan lain, antara lain mengurangi efek turbulensi dari cairan logam, mengurangi efek oksidasi terhadap udara bebas, dan mengurangi panas yang hilang selama proses penekanan hidrolis berlangsung <sup>(7)</sup>.



Gambar 2.3 Ilustrasi Mesin *Hot Chamber Die Casting* <sup>(8)</sup>

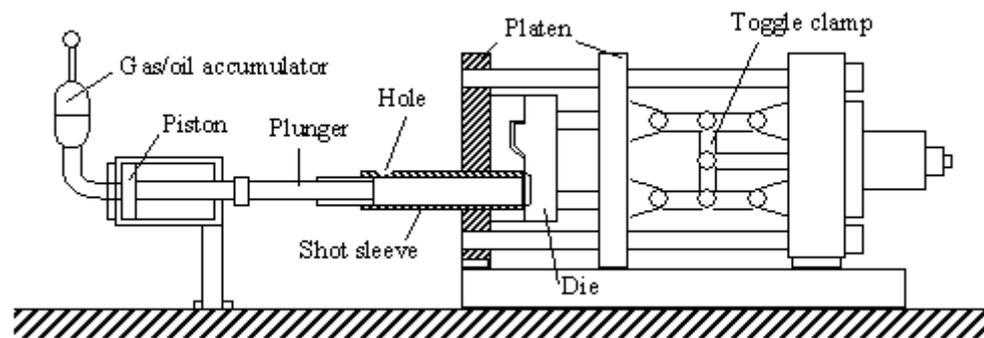
Ilustrasi mesin *hot chamber die casting* diperlihatkan pada Gambar 2.3 di atas. Pada tipe ini tungku pelebur dan penahan temperatur logam cair bersatu dengan mesin *die casting*. Saat operasi, *plunger* menekan ke bawah secara pneumatic atau hidrolis, menutup cetakan lalu menekan logam cair ke atas melalui suatu saluran dan *nozzle*, sehingga logam cair mengalir melalui cetakan. Setelah beberapa saat *plunger* naik kembali, sehingga logam cair yang berada di saluran dan di *nozzle* balik kembali. Cetakan membuka dan benda cor yang sudah membeku dikeluarkan. *Cycle time* untuk mesin ini bervariasi dari kurang dari 1 detik hingga 30 detik, tergantung berat komponen <sup>(7)</sup>.

Mesin yang digunakan untuk *hot chamber die casting* memiliki furnace tersendiri yang bisa berlaku sebagai melting furnace atau holding furnace. Biasanya tekanan yang diberikan pada molten metal adalah dibawah  $150 \text{ kg/cm}^2$ . Kekurangan dari proses *hot chamber* ini adalah biaya perawatan sistem yang tinggi dan memiliki kemungkinan akan terjadinya kontaminasi logam cair oleh kontainer atau terabrasinya kontainer oleh logam cair, hal ini akan sangat merugikan karena dapat mengurangi umur pakai mesin dan dapat menyebabkan *reject* pada produk yang dihasilkan.

Pada pengecoran *die casting* dengan menggunakan material logam cair aluminium proses ini tidak digunakan, karena kontainer yang biasanya terbuat dari material besi (*Fe*), akan sangat merusak produk yang dihasilkan jika aluminium cair yang digunakan sampai terkontaminasi oleh *Fe*. Hal ini dapat menurunkan keuletan, mampu cor, *shock resistance* dan mampu mesin produk.

- **Proses Ruang Dingin (*Cold Chamber Process*)**

Proses ini mempunyai tungku peleburan terpisah, silinder injeksi diisi logam cair, kemudian ditekan ke dalam cetakan secara hidrolis. Proses ini memerlukan pengukur untuk menentukan jumlah logam cair yang dimasukkan ke dalam cetakan, selain itu proses injeksi harus dilakukan dalam waktu yang sesingkat mungkin sehingga kontak antara logam cair dan sistem injeksi hanya terjadi dalam waktu singkat. Hal ini memungkinkan paduan dengan temperatur lebur tinggi seperti aluminium (*Al*), tembaga (*Cu*) dan beberapa paduan besi lainnya dapat diproses dengan menggunakan mesin ruang dingin.

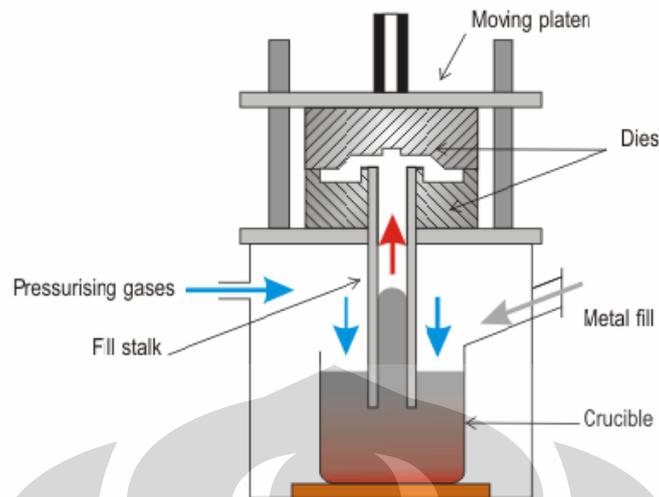


Gambar 2.4 Ilustrasi gambar *Cold Chamber Die Casting* <sup>(9)</sup>

Ilustrasi mesin *cold chamber die casting* diperlihatkan pada Gambar 2.4 di atas. Tidak seperti pada mesin *hot chamber*, kontak antara sistem injeksi dengan logam cair hanya berlangsung singkat. Setiap *cycle* logam cair dituang menuju *shot sleeve*. Untuk melindungi cetakan dan *plunger tip* biasanya digunakan pelumas dengan tujuan untuk memperpanjang umur pakai cetakan <sup>(10)</sup>.

- ***Low Pressure Die Casting (LPDC)***

Pada proses ini logam cair diinjeksikan ke dalam rongga cetakan (*die*) dengan menggunakan tekanan yang tidak terlalu tinggi (sekitar 2-15 psi). Dalam proses ini, cetakan permanen diletakkan diatas furnace yang tertutup. Sebuah tabung menghubungkan antara lubang cetakan dengan logam cair dibawahnya. Tekanan diberikan sehingga logam cair naik ke dalam cetakan. Logam cair mengalir ke dalam cetakan secara perlahan-lahan sehingga sedikit udara yang terperangkap. Ketika cetakan telah terisi penuh, tekanan akan berkurang dan sisa logam cair dalam tabung akan kembali kedalam furnace. Keuntungan dari proses ini adalah tidak diperlukannya riser sehingga, *yield* dari proses ini tinggi. Kontaminasi logam cair oleh besi dapat terjadi ketika logam cair yang berada dalam tabung kembali turun kedalam furnace <sup>(10)</sup>. Skema mesin *Low Pressure Die Casting* dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Skema mesin *Low Pressure Die Casting* <sup>(1)</sup>

### 2.1.2 Material Cetakan *Die Casting*

Proses *die casting* dilakukan dengan memberikan tekanan pada logam cair hingga melewati rongga atau celah dari cetakan yang disebut *dies*. Secara umum, *dies* terdiri atas 2 bagian yakni *Base* dan *Cavity*. *Base* adalah sebagai tempat bagi *cavity*. *Base* terbuat dari FCD 55 sedangkan *cavity* terbuat dari chromium hot work steel AISI 13 (SKD 61).

Pada mesin *die casting*, setengah *die* tersebut biasa disebut “*cover or fixed die*” dan yang setengahnya lagi disebut “*ejector die*”. Logam masuk di sisi cetakan tetap. Pada saat cetakan terbuka, pelat ejektor yang terdapat pada sisi cetakan bergerak maju sehingga pena mendorong benda coran. *Dies* yang biasa digunakan terbuat dari baja paduan dan harus memiliki syarat-syarat antara lain memiliki:

1. dimensi yang stabil
2. ketahanan yang baik terhadap *heat cracking*
3. ketangguhan yang baik
4. ketahanan erosi yang baik

Baja AISI H13 adalah jenis baja yang dikenal luas pemakaiannya untuk proses pengerjaan temperatur tinggi seperti cetakan pada proses pengecoran cetak tekan (*die casting*), *mould* dan silinder untuk proses dari plastik serta berbagai penggunaan lainnya. Paduan utama dari jenis baja ini adalah unsur chromium

(5,3%). Chromium menyebabkan tingginya daya tahan terhadap reaksi dengan logam cair. Vanadium sebesar 1% dalam logam ini memiliki efek mencegah terjadinya perbesaran butir dan menaikkan sifat tahan baja terhadap efek pelunakan pada temperature operasi. Adanya unsur yang lain seperti Molybdenum dapat meningkatkan kemampukerasan dari baja ini <sup>(12)</sup>.

Sifat yang diharapkan dari baja ini adalah daya tahan terhadap deformasi pada temperatur operasi, daya tahan terhadap kejutan termal dan mekanis (terutama bila dilakukan pendinginan air), tahan aus dan erosi pada temperatur tinggi, tahan terhadap deformasi perlakuan panas, tahan terhadap kelelahan panas yang menyebabkan *heat checking* (retak halus pada permukaan cetakan logam). Selain itu, H13 juga mempunyai ketahanan yang baik terhadap fatik termal. Ketahanannya terhadap fatik termal, erosi dan keausan membuat material ini dipilih sebagai material cetakan untuk aluminium dan magnesium *die casting* <sup>(13)</sup>. Komposisi dan sifat mekanis baja H13 dapat dilihat pada Tabel 2.1 dan 2.2.

Tabel 2.1 Komposisi Kimia AISI H13 <sup>(14)</sup>

Element	Weight (%)	Element	Weight (%)
C	0,32 – 0,45	Mo	1,1 – 1,75
Mn	0,20 – 0,50	V	0,8 – 1,2
Si	0,80 – 1,20	Cu	0,25
Cr	4,75 – 5,50	P	0,03
Ni	0,3	S	0,03

Sumber : *Engineering Fundamentals. Tool Steel AISI H13*

Tabel 2.2 Sifat Mekanis H13 pada Temperatur Ruang <sup>(15)</sup>

<i>Kondisi</i>	<i>Hardness Rockwell C</i>	<i>UTS (MPA)</i>	<i>YS(MPA)</i>	<i>Elongasi Dalam 50.8mm (%)</i>	<i>Reduction Area (%)</i>
<b>Annealed</b>	<b>15</b>	<b>668.8</b>	<b>372.3</b>	<b>32.0</b>	<b>66.0</b>
<b>Heat Treated</b>	<b>46</b>	<b>1503.1</b>	<b>1406.6</b>	<b>13.0</b>	<b>47.0</b>
<b>Heat Treated</b>	<b>51</b>	<b>1937.5</b>	<b>1723.8</b>	<b>5.0</b>	<b>10.0</b>

Dalam penggunaan proses *die casting*, sering ditemukan beberapa masalah, antara lain terjadinya *failure* yang disebabkan oleh retak halus pada permukaan cetakan logam (*heat checking*) dan penempelan logam cair dengan permukaan cetakan (*die soldering*). Retak pada permukaan cetakan logam dapat disebabkan oleh umur pakai cetakan *die casting* yang sudah lama dan rentan akan serangan erosi yang berasal dari kondisi perasi *die casting*.

## 2.2 ALUMINIUM DAN PADUANNYA

Aluminium dapat diadaptasikan untuk berbagai macam metode pengecoran yang umum dipakai dan dapat dituang langsung ke dalam cetakan logam yang terpasang pada mesin otomatis dengan volume yang besar. Adapun beberapa karakteristik aluminium adalah <sup>(16)</sup>.

1. Fluiditas yang baik, sehingga mampu mengisi rongga-rongga cetakan yang tipis.
2. Temperatur lebur dan tuang yang rendah dibandingkan dengan material lain sehingga energi pemanasan dapat diminimalkan.

3. Siklus penuangan yang cukup cepat, dikarenakan perpindahan panas (konduktifitas panas) dari aluminium cair ke cetakan relatif cepat jadi produktifitas dapat ditingkatkan.
4. Kelarutan gas hidrogen dalam aluminium dapat di kontrol dengan proses yang baik.
5. Banyak jenis aluminium paduan yang relatif bebas dari kecenderungan terjadinya keretakan akibat *hot shortness*.
6. Memiliki stabilitas kimia yang relatif baik
7. Memiliki permukaan *as-cast* yang baik, berkilat, dan tanpa noda.

Sifat mekanik, fisik, dan kimia dari paduan aluminium sangat tergantung dari komposisi dan struktur mikro yang dimiliki. Penambahan sejumlah unsur paduan terhadap aluminium murni akan meningkatkan sifat dan kegunaannya secara umum. Oleh karenanya, sebagian besar aplikasi dari aluminium menggunakan paduan yang terdiri atas satu atau bahkan lebih unsur paduan. Pada dasarnya, banyak unsur yang dapat dipadukan dengan aluminium, yang tentunya memiliki kelarutan yang berbeda, seperti pada tabel 2.3 berikut

**Tabel 2.3 Kelarutan padat beberapa unsur dalam aluminium** <sup>(17)</sup>

Unsur Paduan	Temperatur (°C)	Klarutan Padat Maksimum (wt%)
Silikon	577	1,65
Seng	443	70,0
Perak	566	55,6
Timah	228	0,06
Titanium	665	1,3
Vanadium	661	0,4
Zirkonium	660,5	0,28
Besi	655	0,05
Litium	600	4,2
Magnesium	450	17,4
Mangan	658	1,82
Nikel	640	0,04

Dari berbagai unsur paduan aluminium di atas, terdapat 5 unsur paduan aluminium komersial yakni Seng, Magnesium, Tembaga, Silikon dan Mangan yang masing-masing memiliki kelarutan lebih dari 1%. Keseluruhan unsure paduan tersebut memiliki keterbatasan kadar dalam pemakaian karena jika terlalu banyak dapat mengganggu sifat-sifat utama dari aluminium.

Berdasarkan sistem penamaan yang dikeluarkan oleh *Aluminium Association* (AA), kelas-kelas pada aluminium dibagi berdasarkan jenis paduan yang digunakan. Tata nama tersebut menggunakan 4 digit angka, yang diklasifikasikan seperti pada tabel 2.4 berikut

**Tabel 2.4 Sistem Penamaan Aluminium Tuang** <sup>(18)</sup>

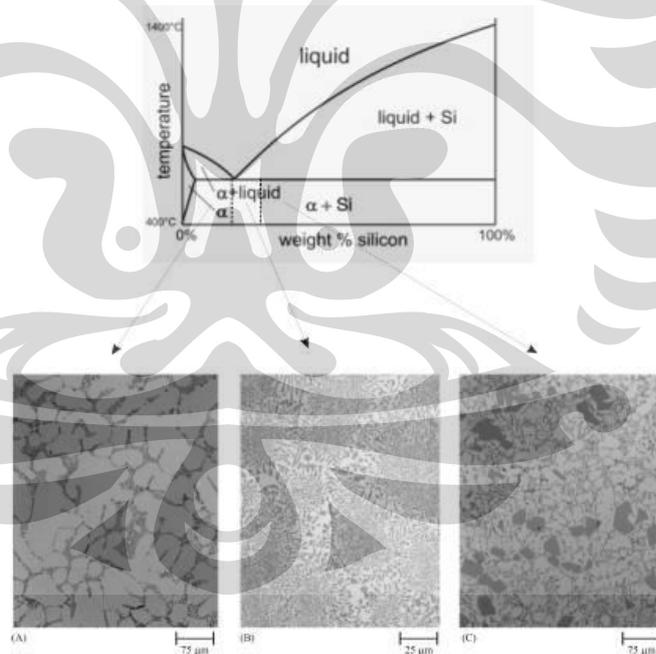
Nomor Penamaan	Unsur Paduan Utama
1xx.x	Aluminium murni ( $\geq 99\%$ )
2xx.x	Paduan Al-Cu
3xx.x	Paduan Al-Si + Cu dan/atau Mg
4xx.x	Paduan Al-Si
5xx.x	Paduan Al-Mg
6xx.x	Tidak digunakan
7xx.x	Paduan Al-Zn
8xx.x	Paduan Al-Sn
9xx.x	Paduan Al-Unsur lainnya

Angka pertama menandakan kelompok paduan, angka kedua dan ketiga menandakan kandungan minimum aluminium. Sedangkan angka keempat menandakan bentuk produk misalnya : (i) .0 untuk menandakan batas komposisi kimia untuk coran, (ii) .1 dan .2 untuk menandakan batas komposisi kimia untuk ingot. Namun, untuk penamaan tertentu misalnya seperti A333, dimana awalan huruf "A" menandakan modifikasi dari tipe aslinya <sup>(19)</sup>.

### 2.2.1 Paduan Aluminium-Silikon

Paduan aluminium-silikon merupakan paduan yang paling umum digunakan karena karakteristik cor dari paduan ini sangat baik digunakan dibandingkan dengan paduan aluminium lainnya. Unsur-unsur paduan utama pada Al-Si adalah Si, Cu, Mg dan Zn, sedangkan unsur paduan yang bersifat minor adalah Fe, Mn, Ti, Pb, Sn, Cr dan Ni. Ciri khas dari paduan ini adalah eutektik terbentuk antara aluminium dan silikon pada kadar silikon 11.5-12% <sup>(20)</sup>.

Paduan aluminium silikon memiliki daerah sistem biner mulai dari yang sederhana sampai pada sistem paduan yang lebih kompleks. Secara garis besar, paduan aluminium silikon dibagi menjadi tiga daerah utama, yaitu komposisi hipoeutektik, komposisi eutektik, dan komposisi hipereutektik <sup>(20)</sup> seperti yang diperlihatkan oleh Gambar 2.6 di bawah ini .



Gambar 2.6 Diagram Fasa Al-Si<sup>(21)</sup>

Struktur utama dari ketiga komposisi paduan ini adalah berupa fasa  $\alpha$ -Al, yang sangat kaya akan kandungan aluminium. Struktur ini akan tetap muncul walaupun pada komposisi hipereutektik, karena bentuk struktur ini akan selalu terpisah pada fasa solidnya baik dalam paduan hipoeutektik, eutektik, maupun

hipereutektik. Selain fasa  $\alpha$ -Al, juga terdapat fasa  $\beta$ , yang merupakan partikel-partikel silikon yang tidak larut dalam fasa  $\alpha$ -Al. Pada paduan hipereutektik, fasa tersebut menghasilkan silikon primer yang bentuknya relatif kasar. Terkadang bentuk ini juga dapat ditemui pada paduan eutektik<sup>(20)</sup>.

Pada komposisi hipoeutektik, terdapat kandungan silikon sekitar 5-10%. Pada daerah ini, pembekuan terjadi melalui fasa cair-solid. Struktur akhir dari komposisi ini adalah struktur yang kaya aluminium, sebagai fasa utamanya adalah fasa  $\alpha$  dengan struktur eutektik sebagai struktur tambahan<sup>(20)</sup>.

Komposisi eutektik merupakan daerah dimana paduan Al-Si dapat membeku secara langsung dari fasa cair ke fasa solidnya. Proses pembekuan yang berlangsung menyerupai proses pembekuan logam murni, dimana temperatur awal dan temperatur akhir peleburan adalah sama (*isothermal*). Adanya struktur eutektik ini yang mengakibatkan paduan aluminium silikon memiliki karakteristik mampu cor yang baik. Komposisi ini memiliki kandungan silikon sekitar 11-13%<sup>(13)</sup>. Untuk komposisi hipereutektik, kandungan silikonnya berada diatas 14-20%, sehingga komposisi ini memiliki struktur yang kaya akan silikon dengan fasa eutektik sebagai struktur tambahan.

### **2.2.2. Paduan Aluminium-7wt%Silikon (Al-7%Si)**

Paduan aluminium silikon Al-7wt%Si berada pada daerah hipoeutektik. Pada diagram fasa di atas terlihat matriks yang kaya akan aluminium (fasa  $\alpha$ -Al) dan silikon yang berbentuk seperti serabut. Kandungan silikon dari paduan aluminium silikon juga akan berpengaruh terhadap karakteristik proses solidifikasi yang berkaitan dengan metode cor yang dipilih. Untuk itu, ada rentang komposisi tertentu yang mengatur hubungan tersebut.

Kandungan 5-7% Si membutuhkan pendinginan lambat yang diaplikasikan pada *sand* dan *investment casting*. Kecepatan pendinginan menengah melalui mekanisme *permanent mold casting* cocok diaplikasikan pada kandungan 7-9% silikon. Sementara untuk aplikasi *die casting* dengan pendinginan yang cepat membutuhkan kandungan silikon sebanyak 8-12%. Hal ini dipengaruhi oleh hubungan antara kecepatan pendinginan dan fluiditas terhadap persentasenya pada eutektik.

### 2.2.3 Fasa Intermetalik Paduan Al-Si

Fe merupakan pengotor alami pada paduan aluminium yang dapat berasal dari berbagai sumber, seperti pada proses manufaktur aluminium yaitu pada proses *Bayer* yang mengubah bauksit (bijih aluminium) menjadi alumina maupun pada proses *Hall-Héroult electrolytic reduction* yang mengubah alumina menjadi aluminium cair ( $>900^{\circ}\text{C}$ ) dengan konsumsi listrik dan karbon. Tergantung pada kualitas bijih dan pengontrolan parameter proses serta material mentah lainnya, aluminium cair primer biasanya mengandung 0,03 – 0,15 wt.% Fe, dengan rata-rata  $\sim 0,07 - 0,10\%$ .

Selain itu unsur Fe dapat masuk ke dalam aluminium diantaranya melalui proses peleburan yaitu : adanya *tool* dan *furnace* yang tidak terproteksi, sehingga dalam waktu yang lama Fe dapat terlarut atau Fe dapat masuk pada aluminium cair melalui unsur paduan yang mempunyai kemurnian rendah seperti silikon serta adanya proses *machining* (bubut) dari *tool* material yang tinggi akan Fe.

Fe memiliki tingkat kelarutan yang sangat rendah pada aluminium yang telah membeku ( $\sim 0,05\%$  wt% pada kesetimbangannya), dan Fe cenderung untuk berkombinasi dengan unsur lain untuk menambah fasa intermetalik dalam berbagai jenis. Sebagai hasilnya, hampir semua Fe di dalam paduan aluminium terdapat dalam jenis berbeda dari fasedua intermetalik yang stabil di antara butir aluminium.

## 2.3 H13 TOOLSTEEL

### 2.3.1 Karakteristik AISI H13

Tool steel AISI H13 merupakan *chromium hot-work tool steel*. Komposisi kimia material ini didesain untuk tahan terhadap temperatur, tekanan, abrasi, dan siklus panas dalam proses aplikasinya, seperti *die casting*. Baja ini memiliki kandungan karbon rendah (0.4 wt%) untuk mendapatkan ketangguhan, kadar kromium yang medium (5 wt%) untuk mendapatkan ketahanan yang baik terhadap pelunakan temperatur tinggi, 1wt% Si untuk meningkatkan ketahanan oksidasi temperatur tinggi, dan penambahan molybdenum dan vanadium ( $\pm 1\%$ )

untuk membentuk karbida stabil guna meningkatkan ketahanan aus<sup>(23)</sup>. Komposisi dan sifat mekanis baja H13 dapat dilihat pada Tabel 2.4 dan 2.5.

**Tabel 2.4 Komposisi kimia tool steel pada umumnya<sup>(24)</sup>**

Unsur	C	Mn	Si	Cr	Mo	V
Wt%	0,4	0,4	1,00	5,25	1,35	1,00

**Tabel 2.5 Sifat Mekanis H13 pada Temperatur Ruang<sup>(24)</sup>**

<i>Kondisi</i>	<i>Hardness Rockwell C</i>	<i>UTS (MPA)</i>	<i>YS(MPA)</i>	<i>Elongasi Dalam 50.8mm (%)</i>	<i>Reduction Area (%)</i>
Annealed	15	668.8	372.3	32.0	66.0
Heat Treated	46	1503.1	1406.6	13.0	47.0
Heat Treated	51	1937.5	1723.8	5.0	10.0

### 2.3.2 Anneling AISI H13

Setelah proses anealling baja H13 terdapat kandungan karbida paduan sekitar 3.5%, yang terdiri dari karbida jenis M6C (unsur utama Mo), M7C3 (unsur utama Cr), MC (unsur utama V). Karbida ini terdistribusi pada matrix ferrit. Hingga temperatur austenisasi 1100oC, karbida krom dan molybdenum larut dalam larutan padat., hanya karbida vanadium yang tidak terlarut. Setelah didinginkan hingga temperatur kamar akan dihasilkan struktur matrix berupa martensit, austenit sisa dan mungkin bainit, pada mikrostruktur akan terdapat karbida yang berasal dari karbida primer sisa maupun hasil proses autotemper.

Dengan melakukan temper sebanyak dua kali austenit sisa akan berubah menjadi martensit temper, pada temper pertama austenit berubah menjadi martensit atau disebut tahap kondisional, pada temper kedua baru berubah

menjadi martensit temper. Karenanya pada baja ini diperlukan temper ganda untuk mendapatkan stabilitas dimensi yang maksimum. Setelah ditemper struktur matriks akan berubah menjadi martensit temper dengan endapan karbida paduan maupun sementit yang tersebar diseluruh matriks atau pada batas butir.

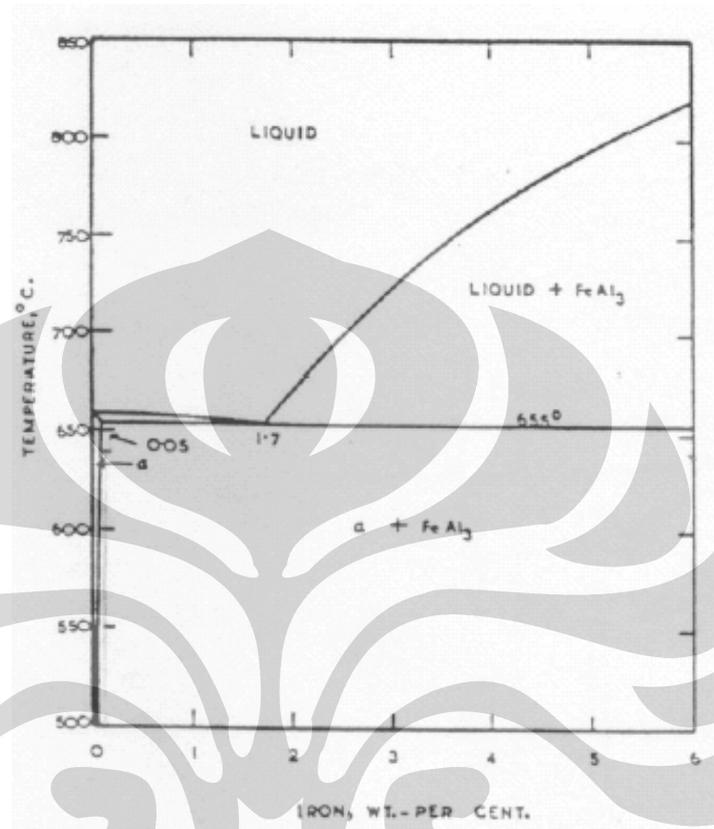
### 2.3.3 Pembentukan Senyawa Intermetalik Selama Pembekuan

Fe merupakan pengotor alami yang timbul selama proses manufaktur aluminium pada proses *Bayer* yang mengubah bauksit (bijih aluminium) menjadi alumina maupun pada proses *Hall-Héroult electrolytic reduction* yang mengubah alumina menjadi aluminium cair ( $>900^{\circ}\text{C}$ ) dengan konsumsi listrik dan karbon. Bergantung pada kualitas bijih dan pengontrolan parameter proses serta material mentah lainnya, aluminium cair primer biasanya mengandung 0.03 – 0.15 wt.% Fe, dengan rata-rata  $\sim 0.07 - 0.10 \%$ . Kehadiran unsur Fe tersebut tidaklah disukai dalam industri pengecoran, khususnya pada keluarga paduan Al-Si. Hal ini disebabkan unsur tersebut dapat mengakibatkan kerusakan pada produk akhir pengecoran.

Hingga saat ini belum ada cara ekonomis yang dapat menghilangkan unsure Fe dari aluminium. Sehingga, kadar Fe pada aluminium primer merupakan kandungan Fe paling rendah yang dapat terkandung dalam aluminium, dan proses peleburan lebih lanjut hanya akan meningkatkan kandungan Fe dalam aluminium.

Unsur Fe dapat masuk kedalam *melt* selama proses peleburan melalui dua mekanisme dasar :

1. Fe dapat larut dalam aluminium cair dari tool steel yang tidak diproteksi dan pelalatan tungku, dan dengan waktu yang lama, kandungan Fe akan mencapai 2 wt% pada temperatur lebur  $\sim 700^{\circ}\text{C}$ . Untuk proses peleburan pada temperatur  $800^{\circ}\text{C}$ , kandungan Fe dapat mencapai lebih dari 5%. Diagram fasa Al-Fe dapat dilihat pada gambar 2.8.



Gambar 2.7 Diagram fasa biner Al-Fe<sup>(25)</sup>

2. Fe juga dapat masuk ke dalam aluminium cair melalui penambahan material paduan yang memiliki tingkat kemurnian rendah, seperti Si atau dapat juga melalui penambahan *scrap* yang mengandung kandungan Fe sangat tinggi dibandingkan aluminium primer.

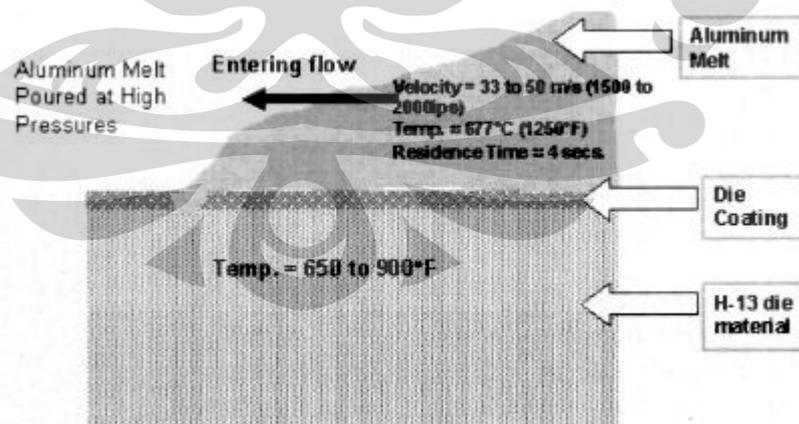
## 2.4 DIE SOLDERING

Kerusakan cetakan pada industri *die casting*, terutama disebabkan karena *die soldering*, yaitu ketika aluminium cair melekat pada permukaan cetakan dan meninggalkan bekas setelah dikeluarkan dari cetakan. Merupakan suatu tantangan

pada industri ini untuk meminimalisir waktu dari proses pengecoran sehingga produktivitas meningkat dan biaya produksi menurun. *Die soldering* merupakan penghalang terhadap tantangan tersebut karena dapat menyebabkan perbaikan dan penggantian cetakan sehingga produktivitas proses menurun.

*Soldering* atau *die sticking* terjadi pada *die casting* ketika aluminium cair melekat pada permukaan cetakan sehingga mengakibatkan kerusakan cetakan dan rendahnya kualitas permukaan komponen. Ada 2 tipe *soldering*, pertama terjadi pada temperatur tinggi yang mengacu pada reaksi kimia antara aluminium cair dan cetakan, tipe yang lain adalah yang terjadi pada temperatur rendah karena adanya interaksi mekanik.

*Die soldering* merupakan hasil dari reaksi yang terjadi pada permukaan antara aluminium cair dan cetakan selama aluminium cair memasuki cetakan pada temperatur tinggi. Tipe *soldering* ini sangat berkaitan erat dengan fenomena *washout* dari lapisan tipis yang melindungi permukaan cetakan. *Washout* terjadi ketika aluminium cair masuk ke cetakan dengan kecepatan tinggi dan merusak lapisan protektif (pelumas atau *coating*) yang ada pada permukaan cetakan. Ilustrasi lingkungan yang terjadi selama proses *die casting* dapat dilihat pada Gambar 2.9



Gambar 2.8 Ilustrasi lingkungan yang terjadi selama proses *die casting* <sup>(26)</sup>

Oleh sebab itu, aluminium cair akan kontak langsung pada permukaan cetakan. Selanjutnya besi yang terkandung pada cetakan larut ke dalam aluminium cair dan membentuk lapisan intermetalik. Pada *soldering*, lapisan terjadi pada level atomik sehingga sulit dicegah. Afinitas aluminium terhadap besi tinggi, sehingga reaksi kimia akan terjadi pada permukaan cetakan ketika aluminium cair kontak langsung dengan cetakan. Reaksi ini menghasilkan senyawa intermetalik aluminium silikon pada permukaan cetakan sehingga komponen (benda cor) melekat pada lapisan intermetalik ini. Berdasarkan literatur, *soldering* lebih sering terjadi di sekitar saluran (*gate*) yang disebabkan tingginya temperatur dan kecepatan aluminium cair masuk ke cetakan.

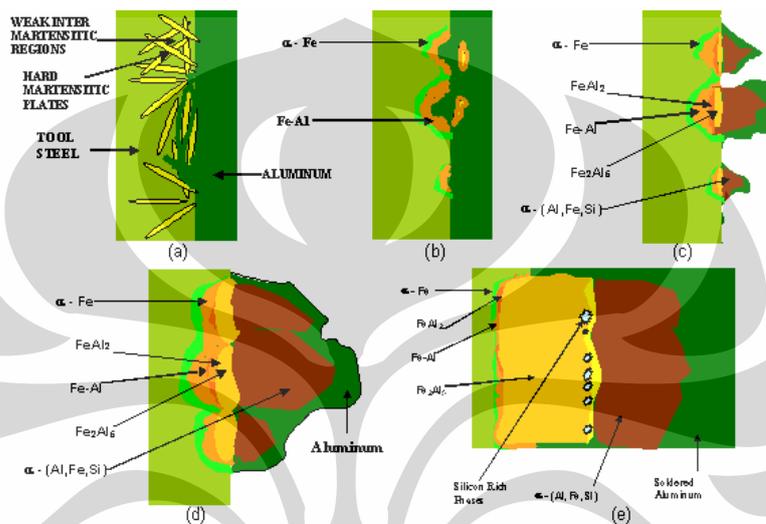
Mengacu pada literatur <sup>(27)</sup>, terdapat 2 jenis fenomena *soldering*, yaitu *impingement* dan deposisi.

- a. *Soldering impingement* terjadi di sekitar saluran (*gate*), ketika aliran logam cair kontak langsung dengan permukaan cetakan. Fenomena ini terjadi karena tingginya kecepatan *plunger* dan disain saluran yang buruk.
- b. *Soldering deposition* terjadi pada cetakan di daerah di mana kecepatan pengisian logam rendah dan terjadi *washout*.

#### 2.4.1 Mekanisme Soldering

Mekanisme terjadinya *soldering* hanya bergantung pada difusi dan reaksi kimia dari elemen yang terdapat pada cetakan dan logam cair. Menurut Shankar<sup>(28)</sup>, *soldering* merupakan reaksi difusi – besi yang terkandung pada cetakan, masuk ke dalam aluminium cair, bereaksi membentuk lapisan intermetalik. Mekanisme die *soldering* diilustrasikan pada Gambar 2.10. dengan keterangan gambar-gambar sebagai berikut: (a). Serangan awal pada batas butir oleh aluminium, membentuk *pitting* pada permukaan cetakan (b). Pembentukan fasa intermetalik Fe-Al didalam *pit* dan disekitar butir yang rusak dekat permukaan cetakan. (c). "Pyramid" tumbuh pada fasa (Al,Fe,Si), *pit* berekspansi dan menjadi lebih dalam. Aluminium mulai menempel setelah lapisan tipis ini terbentuk sehingga terjadi *initial sticking*. (d). Pertumbuhan lapisan intermetalik dan menyatukan *pit* disebelahnya.

Aluminium cair menyentuh permukaan cetakan melalui retakan dan *pit*. (e). Memperkuat *pit* dan menutup *gap* antara *pit*. Rasio antara ketebalan lapisan intermetalik dan aluminium yang menempel adalah  $\sim 1:5$ . Mekanisme reaksinya menjadi sangat lambat. Silikon diendapkan pada batas butir fasa  $\text{Fe}_2\text{Al}_5$  dan pada batas antara dua lapisan intermetalik.



Gambar 2.9 Mekanisme *Die Soldering* <sup>(29)</sup>

Gambar diatas menunjukkan skema mekanisme *die soldering* secara mikrostruktural. Terdapat 6 tahapan terjadinya *die soldering*<sup>(30)</sup>., yaitu :

### 1) Erosi batas butir pada permukaan cetakan

Aluminium cair kontak dengan permukaan cetakan secara berulang pada setiap siklus pengecoran. Ketika proses pengecoran, aluminium cair menyerang daerah yang lebih lemah dari permukaan cetakan. Daerah lemah ini berada diantara *hard martensitic plates* dan partikel karbida yang merupakan daerah intergranular. Ketika aluminium cair mengerosi daerah lemah pada permukaan cetakan, akan terbentuk *solid solution primer* dari Fe oleh aluminium cair. Fasa solid solution ini direpresentasikan dengan  $\alpha\text{-Fe}$ .

**2) Pembentukan celah kecil (*pit-pit*) pada permukaan cetakan**

Mula-mula batas butir dan fasa yang lemah pada permukaan cetakan diserang oleh aluminium, sehingga terbentuk lubang yang hemispherical.

**3) Pembentukan Senyawa Fe-Al**

Aluminium bereaksi dengan permukaan butir yang lemah, dan pada permukaan terbentuk pit yang memiliki kandungan fasa biner Fe-Al seperti FeAl, FeAl<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>Al<sub>5</sub>, dan FeAl<sub>3</sub>. Pembentukan lapisan senyawa biner ini disebabkan oleh reaksi dari setiap fasa dengan aluminium cair secara kontinu dan Fe berdifusi keluar dari permukaan cetakan.

**4) Pembentukan Struktur Piramid dari Fasa Intermetalik**

Fasa FeAl<sub>3</sub> bereaksi dengan Al dan Si pada *molten* sehingga membentuk fasa ternary  $\alpha$ -(Al, Fe, Si). Lapisan intermetalik yang terjadi selama tahapan ini, mempunyai morfologi seperti pyramid. Hal ini dikarenakan pertumbuhan radial dari fasa intermetalik keluar dari pit pada permukaan cetakan. Fasa ternary mempunyai ketebalan yang lebih tinggi dibandingkan fasa lain. Karena volume aluminium cair berlebih, maka reaksi antara fasa intermetalik dan *molten* mendominasi difusi Fe dari permukaan cetakan. Bagaimanapun, keseluruhan tebal dari lapisan intermetalik pada permukaan cetakan dikontrol dengan difusi Fe dari permukaan cetakan. Silikon dan unsur minor lainnya (Cr, Mn, V, dll.) dari cetakan dan aluminium cair membentuk endapan pada batas butir dari fasa intermetalik Fe<sub>2</sub>Al<sub>5</sub>. Silikon berukuran besar yang kaya akan presipitat juga ditemukan pada butir antara fasa biner dan ternary. Zn membentuk presipitat pada batas butir dari lapisan fasa ternary  $\alpha$ -(Al, Fe, Si).

### 5) Penggabungan struktur piramid dari fasa intermetalik yang ada pada permukaan cetakan

Reaksi yang terakhir antara Fe dan Al cair adalah fasa ternary  $-(Al, Fe, Si)$ . Setelah lapisan intermetalik berbentuk pyramid terbentuk pada permukaan cetakan, kelebihan Al akan menempel pada lapisan ini. Penempelan awal disebabkan oleh penahanan reaksi antara Fe, Al cair, dan pengaruh energi permukaan dari lapisan intermetalik terhadap Al cair. Alasan mungkin lain untuk penempelan Al ke pyramid ini adalah karena konduktivitas termal yang rendah dari lapisan fasa intermetalik dibandingkan dengan permukaan cetakan.

Oleh karena itu, ketika benda hasil cor telah memadat dan siap untuk dikeluarkan dari cetakan, *molten* disekitar lapisan intermetalik membeku. Hasilnya terjadi penempelan (*sticking*). Selanjutnya lapisan fasa intermetalik yang terbentuk tumbuh keluar dari *erosion pits*, dan akhirnya bagian dari aluminium yang membentuk lapisan intermetalik ini tersisa pada permukaan cetakan setelah produk casting dikeluarkan dari cetakan.

### 6) Pertumbuhan fasa intermetalik dan sumuran

Sumuran yang terbentuk akan membesar dasama lain, sehingga menghasilkan sumuran yang bentuk lurus. Ketika lapisan intermetalik terbentuk di luar sumuran, sumuran akan berhenti tumbuh ke arah dalam dan tumbuh secara paralel di permukaan cetakan. Ketika sumuran yang bersebelahan mulai bergabung antara satu sama lain, persediaan aluminium cair pada permukaan cetakan terhalang oleh adanya gap dan retak antara lapisan intermetalik yang tumbuh diantara sumuran yang saling bersebelahan. Setelah beberapa waktu, retak akan tertutup dan menahan reaksi kimia antara paduan aluminium dan besi.

#### 2.4.2. Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi *Die Soldering*<sup>(31)</sup>.

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi *die soldering*, yakni :

### a. Temperatur antara logam cair dan cetakan

Temperatur logam cair merupakan faktor penting dalam menciptakan *hot spots* pada permukaan cetakan. Shankar, pada penelitiannya menemukan temperatur holding dari logam cair pada  $\sim 663$  °C dapat meminimalkan pembentukan *hot spot*. Temperatur cetakan harus di *pre-heat* antara 298 – 329 °C. Aplikasi temperatur yang lebih tinggi akan dapat merusak fungsi dari pelumas. Temperatur pada permukaan cetakan tergantung pada temperature *pouring* dari aluminium cair dan kondisi dari transfer panas . Jika temperatur dari permukaan cetakan rendah maka soldering hampir tidak pernah terjadi. Selain itu, adanya *hot spot* pada permukaan cetakan juga dapat menyebabkan terjadinya soldering dengan sangat mudah. Tetapi aplikasi temperatur yang terlalu rendah dapat mengakibatkan pengisian cetakan menjadi buruk dan terjadi cold solder.

### b. Sifat dan karakteristik dari paduan logam dan lapisan intermetalik

Berdasarkan literatur, dapat disimpulkan bahwa pembentukan lapisan intermetalik murni berdasarkan difusi dan reaksi kimia dari elemen yang ada pada cetakan dan logam cair. Setiap jenis paduan aluminium memiliki kecenderungan berbeda terhadap *soldering*. Menurut Kajoch, aluminium menunjukkan kecenderungan yang kuat untuk melekat pada besi. Pada penelitiannya, dia menunjukkan adanya lapisan antara (*intermediate*) yang terdiri dari zona-zona senyawa intermetalik seperti  $\text{Fe}_2\text{Al}_5$  (prevalent),  $\text{Fe}_3\text{Al}$  and  $\text{FeAl}_3$ . Bagaimanapun, adanya elemen paduan lain seperti Si, Cu, Mg, dll, menghasilkan pembentukan sejumlah senyawa intermetalik kompleks pada lapisan antara (*intermediate*). Kajoch juga menyebutkan bahwa kecenderungan terjadinya *soldering* pada aluminium primer adalah yang paling mungkin terjadi, diikuti oleh paduan Al-Mg, paduan hipoeutektik Al-Si, Al-Si-Cu, dan eutektik Al-Si, yang paling kecil kemungkinan mengalami soldering. Hal ini terjadi karena adanya silikon dalam jumlah yang banyak dalam aluminium yang dapat menurunkan laju lapisan intermetalik.

### c. Lubrikasi dan pelapisan (*coating*) cetakan

Tujuan utama diaplikasikannya pelumas atau *coating* adalah untuk membuat sebuah pemisah antara logam cair dan permukaan cetakan. Hal ini akan mengurangi kecenderungan terjadinya *soldering* dengan mencegah kontak antara logam cair dan cetakan. Agar pemisahan logam cair dari permukaan cetakan berlangsung efektif, maka pelumas harus membentuk lapisan film pada permukaan cetakan. Lapisan ini harus benar-benar melekat pada permukaan cetakan dan cukup kuat untuk menahan serangan dari panas yang berasal dari logam cair. Selain itu, lapisan ini harus *uniform* dan menutupi seluruh permukaan, terutama di daerah dimana *soldering* biasa terjadi.

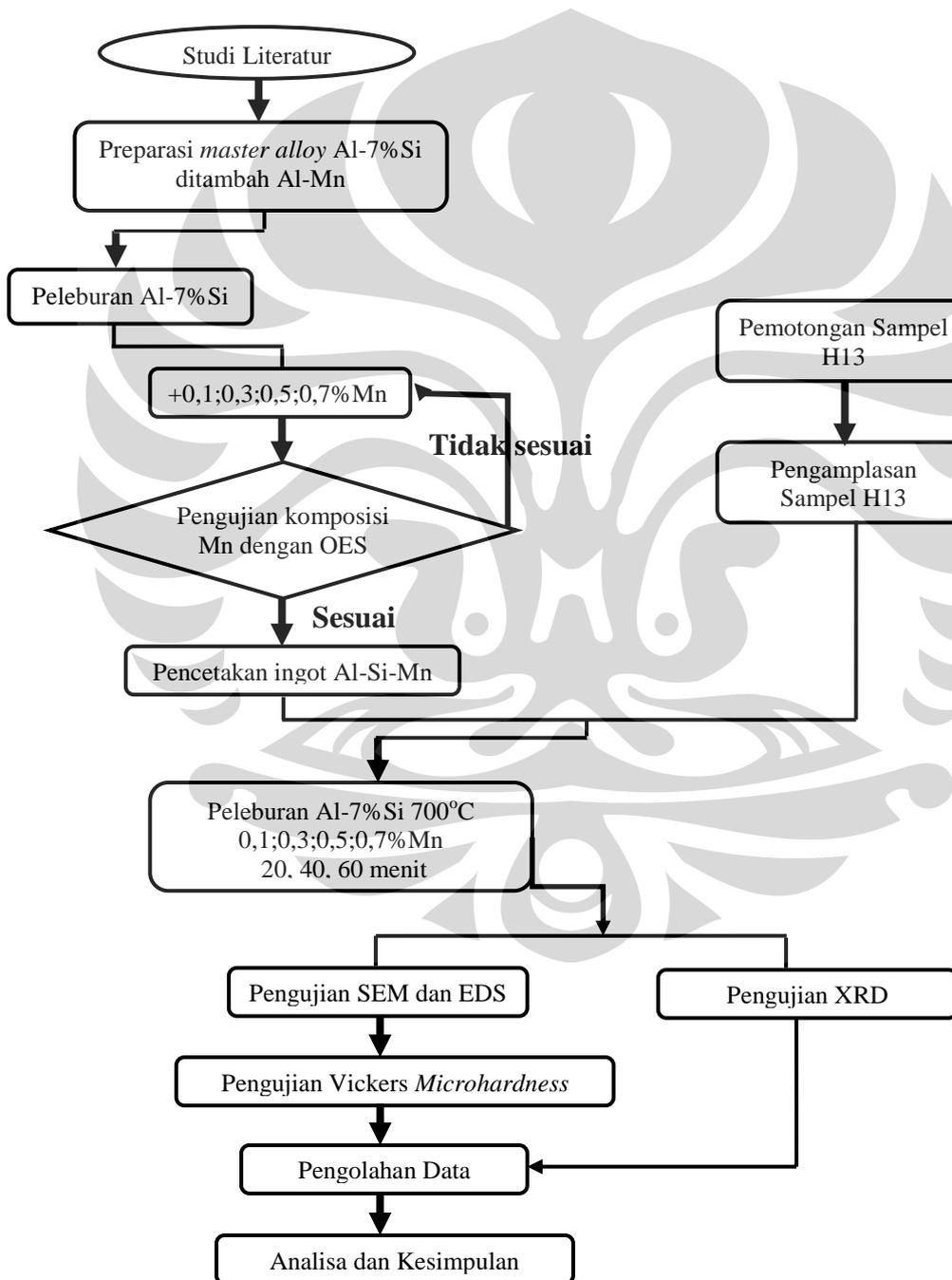
**d. Karakteristik cetakan dan parameter operasi**

Bagian yang tebal pada cetakan merupakan daerah potensial untuk terjadinya *die soldering*. Penggunaan molybdenum, selain baja H13, membantu mengurangi *soldering*, namun molybdenum lebih mahal dan lebih lunak dibandingkan baja H13 sehingga umur pakainya lebih singkat. Pembentukan lapisan tipis *soldering* akan memperkasar daerah pada permukaan cetakan, dan kekasaran ini memicu *soldering* terjadi. Sekali *soldering* terjadi, pembentukan lapisan paduan aluminium di atas lapisan tersolder terjadi secara cepat. Hal ini disebabkan konduktivitas termal yang buruk dan kekerasan dari daerah yang tersolder pada cetakan. Lapisan ini dapat dicairkan kembali untuk mengurangi akumulasi *soldering*. *Undercut* pada operasi *die casting* juga dapat memfasilitasi terjadinya *soldering*.

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 DIAGRAM ALIR

Diagram alir eksperimen dapat dilihat pada Gambar 3.1 di bawah ini:



Gambar 3.1 Diagram alir

### 3.2 ALAT DAN BAHAN

#### 3.2.1. Alat

##### 1. *Holding Furnace*

Digunakan untuk menjaga temperatur peleburan stabil pada 700 °C (lihat gambar 3.2)



Gambar 3.2 Penampang dapur holding

##### 2. Tungku Peleburan Tipe Krusibel

##### 3. *Scanning Electron Microscope (SEM)*

Pengujian ini bertujuan untuk mengukur ketebalan dan mengetahui unsur-unsur kimia pada setiap lapisan tersebut. *Scanning Electron Microscope (SEM)* dan Energy-Dispersive Spectroscopy (EDS) untuk mengetahui morfologi dan karakteristik lapisan intermetalik pada sampel menggunakan alat SEM LEO 420 yang dilengkapi dengan EDS. SEM yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 3.3.



**Gambar 3.3** SEM yang dilengkapi dengan EDS

4. Alat uji *Vickers Microhardnes*
5. *Blower*
6. Kertas Amplas grid 80-1200
7. Mesin Amplas & Poles
8. Mesin Potong Gerinda
9. *Medium Speed Diamond Saw*
10. Kowi (kapasitas 1400 gr aluminium)
11. *Thermocouple*
12. *Stopwatch*
13. Cetakan ingot
14. Alat Pelindung Diri (masker, sarung tangan, kaca mata)

### **3.2.2. Bahan**

1. *Master Alloy Al-7%Si*  
Merupakan master alloy yang akan dilebur. Terdiri atas paduan aluminium dengan kandungan silikon sebesar 7%. Pada prosesnya akan ditambahkan Mn sebesar 0,1, 0,2, 0,3, dan 0,5 %.
2. Toolsteel H13  
Material H13 dipilih karena disesuaikan dengan material yang digunakan pada dies dalam industri peleburan aluminium.
3. Material Mn (Al-80%Mn)  
Material ini digunakan untuk memberikan paduan Mn sebesar 0,1, 0,2, 0,3, dan 0,5 % pada paduan. Pada proses peleburan, Al-7%Si dilebur hingga mencair sempurna pada temperatur sekitar 680 – 700 °C. Setelah itu, Al-80wt%Si yang telah dibungkus dengan aluminium foil dicelupkan dengan menggunakan panjer. Logam cair yang telah ditambahkan Al-80wt%Si diaduk perlahan agar persebarannya merata.
4. *Thermal Coating*

Digunakan sebagai pelapis pada alat-alat yang digunakan pada peleburan seperti furnace, kowi, dan cetakan ingot. Tujuannya adalah agar alat-alat tersebut tidak mengalami *thermal shock* ketika dipanaskan pada temperatur tinggi dan mengurangi penempelan aluminium cair yang telah mengering.

5. Briket batubara

Briket batubara adalah sumber pembakaran utama yang digunakan dalam proses peleburan ingot aluminium hingga menjadi aluminium cair pada temperatur 700 °C

6. Minyak tanah

Minyak tanah digunakan agar briket yang dipakai dapat lebih mudah terbakar.

7. *Silica gel*

Digunakan untuk mengurangi kadar air pada sampel H13 yang telah mengalami proses pengamplasan hingga yang paling halus. Penggunaan *silica gel* dapat mengurangi proses oksidasi pada baja H13.

8. Resin

Resin digunakan sebagai bahan dasar pemountingan sampel. Cairan resin dipilih karena daya rekatnya cukup baik dan memberikan kualitas *mounting* yang baik.

9. *Hardener*

*Hardener* digunakan sebagai bahan perekat resin dalam proses *mounting*.

10. Alumina

Alumina digunakan untuk memoles sampel pasca pengamplasan sehingga didapat permukaan sampel yang lebih halus dan mengkilap seperti cermin.

11. Zat etsa Nital

Zat etsa Nital digunakan untuk mempermudah proses pengamatan mikrostruktur di bawah mikroskop

12. Zat etsa HF

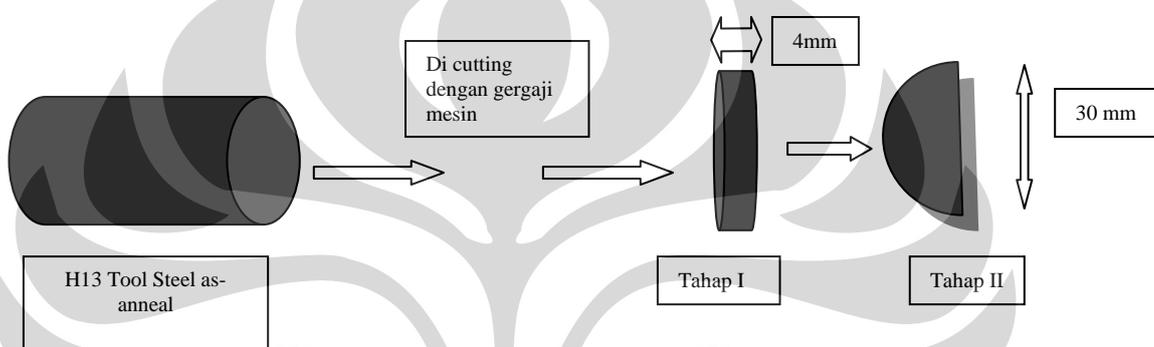
Sama dengan zat etsa Nital, HF juga digunakan untuk mempermudah proses pengamatan mikrostruktur di bawah mikroskop

### 3.3. PROSEDUR PENELITIAN

#### 3.3.1. Preparasi Sampel Tool Steel H13

- Pemotongan Sampel

Tahap awal penelitian adalah pemotongan sample H13 tool steel dari bentuk silinder pejal menjadi bentuk yang lebih tipis seperti ilustrasi pada Gambar 3.4 berikut,



Gambar 3.4 Dimensi sampel setelah dipotong dengan gergaji mesin

- Pengamplasan Sampel H13

Sampel tool steel diamplas dari *mesh* yang berukuran paling kecil ke mesh paling besar. Kertas amplas yang digunakan adalah grid #120, #180, #240, #320, #400, #800, #1000, #1200. Pengamplasan bertahap ini bertujuan untuk mendapatkan permukaan sampel yang benar-benar halus dan rata. Kondisi seperti ini memudahkan interaksi antara toolsteel dan aluminium cair. Tool steel yang telah diamplas dimasukkan ke dalam plastik sampel yang berisi *silica gel* agar tidak terserang korosi.

- Pengujian *Microhardness* Sampel H13

Pengujian *microhardness* sampel H13 dilakukan untuk mengetahui nilai kekerasannya. Teknis pengujian kekerasan ini adalah dengan dilakukan penjejakan pada 3 titik yang terdapat di tengah-tengah sampel H13 dengan menggunakan beban sebesar 500 gf. Pengamatan jejak dan hasil

penjejakan berupa diameter jejak diperoleh diamati langsung melalui mikroskop yang terdapat pada *microhardness*.

### 3.3.2. Persiapan Sampel

- Peleburan

Proses peleburan dilakukan setelah didapatkan formulasi yang perhitungan material balance. Al-7%Si yang berbentuk ingot dilebur hingga mencair di dalam krusibel yang memiliki kapasitas 1400 gram. Penambahan mangan dilakukan dengan memasukkan Al-80wt%Mn yang dibungkus dengan aluminium foil.

- Penambahan Mn

Al-7%Si dilebur hingga mencair sempurna pada temperatur sekitar 680 – 700 °C. Setelah itu, Al-80wt%Si yang telah dibungkus dengan aluminium foil dicelupkan dengan menggunakan *plunger*. Logam cair yang telah ditambahkan Al-80wt%Si diaduk perlahan agar persebarannya merata.

- Uji Komposisi

Uji komposisi dilakukan agar kadar Mn yang terdapat pada *master alloy* sesuai dengan yang diinginkan. Uji komposisi dilakukan dengan menggunakan metode uji spektrometri. Sampel diambil sekitar 100 gram dan dituang untuk pengujian spektrometri. Hasil pengujian harus sesuai dengan spesifikasi kadar Mn yang telah ditetapkan sebelumnya, yaitu master alloy Al-7wt%Si dengan kadar Mn sebesar 0,1%, 0,3%, 0,5%, dan 0,7%. Penambahan Al-80wt%Si dilakukan apabila komposisi Mn yang terdapat di dalam master alloy belum sesuai dengan yang diinginkan.

- Penuangan

Master alloy dituang ke dalam cetakan apabila komposisinya sudah memenuhi persyaratan yang ditetapkan. Setelah dituang dan membeku, master alloy disimpan untuk digunakan pada pengujian *die soldering*.

### 3.3.3. Percobaan Die Soldering

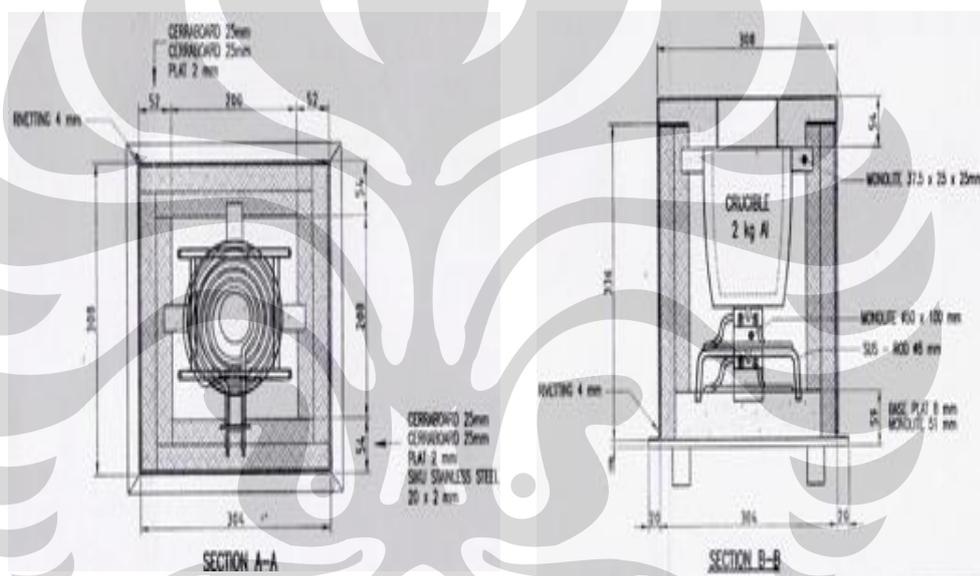
- Persiapan Alat & Bahan

Peralatan dan bahan harus dipersiapkan sebaik mungkin sebelum dilakukan peleburan. Selain untuk kelengkapan, hal ini dilakukan untuk memperlancar proses dan mendukung *safety* ketika peleburan berlangsung. Peralatan seperti tungku peleburan, kowi, cetakan ingot, *plunger*, tang penjepit, sendok besi, dan ujung thermocouple cukup sering bersentuhan langsung dengan panas. Alat-alat tersebut harus dibersihkan terlebih dahulu dan dilakukan thermal coating. Hal ini bertujuan untuk menjaga kondisi peralatan agar dapat berfungsi optimal pada temperatur tinggi dan menjaga usia pakainya. Master alloy yang akan dilebur dipotong-potong terlebih dahulu menjadi bagian-bagian yang lebih kecil agar dapat dimasukkan ke dalam koi. Peralatan pendukung seperti stopwatch, blower, spidol permanen, plastik & label nama, dan Alat Pelindung diri juga harus dipersiapkan dan dipastikan berada dalam kondisi baik untuk digunakan. Setelah peralatan siap, bahan yang akan digunakan pada proses peleburan seperti master alloy Al-7wt%Si yang mengandung 0,1wt%, 0,3wt%, 0,5wt%, 0,7wt% Mn, *tool steel* H13, briket batubara, dan minyak tanah juga harus lengkap. Khusus briket batubara, bahan bakar ini sebaiknya disiram terlebih dahulu dengan minyak tanah secara merata dan didiamkan sekitar 15 menit agar dapat cepat tersulut api ketika tungku peleburan mulai dinyalakan

- Peleburan

Proses peleburan dilakukan sebanyak empat kali, yaitu untuk paduan aluminium silikon (Al-7wt%Si) dengan masing-masing kandungan Mn sebesar 0,1wt%, 0,3wt%, 0,5wt%, dan 0,7wt% sesuai dengan perhitungan *material balance*. Proses peleburan diawali dengan menyalakan tungku. Batu bara yang telah disiram minyak tanah disusun di dalam dapur dan koi yang terbuat dari bahan refraktori diletakkan di tengah-tengah tungku. Master alloy yang telah dipotong-potong dimasukkan ke dalam koi dan batubara mulai dinyalakan dengan menggunakan korek api. Agar pembakaran semakin cepat dan tersebar merata, digunakan *blower* yang udaranya dialirkan melalui rongga di bawah tungku. Pemanasan dilakukan hingga seluruh master alloy Al-7wt%Si melebur hingga mencair

sempurna. Bersamaan dengan proses peleburan, *holding furnace* dinyalakan dan dilakukan pengaturan temperatur, baik temperatur pemanas maupun temperatur krusibel. Temperatur pemanas pada *holding furnace* ini diatur sekitar 800 °C dan temperatur krusibelnya sebesar 700 °C. Ketika sudah mencair, paduan diangkat dan dipindahkan menuju *holding furnace* untuk menjaga temperatur paduan agar tetap konstan. Kondisi kestabilan temperatur dikontrol menggunakan *thermocouple*. Ilustrasinya dapat dilihat pada gambar 3.5.



Gambar 3.5 Skema dapur holding

- Pencelupan Sampel H13

Proses pencelupan dilakukan pada *holding furnace*. Ketika temperatur aluminium cair konstan di kisaran 700°C, maka bagian penutup *holding furnace* dibuka, sampel *toolsteel* H13 dimasukkan ke dalam aluminium cair, dan *stopwatch* dinyalakan. Setelah sampel itu, penutup ditutup serapat mungkin. Pencelupan dilakukan berdasarkan lamanya waktu yang diinginkan, yaitu 20, 40, dan 60 menit. Masing-masing sampel H13 diangkat menggunakan tang penjepit sesuai dengan waktu yang ditetapkan. Apabila sudah diangkat, dilakukan pelabelan dan pengkodean

terhadap sampel H13 yang telah diuji. Aluminium cair hasil percobaan dituang ke cetakan ingot, kemudian setelah membeku dilakukan pengkodean juga. Percobaan ini dilakukan pada empat komposisi Mn yang berbeda dan tiga waktu yang berbeda pula, sehingga jumlah total sampel pengujian adalah dua belas buah.

### 3.4. PENGUJIAN

#### 3.4.1. Persiapan Sampel Pengujian

Tahapan:

- Pemotongan sampel  
*Medium speed diamond saw* digunakan untuk memotong sampel menjadi dua bagian sama besar. Alat ini dipakai agar pemotongan berjalan baik dan tidak merusak sampel. Selain itu, didapat bagian permukaan yang akan diuji melalui proses ini.
- *Mounting*  
Proses mounting berguna agar sampel yang kecil mudah untuk dipegang ketika harus menjalani proses selanjutnya seperti pengamplasan, pemolesan, etsa, dan pengujian. Selain itu, mounting juga dapat menjaga sampel agar tidak mudah rusak ketika ditangani. Media mounting yang digunakan adalah resin dan hardener. Sampel yang sudah siap dimounting diletakkan di dalam cetakan dengan posisi bagian permukaan yang akan diuji berada pada dasar cetakan. Setelah itu, resin dan hardener dituangkan ke dalam cetakan dengan komposisi yang sesuai. Sampel yang telah dibungkus oleh bahan mounting ini didiamkan sekitar 15 menit agar bahan mounting membeku dan siap untuk dikeluarkan dari cetakan.
- Pengamplasan (Grinding)  
Pegamplasan dilakukan dengan kertas amplas #1000, #1200, dan #1500 dan dilakukan bertahap dimulai dari amplas dengan nomor

grid paling kecil (kasar) ke nomor grid yang besar (halus). Pengamplasan dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan kehalusan permukaan dan menghilangkan goresan-goresan kasar pada permukaan sampel.

- Pemolesan (Polishing)

Pemolesan merupakan pelengkap bagi proses pengamplasan. Hasil permukaan yang didapat pada proses pengamplasan belum cukup halus untuk dijadikan sampel uji pengamatan yang berkualitas baik. Pengamplasan sendiri dapat menghasilkan goresan-goresan halus akibat gesekan antara permukaan sampel dengan bidang amplas. Untuk mengatasi masalah seperti ini, dilakukan pemolesan pada permukaan sampel menggunakan zat poles  $\text{Al}_2\text{O}_3$  sehingga didapat permukaan sampel yang lebih halus dan mengkilap seperti cermin.

- Etsa (Etching)

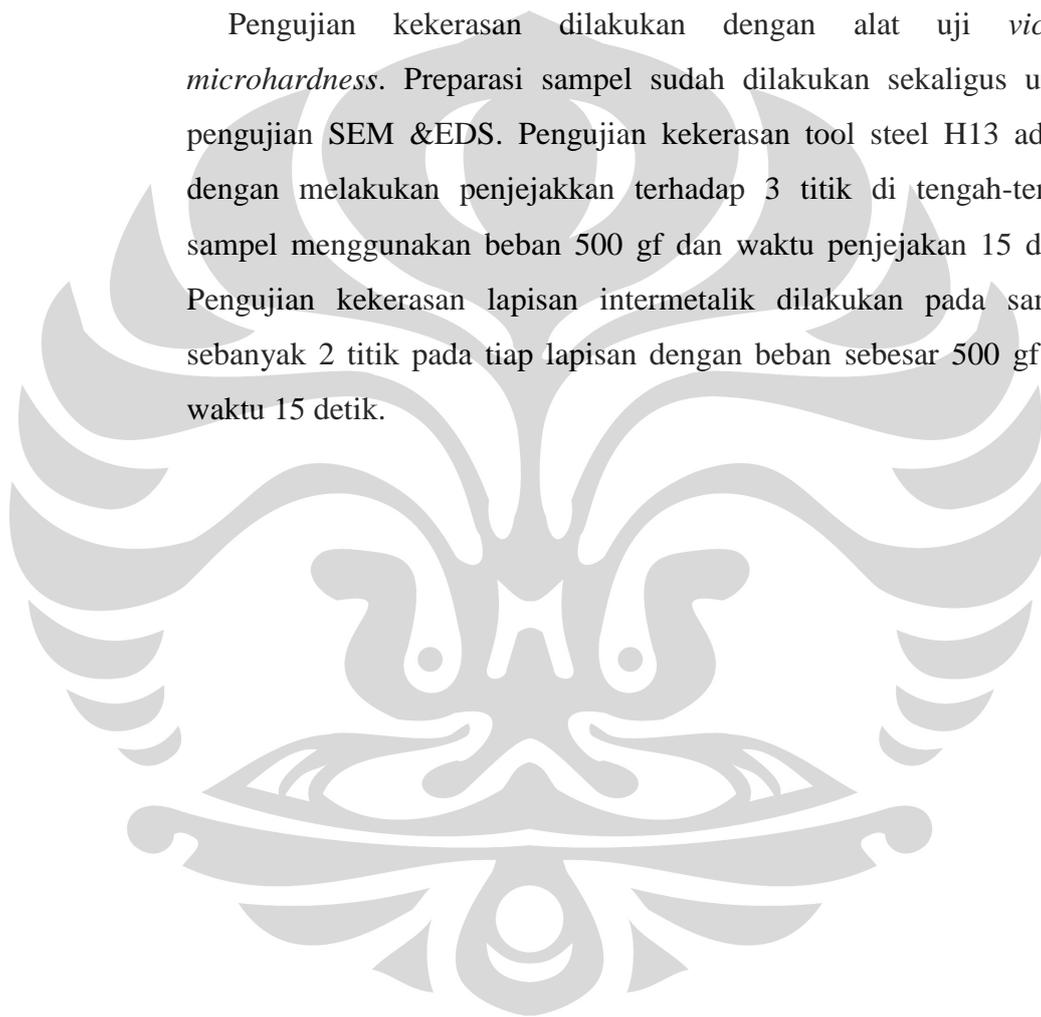
Etsa dilakukan untuk mempermudah proses pengamatan mikrostruktur di bawah mikroskop, baik itu pengamatan terhadap struktur aluminium maupun struktur *tool steel* H13. Zat etsa yang digunakan berbeda untuk pengamatan terhadap kedua struktur tersebut, yaitu HF 0,5 % untuk aluminium diberikan selama 15 detik dan Nital 2-3 % untuk *tool steel* H13 diberikan pada permukaan sampel selama 3 detik. Khusus untuk pengamatan menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM), etsa hanya menggunakan zat etsa Nital 3-4 % selama 5 detik. Etsa dilakukan dengan meneteskan zat etsa pada permukaan kemudian sampel dibersihkan dengan air dan alkohol 70%. Setelah itu, sampel dikeringkan menggunakan *hair dryer*.

### 3.4.2. Pengujian SEM & EDS

Setelah preparasi sampel selesai, dilakukan pengujian terhadap morfologi dan karakteristik dari lapisan-lapisan intermetalik pada sampel. Ketebalan dan unsur-unsur kimia pada setiap lapisan tersebut diidentifikasi dengan *Scanning Electron Microscope* (SEM) dan *Energy-Dispersive Spectroscopy* (EDS) tipe LEO 420.

### **3.4.3. Pengujian Microhardness**

Pengujian kekerasan dilakukan dengan alat uji *vickers microhardness*. Preparasi sampel sudah dilakukan sekaligus untuk pengujian SEM & EDS. Pengujian kekerasan tool steel H13 adalah dengan melakukan penjejakan terhadap 3 titik di tengah-tengah sampel menggunakan beban 500 gf dan waktu penjejakan 15 detik. Pengujian kekerasan lapisan intermetalik dilakukan pada sampel sebanyak 2 titik pada tiap lapisan dengan beban sebesar 500 gf dan waktu 15 detik.

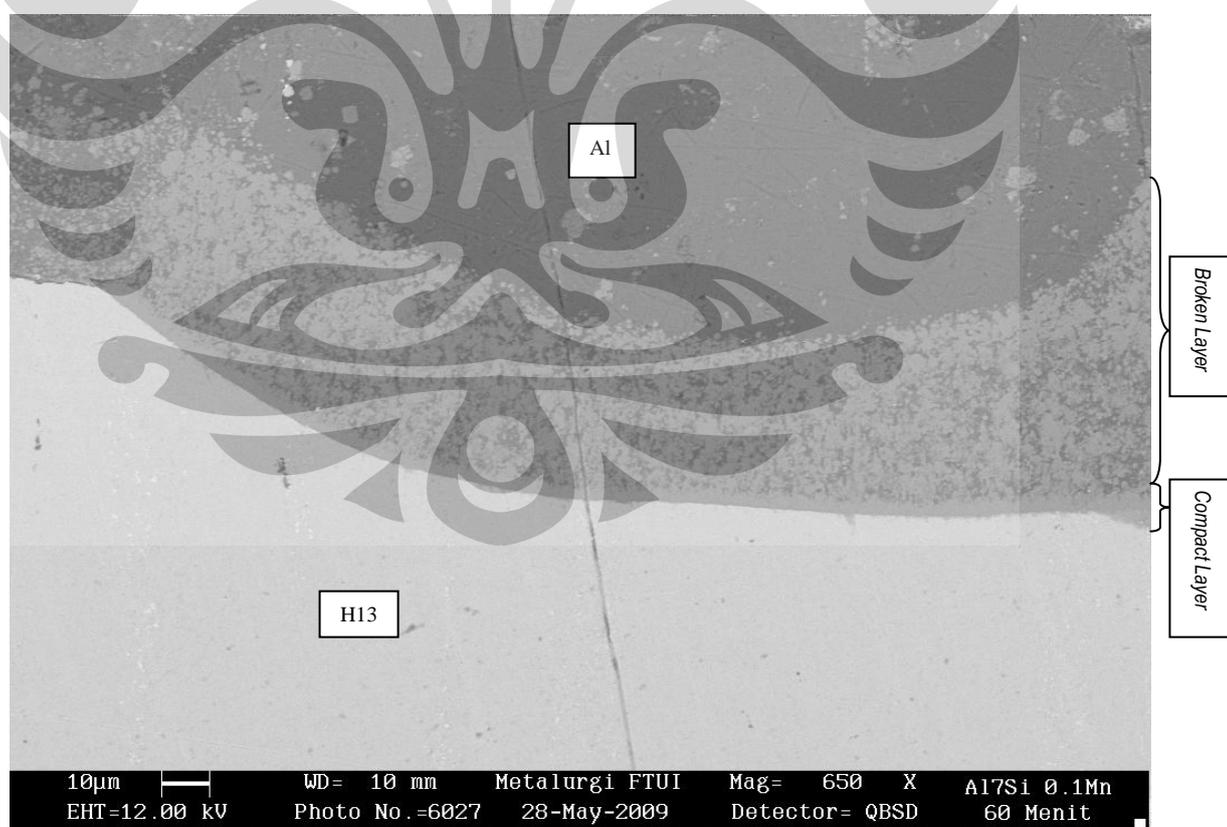


## BAB IV

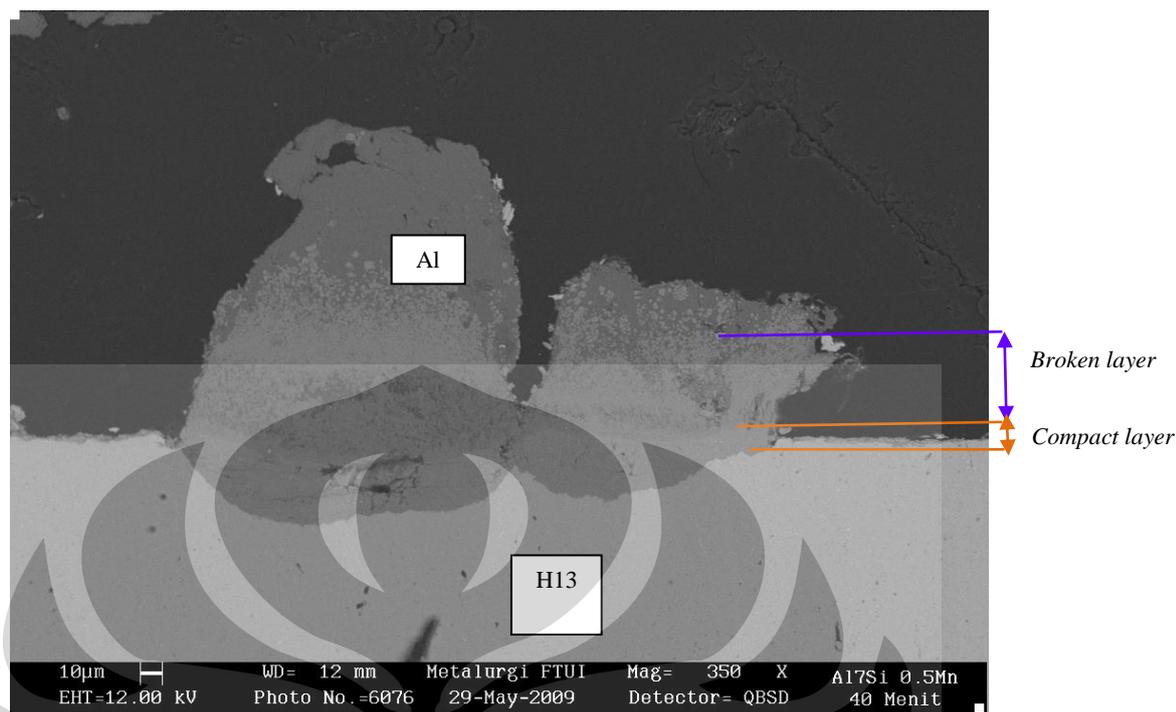
### HASIL ANALISA DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. Morfologi dan Karakteristik Lapisan Intermetalik

Berdasarkan hasil pengamatan dengan menggunakan *Scanning electron microscope* (SEM), pencelupan baja H13 ke dalam paduan Al-7%Si dengan kandungan Mn 0,1, 0,3, 0,5, dan 0,7% Mn selama 20, 40, dan 60 menit menghasilkan dua jenis lapisan yang memiliki karakteristik berbeda dengan H13 maupun aluminium. Lapisan intermetalik pertama yang berbatasan dengan baja H13, merupakan lapisan intermetalik yang berbentuk padat, selanjutnya disebut *compact layer*. Sedangkan lapisan intermetalik kedua yang berbatasan dengan *compact layer* dan aluminium, merupakan lapisan intermetalik semi padat, selanjutnya disebut *broken layer*. Contoh kedua lapisan tersebut yang dihasilkan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2.



**Gambar 4. 1** Lapisan intermetalik yang terbentuk hasil pencelupan baja H13 ke dalam paduan Al7%Si dengan kandungan 0,1%Mn selama 60 menit



**Gambar 4. 2 Lapisan intermetalik yang terbentuk hasil pencelupan baja H13 ke dalam paduan Al7%Si dengan kandungan 0,5%Mn selama 40 menit**

Pada Gambar 4.1, Gambar 4.2, dan Gambar 4.3, memperlihatkan kondisi permukaan baja H13 yang mengalami kontak dengan aluminium cair. Permukaan H13 yang pada awalnya rata mengalami cekungan akibat serangan dari aluminium cair saat dilakukan pencelupan. Selanjutnya, akibat tingginya afinitas besi terhadap aluminium maka terjadi reaksi antara aluminium cair dengan baja H13, dimana atom Fe dari baja H13 dan atom Al dari aluminium cair saling berdifusi satu sama lain membentuk lapisan intermetalik. *Compact layer* merupakan hasil dari reaksi atom Fe dengan atom Al yang membentuk ikatan logam. Sedangkan *broken layer* merupakan hasil reaksi lanjutan yang melibatkan atom Al bereaksi dengan senyawa *compact layer*, dimana ikatan yang terbentuk adalah ikatan *Van Der Waals* yang cenderung lebih lemah dibandingkan ikatan antara atom Al dengan atom Fe. <sup>(29)</sup>

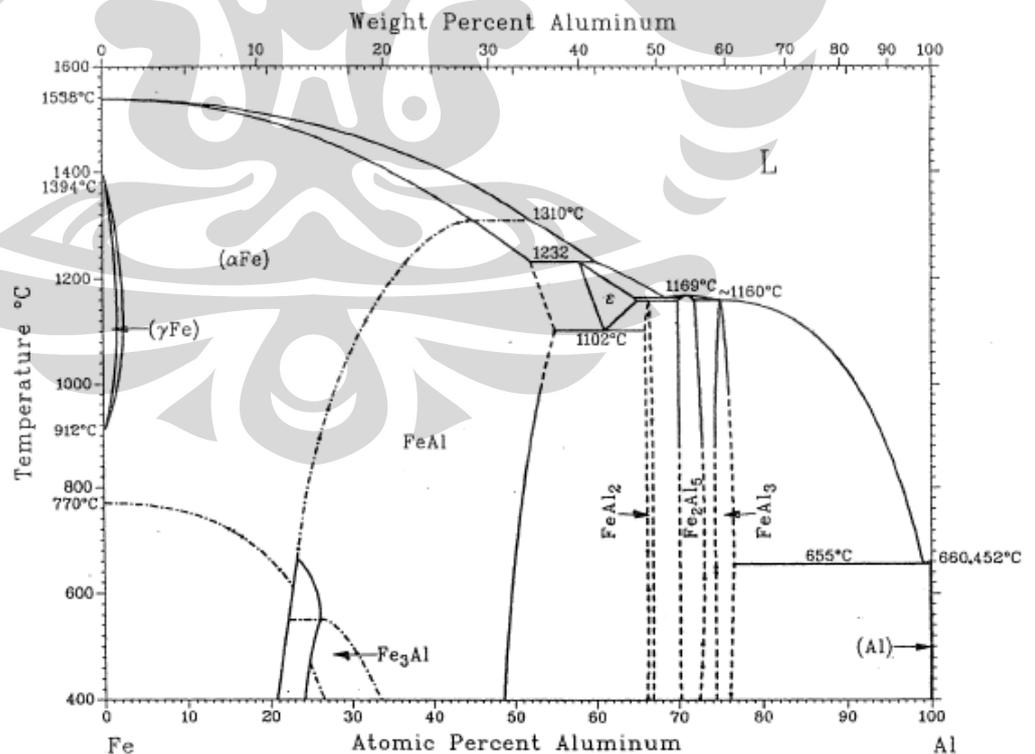
Morfologi pada gambar 4.1 memperlihatkan terdapat 3 penampakan yang berbeda, yaitu daerah berwarna gelap yang terdapat di bagian atas lapisan. Daerah ini merupakan paduan aluminium silikon. Setelah itu terdapat daerah putih gelap yang berada tepat setelah lapisan aluminium silikon yang merupakan lapisan

intermetalik. Sedangkan yang terakhir adalah daerah berwarna putih terang yang merupakan H13. Kombinasi dari ketiga daerah tersebut membentuk daerah yang menyerupai piramida. Gambar 4.2 dan 4.3 juga memperlihatkan daerah piramida yang terbentuk pada lapisan

#### 4.2. Indikasi Fasa pada Lapisan Intermetalik yang Terbentuk

Untuk mendapatkan unsur-unsur di dalam lapisan intermetalik yang terbentuk, dilakukan pengujian *Energy Dispersive Spectrometer* (EDS). Unsur-unsur yang didapat dari pengujian EDS diplot ke dalam gambar 4.4 untuk memperkirakan fasa-fasa yang mungkin terbentuk di dalam paduan Al-7%Si. Ringkasan unsur dan fasa intermetalik yang terbentuk pada paduan Al-7%Si dapat dilihat pada tabel 4.1.

Diagram fasa Fe-Al di bawah menunjukkan kondisi ketika terjadi reaksi antara aluminium cair dengan material baja, terdapat lima jenis lapisan intermetalik yang kemungkinan terbentuk yaitu  $\text{Fe}_3\text{Al}$ ,  $\text{FeAl}$ ,  $\text{FeAl}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{Al}_5$  dan  $\text{FeAl}_3$ .<sup>(30)</sup>



Gambar 4.3 Diagram Fasa Fe-Al<sup>(32)</sup>

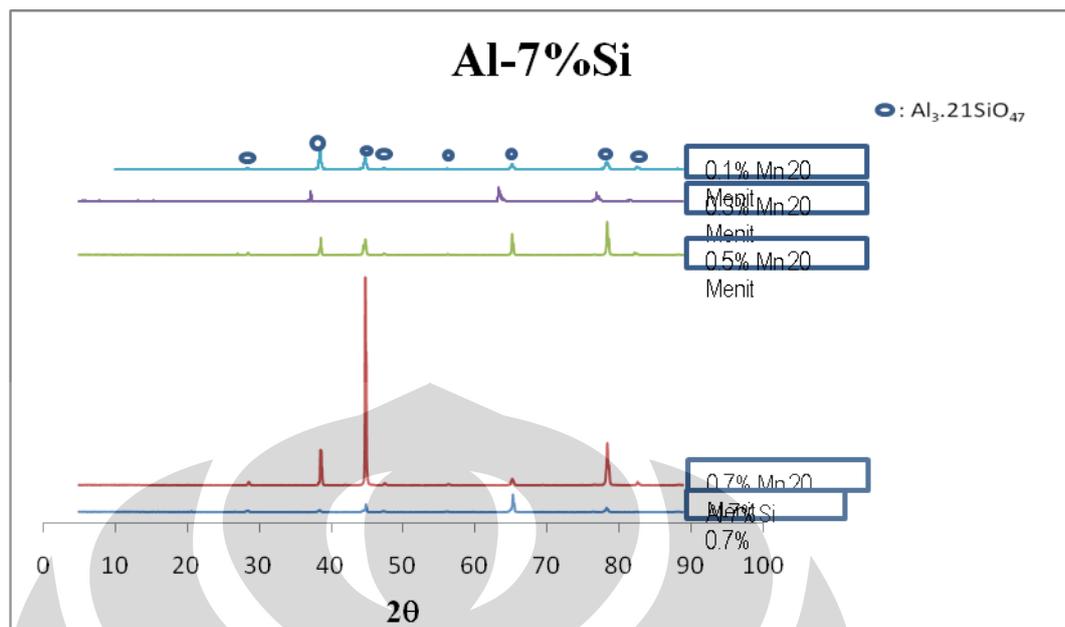
Tabel 4.1 memberikan informasi bahwa pada *compact layer* terbentuk fasa biner AlFe. Walaupun terdapat unsur lain di dalam compact layer, Al dan Fe cukup dominan sehingga keberadaan unsur lain dapat diabaikan. Fasa biner tersebut langsung berbatasan dengan permukaan baja H13 dan merupakan fasa intermetalik yang pertama kali terbentuk setelah terjadinya serangan aluminium cair ke permukaan baja H13.

Kondisi seperti ini sesuai dengan penelitian Dr. Sumanth Shankar yang menyimpulkan bahwa ketika aluminium bereaksi dengan permukaan butir yang lemah, maka pada permukaan lubang banyak terdapat fasa biner Fe-Al yang terbentuk seperti  $\text{Fe}_3\text{Al}$ ,  $\text{FeAl}$ ,  $\text{FeAl}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{Al}_5$  dan  $\text{FeAl}_3$ . Senyawa biner muncul akibat reaksi dari setiap fasa dengan pembaruan aluminium cair secara kontinyu dan difusi Fe keluar dari permukaan baja.<sup>(33)</sup>

Melalui tabel 4.1 kita juga dapat melihat fasa yang terbentuk pada broken layer. Berbeda dengan compact layer yang memiliki fasa biner, pada broken layer terbentuk fasa terner AlFeSi. Fasa ini merupakan fasa kedua yang terbentuk setelah terbentuknya fasa biner AlFe.

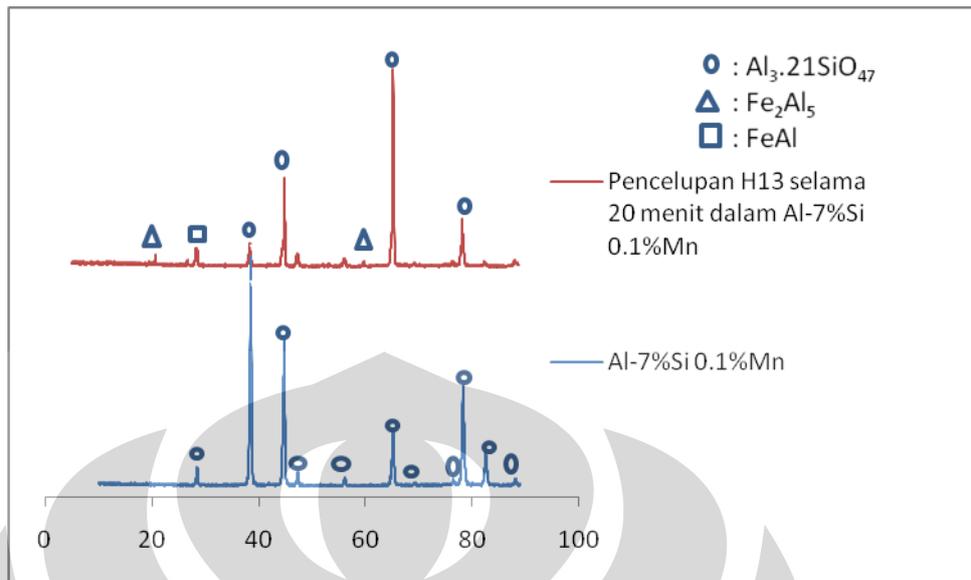
Tabel 4.1 Unsur yang terkandung di dalam lapisan intermetalik paduan Al-7%Si

%Mn	Waktu	Lapisan	%Al	%Si	%Fe	Fasa yang terbentuk
0.1	60	Compact	63.25	5.04	23.45	FeAl <sub>3</sub>
		Broken	61.25	7.28	22.92	AlxFeySiz
	40	Compact 1	49.17	1.61	43.93	FeAl <sub>2</sub>
		Compact 2	58.43	5.76	28.58	Fe <sub>2</sub> Al <sub>5</sub>
		Broken	69.04	4.59	17.89	AlxFeySiz
	20	Compact 1	47.8	2.08	42.82	Fe <sub>2</sub> Al <sub>5</sub>
		Compact 2	52.12	5.51	34.3	Fe <sub>2</sub> Al <sub>5</sub>
		Broken	57.92	5.93	26.52	AlxFeySiz
	0.3	60	Compact	56.75	5.98	28.41
Broken			58.22	6.29	26.74	AlxFeySiz
40		Compact	59.53	5.86	28.02	Fe <sub>2</sub> Al <sub>5</sub>
		Broken	63.47	5.69	22.25	AlxFeySiz
20		Compact 1	54.87	6.32	33.99	Fe <sub>2</sub> Al <sub>5</sub>
		Broken	60.88	5.79	25.79	AlxFeySiz
0.5	60	Compact 1	48.77	1.93	43.05	Fe <sub>2</sub> Al <sub>5</sub>
		Compact 2	55.75	6.13	30.76	Fe <sub>2</sub> Al <sub>5</sub>
		Broken	67.78	5.02	18.59	AlxFeySiz
	40	Compact	48.55	4.36	40.26	Fe <sub>2</sub> Al <sub>5</sub>
		Broken	56.88	10.71	23.32	AlxFeySiz
	20	Compact	44.69	2.88	46.73	FeAl <sub>2</sub>
		Broken	58.08	5.65	28.75	AlxFeySiz
		Broken	63.72	4.69	17.81	AlxFeySiz
0.7	60	Compact	56.88	10.71	23.32	Fe <sub>2</sub> Al <sub>5</sub>
		Broken	65.4	6.12	20.32	AlxFeySiz
	40	Compact	45.1	2.75	43.5	FeAl <sub>2</sub>
		Broken	57.05	5.99	27.87	AlxFeySiz
	20	Compact 1	48.05	1.59	42.97	FeAl <sub>2</sub>
		Compact 2	49	5.64	34.92	Fe <sub>2</sub> Al <sub>5</sub>
		Broken	63.72	4.69	17.81	AlxFeySiz

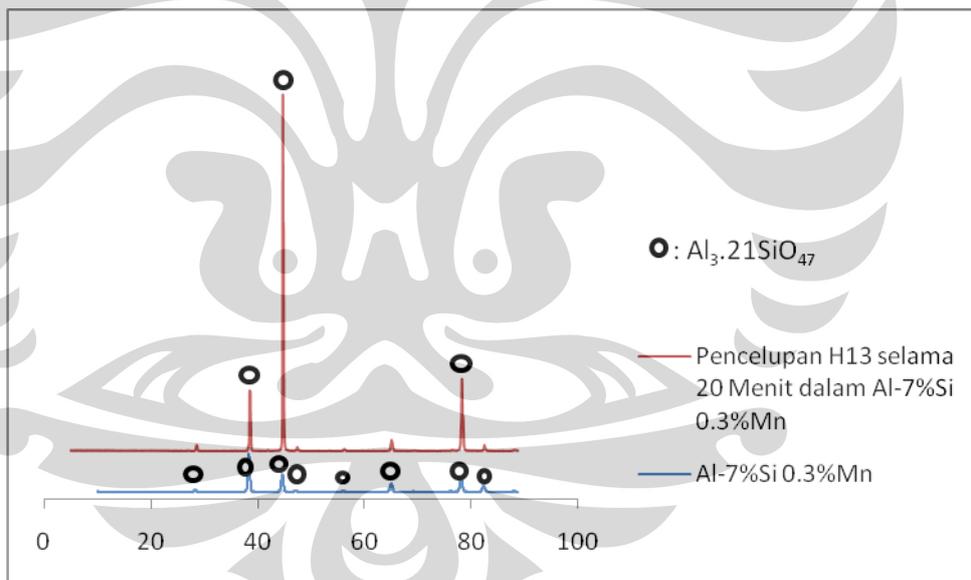


**Gambar 4.4** Data hasil XRD paduan Al-7%Si 0.1%M,0.3%Mn,0.5%Mn, dan 0.7%Mn dengan waktu kontak 20 menit dibandingkan dengan Al-7%Si 0.7%Mn

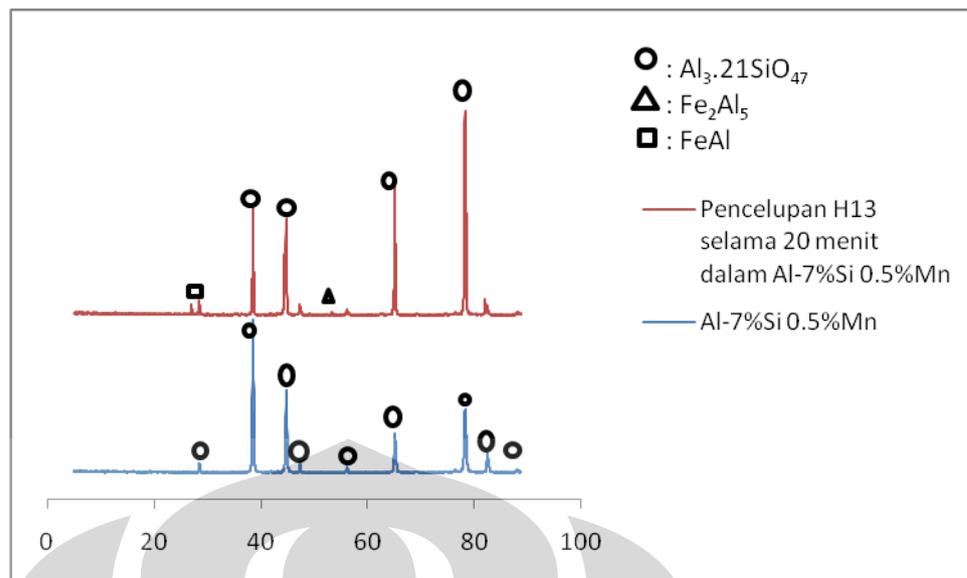
Gambar 4.7 merupakan data hasil *X-Ray Diffraction* (XRD) yang berupa gabungan dari data hasil pencelupan baja H13 pada Al-7%Si dengan kandungan 0.1%, 0.3%, 0.5%, 0.7% Mn selama 20 menit serta data *master alloy* Al-7%Si dengan 0.7%Mn. Berdasarkan pengujian *X-Ray Diffraction* (XRD) pada *master alloy* Al-7%Si 0.7%Mn, semua puncak yang teridentifikasi pada grafik tersebut merupakan senyawa  $Al_3.21SiO_{47}$ . Setelah itu, dilakukan penggabungan data hasil XRD baja H13 yang dicelupkan dalam paduan Al-7%Si dengan kandungan 0.1%, 0.3%, 0.5%, 0.7% Mn dengan waktu 20 menit dengan tujuan untuk mengetahui apakah puncak-puncak tertinggi dari hasil XRD baja H13 tersebut merupakan puncak dari *base* atau *master alloy* Al-7%Si. Berdasarkan analisa dari Gambar 4.7, semua puncak yang teridentifikasi pada data hasil XRD baja H13 yang dilakukan pencelupan merupakan puncak yang juga teridentifikasi pada data hasil pengujian XRD pada Al-7%Si. Hal ini terjadi bukan berarti bahwa tidak terbentuknya lapisan intermetalik pada permukaan baja H13, melainkan akibat rentang ketebalan ukuran lapisan intermetalik yang mencapai skala mikron sehingga menjadi sulit untuk teridentifikasi.



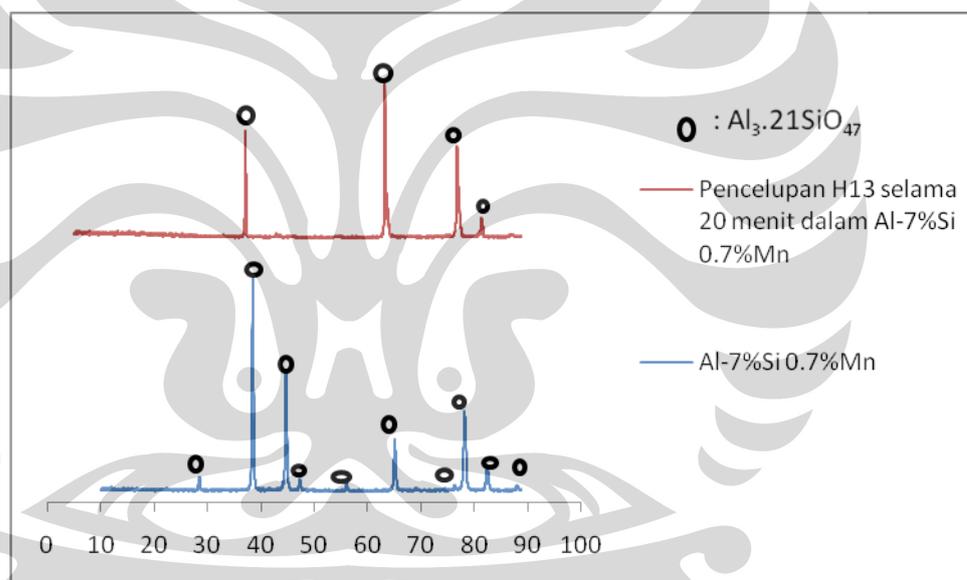
**Gambar 4. 5 Hasil XRD *master alloy* Al-7%Si 0.1%Mn dengan baja H13 hasil pencelupan dalam Al-7%Si 0.1%Mn dengan waktu kontak 20 menit**



**Gambar 4. 6 Hasil XRD *master alloy* Al-7%Si 0.3%Mn dengan baja H13 hasil pencelupan dalam Al-7%Si 0.3%Mn dengan waktu kontak 20 menit**



Gambar 4. 7 Hasil XRD *master alloy* Al-7%Si 0.5%Mn dengan baja H13 hasil pencelupan dalam Al-7%Si 0.5%Mn dengan waktu kontak 20 menit



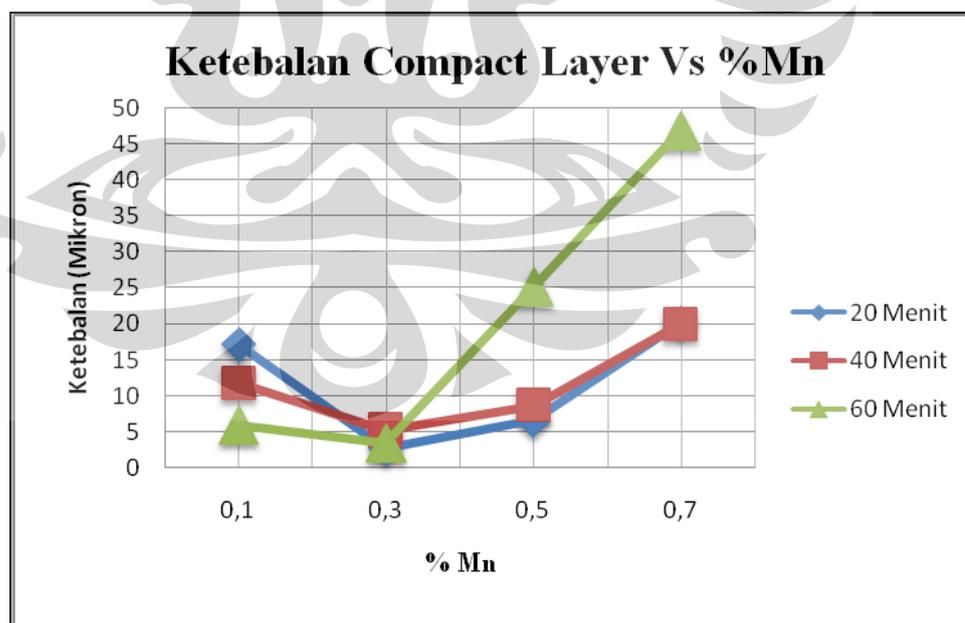
Gambar 4. 8 Hasil XRD *master alloy* Al-7%Si 0.7%Mn dengan baja H13 hasil pencelupan dalam Al-7%Si 0.7%Mn dengan waktu kontak 20 menit

Pada gambar 4.5 dan gambar 4.7 teridentifikasi adanya fasa intermetalik FeAl dan  $\text{Fe}_2\text{Al}_5$  pada baja H13 hasil pencelupan ke dalam Al-7%Si yang mengandung 0.1%Mn dan 0.3%Mn. Sedangkan pada gambar 4.6 dan Gambar 4.8, tidak teridentifikasi puncak hasil pengujian baja H13 hasil pencelupan selain dari puncak *master alloy* Al-7%Si 0.3%Mn, Al-7%Si 0.7%Mn. Hal ini dapat terjadi karena rentang ketebalan ukuran lapisan

intermetalik mencapai skala mikron sehingga menjadi sulit teridentifikasi. Berdasarkan grafik tersebut, fasa-fasa intermetalik yang terbentuk dalam penelitian ini adalah FeAl dan Fe<sub>2</sub>Al<sub>5</sub>. Lapisan intermetalik hasil pencelupan dalam Al-7%Si dan fasa Fe<sub>2</sub>Al<sub>5</sub> mendominasi dalam penelitian ini.

#### 4.3. Pengaruh Unsur Mangan dan Waktu Kontak Terhadap Ketebalan Lapisan Intermetalik

Ketebalan lapisan intermetalik yang terbentuk pada sampel baja H13 hasil pencelupan ke dalam paduan Al-7%Si dihitung menggunakan *Scanning electron microscope* (SEM). Gambar 4.9 dan Gambar 4.10 merupakan gambar hasil percobaan pencelupan baja H13 pada paduan Al-7%Si dengan variasi penambahan Mn dan waktu kontak yang berbeda. Berdasarkan grafik-grafik tersebut diperoleh variasi ketebalan antara *compact layer* dan *broken layer*. Secara umum terlihat bahwa *compact layer* memiliki ketebalan yang lebih rendah dibandingkan dengan *broken layer*. Hal tersebut dapat terjadi karena senyawa pada *compact layer* memiliki ikatan yang lebih kuat dibandingkan dengan *broken layer* yang memiliki ikatan cenderung lebih renggang.

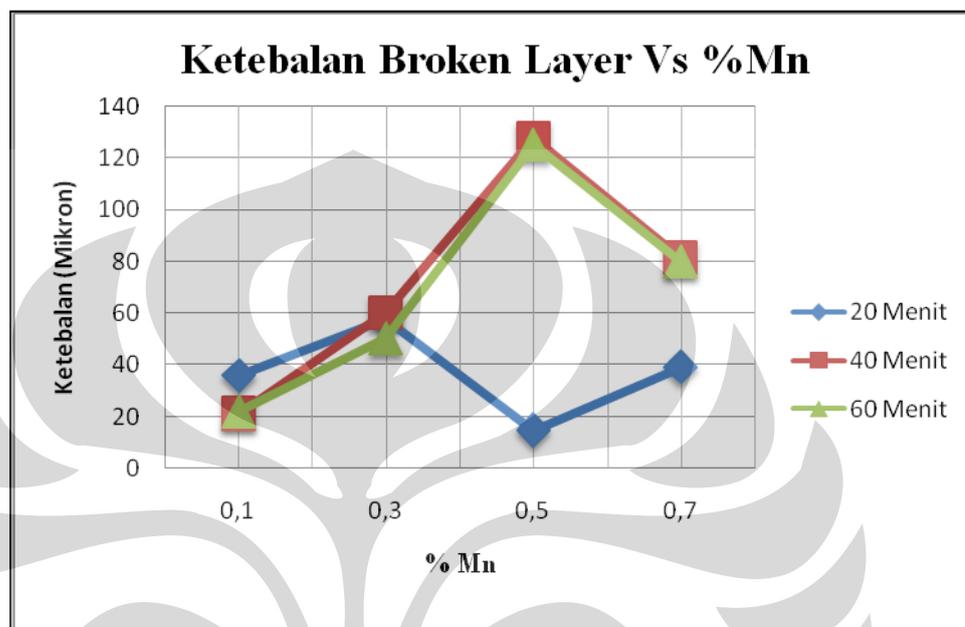


Gambar 4. 9 Data hasil penelitian pengaruh unsur Mn terhadap ketebalan *compact layer* pada paduan Al-7%Si dalam fungsi waktu

Berdasarkan gambar 4.9 diketahui tentang pengaruh penambahan Mn dalam Al-7%Si terhadap ketebalan *compact layer*. Seperti yang terlihat pada grafik tersebut, kurva pertumbuhan *compact layer* berbentuk parabolik, mengindikasikan bahwa terdapat dua proses yang terjadi pada proses *die soldering*, yaitu proses pertumbuhan lapisan intermetalik dan proses pelarutan lapisan intermetalik. Berdasarkan hasil penelitian, terlihat bahwa pada penambahan 0,3% Mn dalam Al-7%Si menghasilkan ketebalan *compact layer* yang cenderung turun dibandingkan ketebalan *compact layer* hasil penambahan 0,1% Mn, kemudian ketebalan *compact layer* terus meningkat kembali pada penambahan 0,5% Mn dan 0,7%Mn. Sehingga dapat dikatakan bahwa penambahan 0,1% hingga 0,3% Mn pada Al-7%Si merupakan kondisi optimum untuk menurunkan ketebalan *compact layer* dengan titik ketebalan *compact layer* terendah adalah pada penambahan 0,3%Mn untuk waktu kontak 20, 40, dan 60 menit. Hal ini terjadi karena pada kondisi penambahan 0,3%Mn, *driving force* untuk terjadinya pertumbuhan lapisan intermetalik cenderung rendah, sedangkan *driving force* untuk terjadinya pelarutan cenderung mendominasi.

Gambar 4.9 juga memperlihatkan bahwa pada kadar 0,1%, 0,3%, 0,5%, dan 0,7% Mn yang ditambahkan ke dalam paduan Al-7%Si, pertumbuhan *compact layer* pada permukaan H13 juga dipengaruhi oleh waktu kontak antara baja H13 dengan aluminium cair. Berdasarkan hasil penelitian, secara umum pertumbuhan *compact layer* pada H13 dalam rentang waktu kontak 20, 40, dan 60 menit memperlihatkan suatu trend linier dimana tingkat ketebalan *compact layer* dari yang tertinggi hingga terendah berturut-turut adalah pada kondisi pencelupan baja H13 ke dalam Al-7%Si dengan waktu kontak 60 menit, 40 menit, kemudian 20 menit. Sehingga, dengan kata lain pada proses pencelupan baja H13 ke dalam paduan Al-7%Si yang mengandung 0,1%, 0,3%, 0,5%, dan 0,7% Mn menghasilkan penurunan ketebalan *compact layer* seiring dengan menurunnya waktu kontak baja H13 dengan aluminium cair. Hal ini disebabkan semakin meningkatnya waktu kontak antara aluminium cair dengan material cetakan H13 maka aktivitas atom permukaan akan semakin

meningkat, kemudian atom Al dari aluminium cair dan atom Fe dari baja H13 memiliki kesempatan yang lebih lama untuk saling berdifusi dan bereaksi membentuk *compact layer* sehingga *compact layer* yang terbentuk semakin tebal.

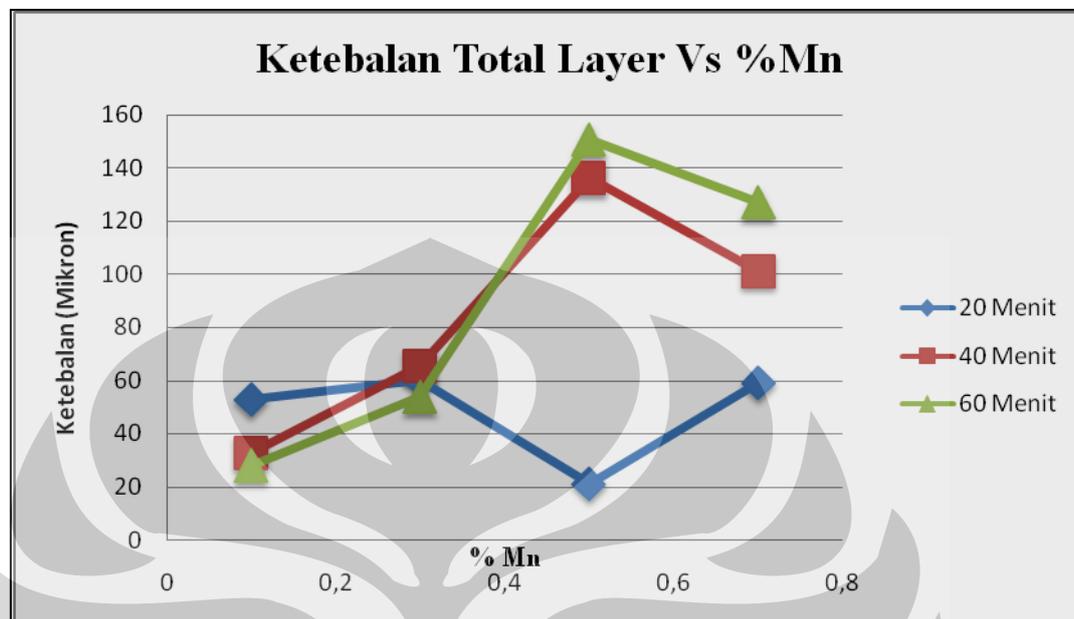


**Gambar 4. 10 Data hasil penelitian pengaruh unsur Mn terhadap ketebalan broken layer pada paduan Al-7%Si dalam fungsi waktu**

Gambar 4.10 memperlihatkan hubungan antara penambahan Mn dalam paduan Al-7%Si terhadap ketebalan *broken layer*. Seperti yang terlihat pada Gambar 4.13, penambahan Mn pada waktu 20 menit menunjukkan tren yang tidak teratur. Pada saat penambahan dari 0,1% Mn, ketebalan broken layer akan mengalami peningkatan dan ketebalan menurun pada penambahan 0,3% Mn. Ketebalan *broken layer* akan mengalami peningkatan kembali setelah penambahan 0,5% Mn dan 0,7 % Mn.

Penambahan Mn pada waktu kontak 40 dan 60 menit menunjukkan kondisi yang hampir sama dimana *broken layer* mengalami peningkatan ketebalan dari penambahan 0,1, 0,3, hingga 0,5% Mn. Ketebalan broken layer akan menurun setelah penambahan 0,5 % Mn dan mengalami kondisi ketebalan paling rendah pada kondisi penambahan 0,7 % Mn. Hal ini memperlihatkan bahwa pengaruh Mn terhadap penurunan ketebalan *broken*

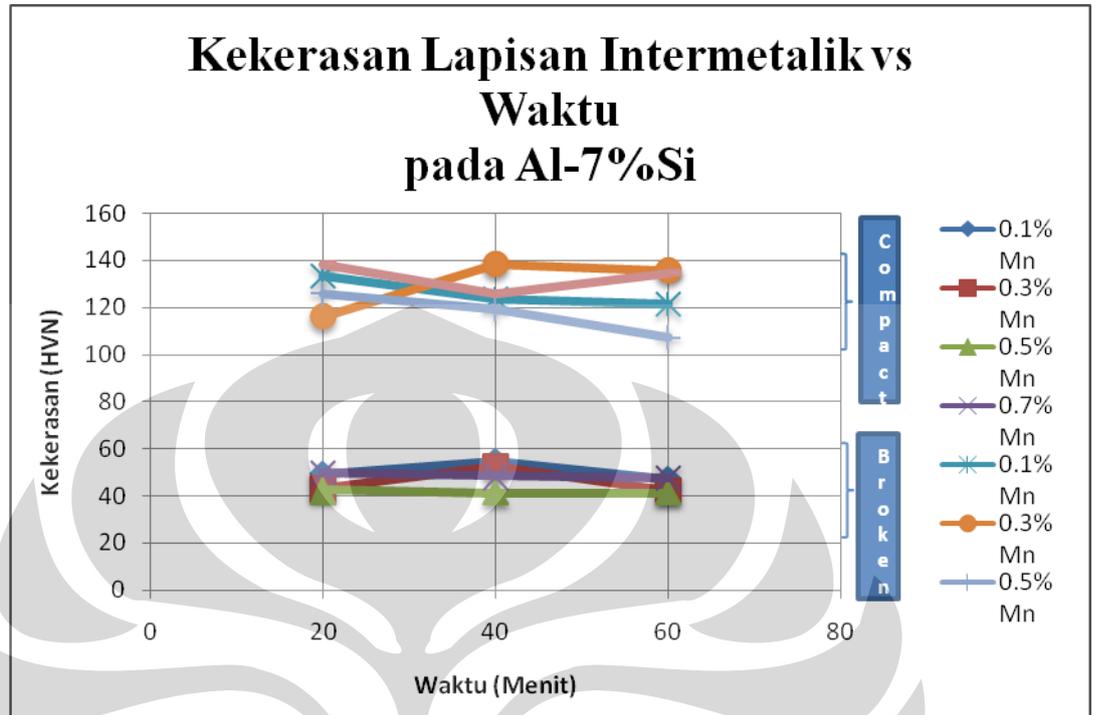
layer baru terlihat signifikan pada waktu kontak yang relatif lama yaitu 40 dan 60 menit.



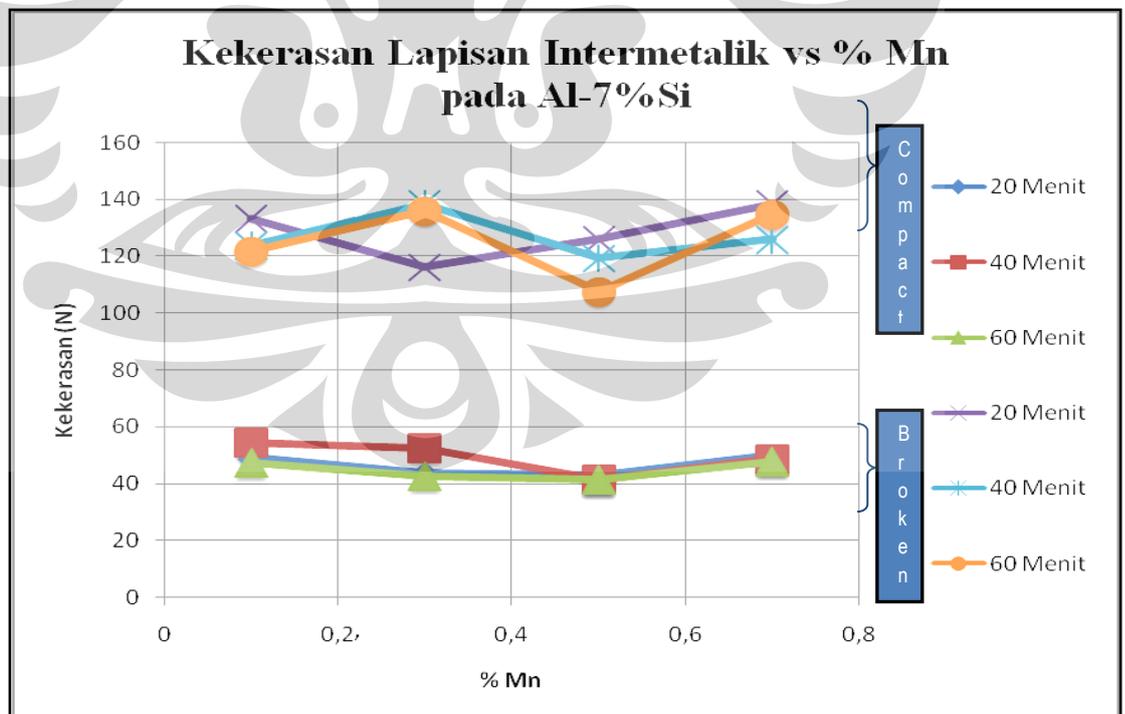
**Gambar 4. 11 Data hasil penelitian pengaruh unsur Mn terhadap total ketebalan lapisan intermetalik pada paduan Al-7%Si**

Gambar 4.11 memperlihatkan hubungan antara penambahan Mn dalam paduan Al-7%Si terhadap total ketebalan lapisan intermetalik. Berdasarkan gambar tersebut, terlihat bahwa pada penambahan Mn dengan waktu kontak 20 menit, belum terlihat adanya pengaruh atau hubungan yang jelas antara penambahan Mn dengan ketebalan total lapisan intermetalik. Sedangkan pada penambahan Mn dengan waktu kontak 40 dan 60 menit, ketebalan lapisan total intermetalik bertambah secara konstan hingga penambahan Mn sebesar 0,5%. Setelah penambahan Mn sebesar 0,5%., ketebalan total lapisan intermetalik mengalami penurunan dan menyentuh titik optimal pada penambahan 0,7% Mn. Hal ini dapat menjelaskan bahwa penambahan Mn baru terlihat signifikan pada waktu kontak yang relative lama yaitu 40 dan 60 menit.

#### 4.4. Pengaruh Unsur Mangan Terhadap Kekerasan Lapisan Intermetalik



Gambar 4.12 Data hasil penelitian pengaruh waktu kontak terhadap kekerasan lapisan intermetalik pada paduan Al-7%Si



Gambar 4.13 Data hasil penelitian pengaruh %Mn terhadap kekerasan lapisan intermetalik pada paduan Al-7%Si

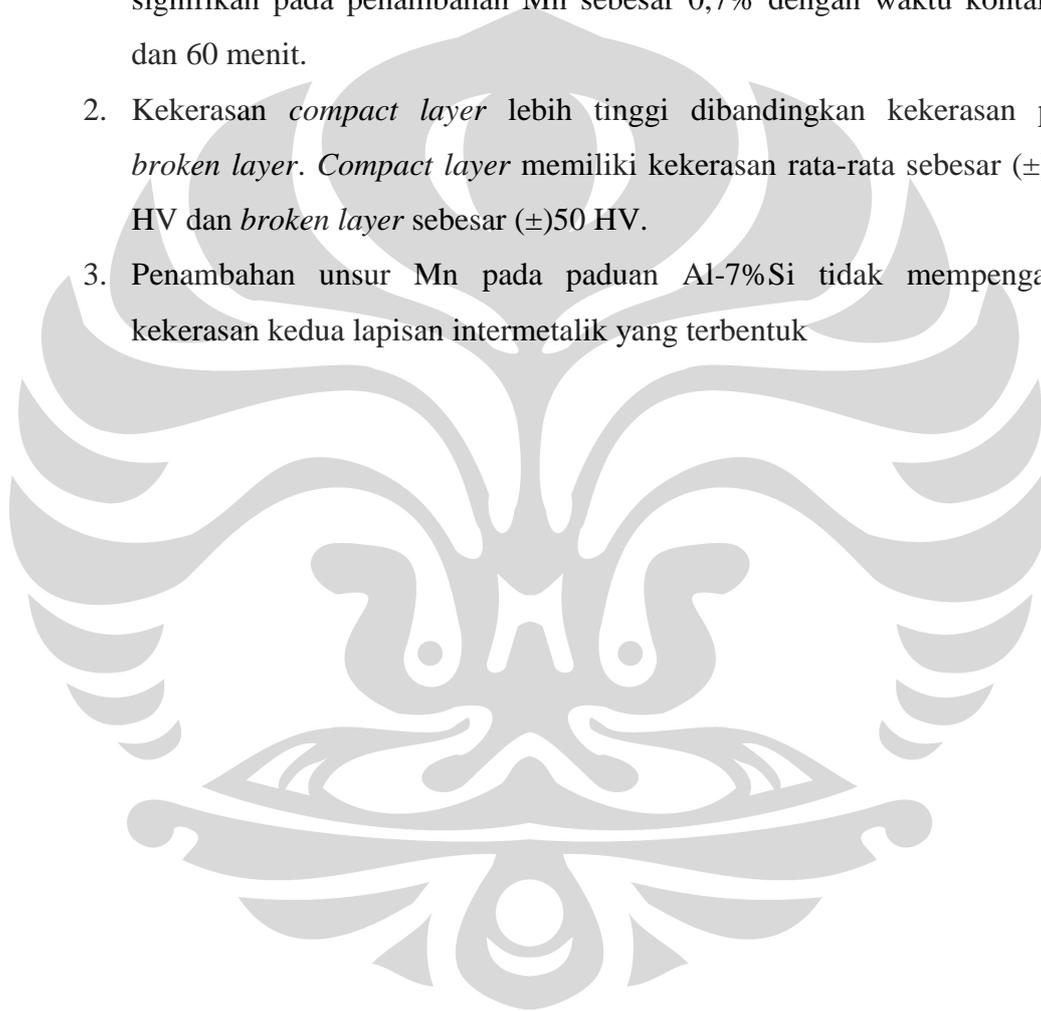
Gambar 4.12 dan 4.13 menunjukkan distribusi kekerasan untuk setiap penambahan 0.1%, 0.3%, 0.5%, dan 0.7% Mn ke dalam paduan Al-7%Si. Pada grafik di atas terlihat bahwa *compact layer* cenderung lebih keras dibandingkan dengan *broken layer*, dimana rata-rata kekerasan untuk *compact layer* adalah 117 HVN dan *broken layer* 50 HVN. Hal ini berkaitan dengan difusi besarnya Fe kedalam lapisan tersebut. *Compact layer* merupakan lapisan yang terbentuk pertama kali hasil difusi atom Fe dari H13 dan atom Al dari aluminium cair, dimana koefisien difusi dari besi menuju aluminium, lebih besar dari koefisien difusi aluminium menuju besi<sup>[33]</sup>. Sehingga, atom Fe dari baja H13 lebih banyak berdifusi membentuk *compact layer* dibandingkan atom Al dari aluminium cair. Kemudian, *broken layer* merupakan reaksi lanjutan yang menyebabkan terjadinya reaksi antara *compact layer* (fasa dominan adalah  $Fe_2Al_5$ ) dan aluminium cair.

Kandungan unsur Fe dalam *compact layer* cenderung lebih banyak dibandingkan dengan *compact layer*, sedangkan kandungan unsur Al dalam *broken layer* lebih banyak dibandingkan dalam *compact layer*. Berdasarkan hal tersebut, maka dapat disimpulkan bahwa *compact layer* akan cenderung memiliki kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan dengan *broken layer*.

Berdasarkan Gambar 4.12 dan Gambar 4.13 diatas, secara keseluruhan dapat dilihat hubungan antara kekerasan dengan penambahan unsur Mn dalam paduan Al-7%Si. Data distribusi kekerasan yang didapat dalam grafik tersebut cenderung konstan, sehingga berdasarkan hasil penelitian tidak terlihat adanya pengaruh penambahan unsur Mn pada Al-7%Si terhadap kekerasan lapisan intermetalik, baik pada *compact* atau *broken layer*. Kekerasan berhubungan dengan pengaruh kadar Al dan Fe yang terkandung pada setiap lapisan intermetalik. Semakin besar kadar Al dan semakin sedikit kadar Fe yang terkandung pada lapisan tersebut maka kekerasannya akan semakin menurun. Sebaliknya jika semakin tinggi kadar Fe dan semakin rendah kadar Al maka kekerasan lapisan tersebut akan semakin meningkat. Sehingga penambahan unsur Mn tidak berpengaruh terhadap kekerasan pada lapisan intermetalik.

## BAB V KESIMPULAN

1. Penambahan unsur Mn mempengaruhi ketebalan *compact layer* dan ketebalan *broken layer*. Pada *compact layer*, penurunan ketebalan terlihat optimal pada penambahan Mn sebesar 0,3% dengan waktu kontak 20, 40, dan 60 menit. Sedangkan pada *broken layer*, penurunan ketebalan terlihat signifikan pada penambahan Mn sebesar 0,7% dengan waktu kontak 40 dan 60 menit.
2. Kekerasan *compact layer* lebih tinggi dibandingkan kekerasan pada *broken layer*. *Compact layer* memiliki kekerasan rata-rata sebesar ( $\pm$ )117 HV dan *broken layer* sebesar ( $\pm$ )50 HV.
3. Penambahan unsur Mn pada paduan Al-7%Si tidak mempengaruhi kekerasan kedua lapisan intermetalik yang terbentuk



## DAFTAR REFERENSI

- (1) Yulong Zhu, *et al.*, "Evaluation of soldering, washout and thermal fatigue resistance of advanced metal materials for aluminum die-casting dies," *Materials Science and Engineering A*, 379 (2004), hal. 420–431
- (2) Makhlouf M. Makhlouf , Diran Apelian, "Casting Characteristics of Aluminum Die Casting Alloys," Laporan Akhir Pusat Riset Institut Politeknik Worcester-Massachusetts, 2002, hal.1-46
- (3) B.H.Amstead, *et al.*, *Teknologi Mekanik, terj.* Sriati Djaprie (Jakarta: Erlangga,1991), hal. 110
- (4) H, Ikhwan; O, Eko; B.S, Dede. *Laporan kerja Praktek PT. Yamaha* Departemen Metalurgi dan Material.2006, hal. 8.
- (5) <http://www.azom.com/details.asp?ArticleID=1392> diakses 29 Mei 2007
- (6) <http://www.azom.com/details.asp?ArticleID=1392> diakses 30 Mei 2007
- (7) Lennart Backerud, Guocai Cgai dan Jarmo Tamminen. *Solidification Characteristics of Aluminum Alloys Volume 2 Foundry Alloys*. Department of Structural Chemistry Arrhenius Laboratory University of Stockholm.1990, hal. 71.
- (8) X. P. Niu, B. H. Hu, S. W. Hao, "Effect of iron on the microstructure and mechanical properties of Al diecasting alloys", Gintic Institute of Manufacturing Technology, 71 Nanyang Drive, Singapore ; 15 Juli 1998
- (9) Die-casting, diakses tanggal 17 Oktober 2009  
[http://www.efunda.com/processes/metal\\_processing/die\\_casting.cfm](http://www.efunda.com/processes/metal_processing/die_casting.cfm)
- (10) Hot-Chamber, diakses tanggal 19 Oktober 2009  
[http://www.diecastchina.com/Die\\_Casting\\_Process.html](http://www.diecastchina.com/Die_Casting_Process.html)
- (11) Cold Chamber, diakses tanggal 19 Oktober 2009  
<http://www.mse.eng.ohio-state.edu/~moble/diecasting/simulation/simulation1.html>
- (12) Robert Ian Mackay. "Quantification of Iron in AlSi Foundry Alloys via Thermal Analysis." Tesis, Program Magister Fakultas Pertambangan & Metalurgi Univeritas McGill, Kanada, 1996, hal.6.
- (13) Aluminium Casting Techniques - Sand Casting and Die Casting Processes diakses tanggal 23 Oktober 2009

<http://www.azom.com/details.asp?ArticleID=1392>

(14) “Premium H13” yang diakses tanggal 28 Mei 2007

<http://www.imsteel.com/search.htm>

(15) <http://www.imsteel.com/search.htm>

diakses tanggal 28 Mei 2007

- (16) ASM International. ASM Handbook Volume 2, “Properties and Selection of Non-Ferrous Alloys and Special Purpose Material”. (Ohio: American Society for Metals, 1992).
- (17) Gruzleski, Jhon E, dan Closset, Bernard M. The Treatment of Liquid Aluminium-Silicon Alloys. (Illinois : Americans Foundrymen’s Society Inc, 1990)
- (18) Sumanth Shankar, D. A. (2002). Mechanism of The *Interface* Reaction Between Molten Aluminum Alloy and Tool Steel. *Metallurgical and Material Transactions* .
- (19) [www.wpi.edu/academics/research/ACRC/research/diesoldering.html](http://www.wpi.edu/academics/research/ACRC/research/diesoldering.html). (2002). Retrieved July 2007, from [www.wpi.edu/academics/research/ACRC/research/diesoldering.html](http://www.wpi.edu/academics/research/ACRC/research/diesoldering.html)
- (20) Kuijpers, N.C.W. Intermetallic phase transformations during homogenisation Al alloys literature review, 2000, hal. 8-10
- (21) Zhu, Hanliang dan Jingjie Guo, Jun Jia. Experimental study and theoretical analysis on die soldering in aluminum die casting. Elsevier Science B.V. New Zealand: 2002, hal. 4-5
- (22) Winkelman, G. B, Z. W. Chen, D. H. St John, dan M. Z. Jahedi. Morphological features of interfacial intermetallics and interfacial reaction rate in Al-11Si-2.5Cu-(0.15/0.60)Fe cast alloy/die steel couples. Kluwer Academic Publishers. 2004
- (23) J Joshi, V dan A. Srivastava, R. Shivpuri. Intermetallic formation and its relation to interface mass loss and tribology in die casting dies. (Elsevier B.V. New Zealand: 2003), hal. 2233.
- (24) Hou Xiaoxia, *et al.*, ” *Effect of Si on The Interaction between Die Casting and Aluminium Alloy*,” Material Letters, 2004, hal 3424-3427
- (25) Sumanth Shankar, Diran Apelian. (1997). *Die Soldering-A Metallurgical Analysis of The Molten Metal/Die Interface REaction*. *19th nternational Die Csting Congress*. NADCA Transaction
- (26) <http://www.h13.co.uk/> diakses tanggal 28 November 2009

- (27) Robert Ian Mackay. "Quantification Of Iron In AlSi Foundry Alloys Via Thermal Analysis". Department of Mining & Metallurgical Engineering McGa University. Canada: 1996.
- (28) John E Gruzleski, dan Closset, Bernard M. "The Treatment of Liquid Aluminium-Silicon Alloys," Americans Foundrymen's Society Inc, USA, 1990.
- (29) X. Fang, G. Shao, Y.Q. Liu, Z. Fan, "Effects of intensive forced melt convection on the mechanical properties of Fe-containing Al-Si based alloys", Brunel University, Uxbridge, Middlesex, UB8 3PH, UK.
- (30) Sumanth Shankar, Diran Apelian. (1997). *Die Soldering-A Metallurgical Analysis of The Molten Metal/Die Interface REaction. 19th nternational Die Csting Congress*. NADCA Transaction
- (31) L Lu and A K Dahle, "Iron-Rich Intermetallic Phases and Their Role in Casting Defect Formation in Hypoeutectic Al-Si Alloys", Metallurgical and Materials Transactions; Mid-Mar 2005; 36A, 3A; ProQuest Science Journals hal: 819.
- (32) G. B Winkelman., Z. W. Chen D. H. St. John, M. Z. Jahedi "Morphological features of interfacial intermetallics and interfacial reaction rate in Al-11Si- 2.5Cu-(0.15/0.60)Fe cast alloy/die steel couples," 2004 Kluwer Academic Publishers:2004
- (33) Y.L Chu, P. C. (1993). *Soldering Phenomenon in Aluminum Die Casting : Possible Causes and Cures. Transactions Rosemon Illinox* , 360-371.

## Lampiran. 1

**Tabel. 1** Ketebalan *compact layer* dan *Broken layer* hasil pencelupan baja H13 pada paduan Al-7%Si dengan penambahan 0.1%, 0.3%, 0.5%, dan 0.7% Mn selama 20, 40, dan 60 menit

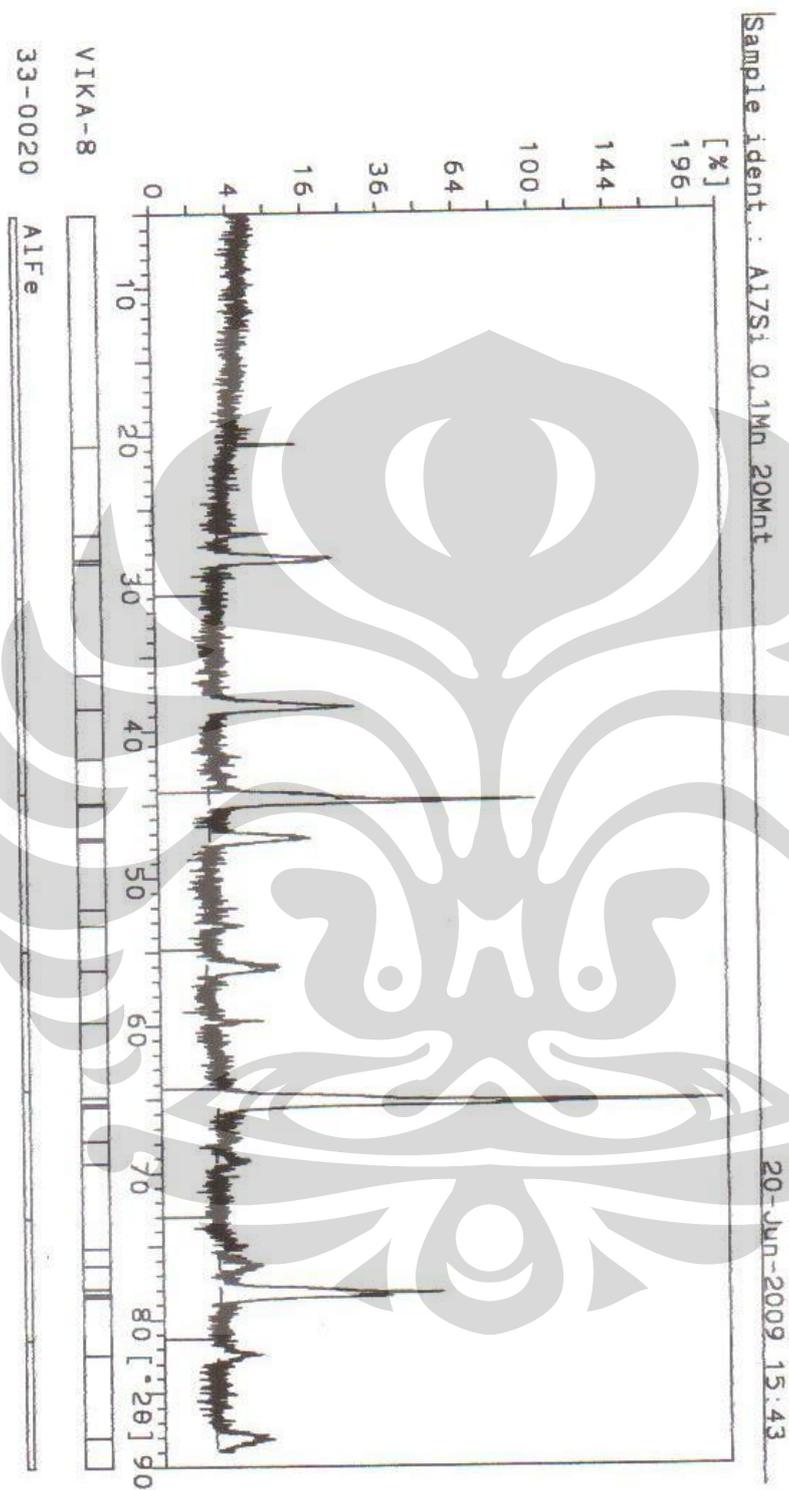
% Mn	Waktu (menit)	Compact I (mikron)	Compact II (mikron)	Total Compact (mikron)	Broken (mikron)	Total Layer (mikron)
0.1	20	7.64	9.45	17.09	35.67	52.76
	40	6.95	4.78	11.73	20.97	32.7
	60	5.93		5.93	22.01	27.94
0.3	20	2.74		2.74	57.44	60.18
	40	5.29		5.29	59.9	65.19
	60	3.42		3.42	50.26	53.68
0.5	20	6.56		6.56	14.6	21.16
	40	8.67		8.67	127.42	136.09
	60	20.74	4.44	25.18	125.3	150.48
0.7	20	20.1		20.1	38.94	59.04
	40	19.89		19.89	81.28	101.17
	60	42.96	3.81	46.77	80.01	126.78

## Lampiran. 2

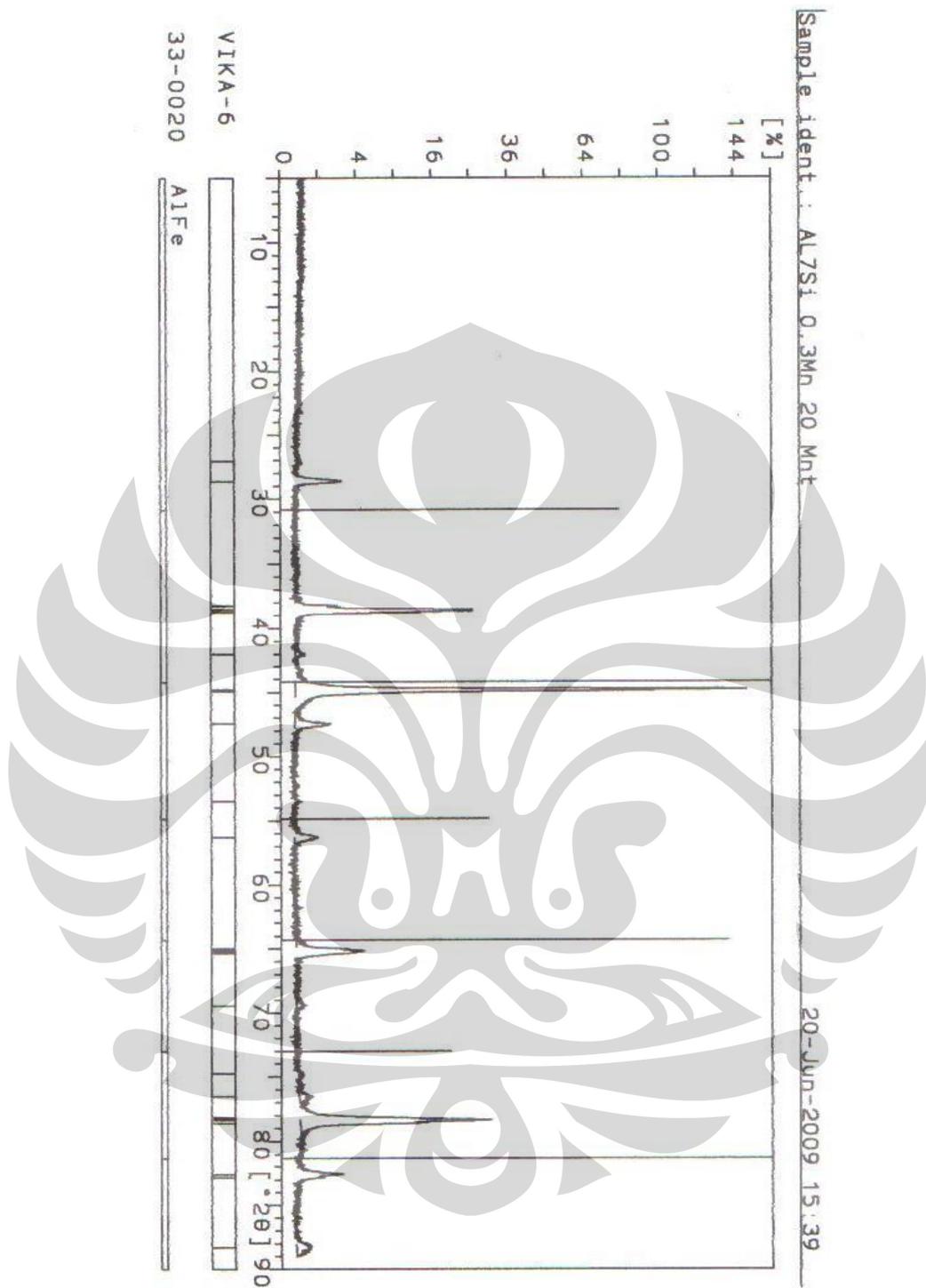
**Tabel. 2 Kekerasan *compact layer* dan *broken layer* hasil pencelupan baja H13 pada paduan Al-7%Si dengan penambahan 0.1%, 0.3%, 0.5%, dan 0.7% Mn selama 20, 40, dan 60 menit**

%Mn	Waktu	Lapisan	x1	y1	x2	y2	Dmean	HVN
0.1	20	Broken	40	42	44	48	43.5	49
		Compact	26	25.5	27.5	26.5	26.375	133
	40	Broken	40	38.5	39	47.5	41.25	54
		Compact	26	26.5	28	29	27.375	124
	60	Broken	37	42	49	49.5	44.375	47
		Compact	25	25.5	29	31	27.625	121
0.3	20	Broken	45.5	49	44	46	46.125	44
		Compact	26.5	29.5	27	30	28.25	116
	40	Broken	39.5	42.5	42	44	42	53
		Compact	26	25	27	25.5	25.875	138
	60	Broken	46	48	45.5	47.5	46.75	42
		Compact	26	28	25	25.5	26.125	136
0.5	20	Broken	45.5	48.5	44	48	46.5	43
		Compact	25.5	28	28.5	26.5	27.125	126
	40	Broken	47.5	48.5	46	47.5	47.375	41
		Compact	28	28	27.5	28	27.875	119
	60	Broken	47.5	48.5	46	47.5	47.375	41
		Compact	29	28.5	30	30	29.375	107
0.7	20	Broken	42.5	41	44.5	44.5	43.125	50
		Compact	26	25.5	26.5	25.5	25.875	138
	40	Broken	44	45	42.5	43	43.625	49
		Compact	27	28.5	25	28	27.125	126
	60	Broken	38	46	45	47.5	44.125	48
		Compact	25.5	26	25.5	28	26.25	135

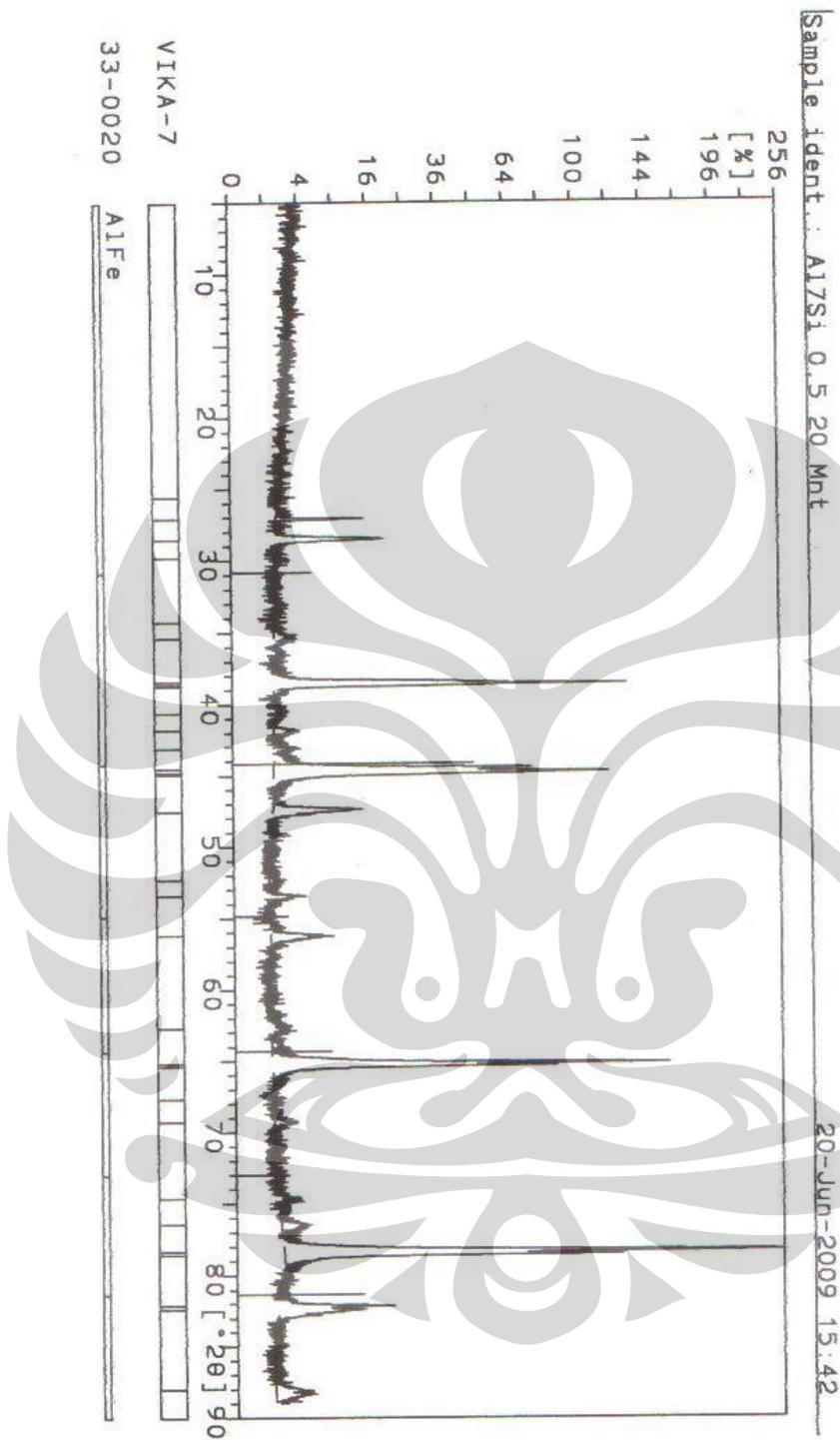
## Lampiran. 3



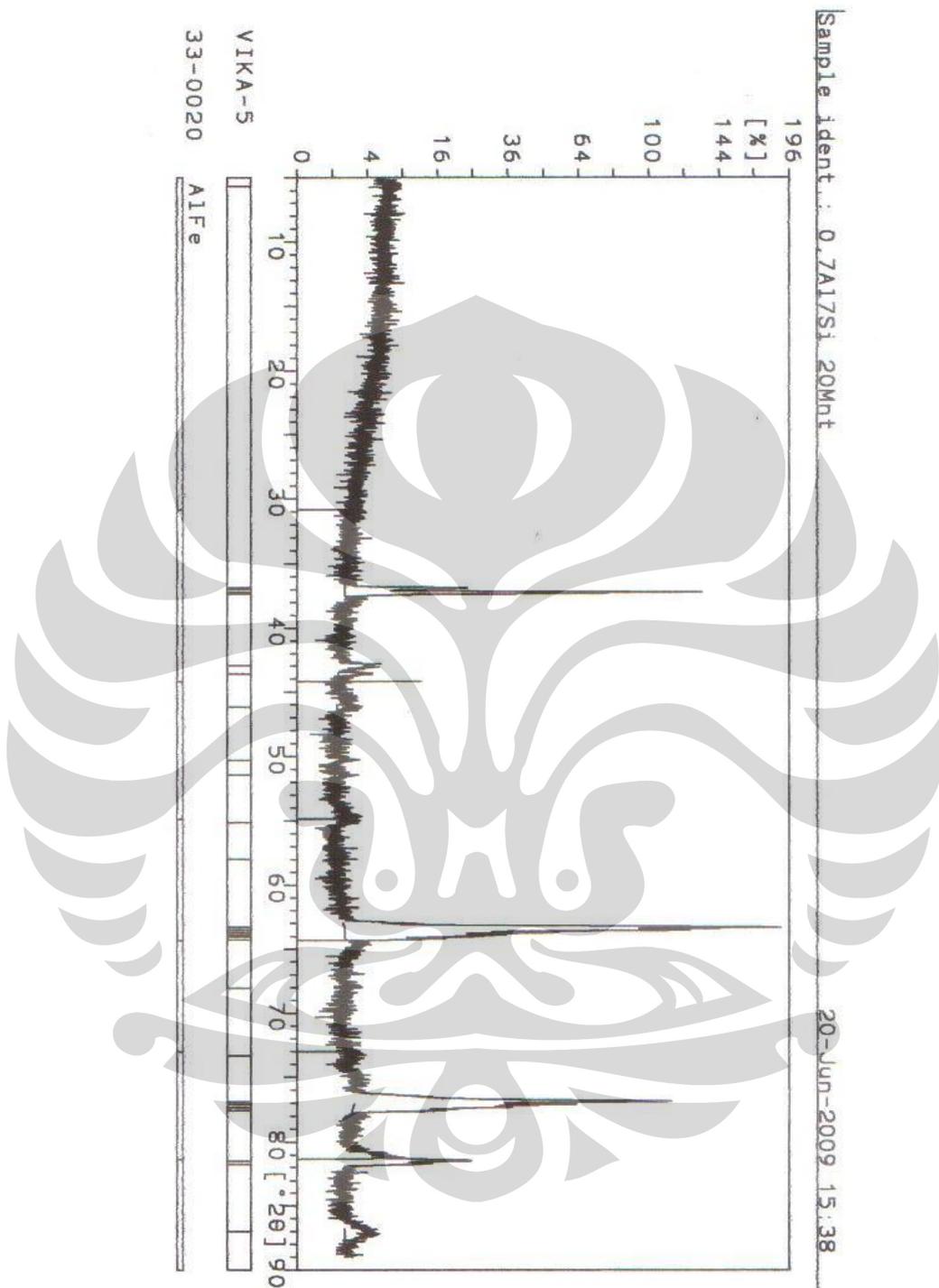
Gambar. 1 Hasil pengujian XRD sampel H13 yang dicelup dalam Al-7%Si dengan 0,1%Mn selama 20 menit



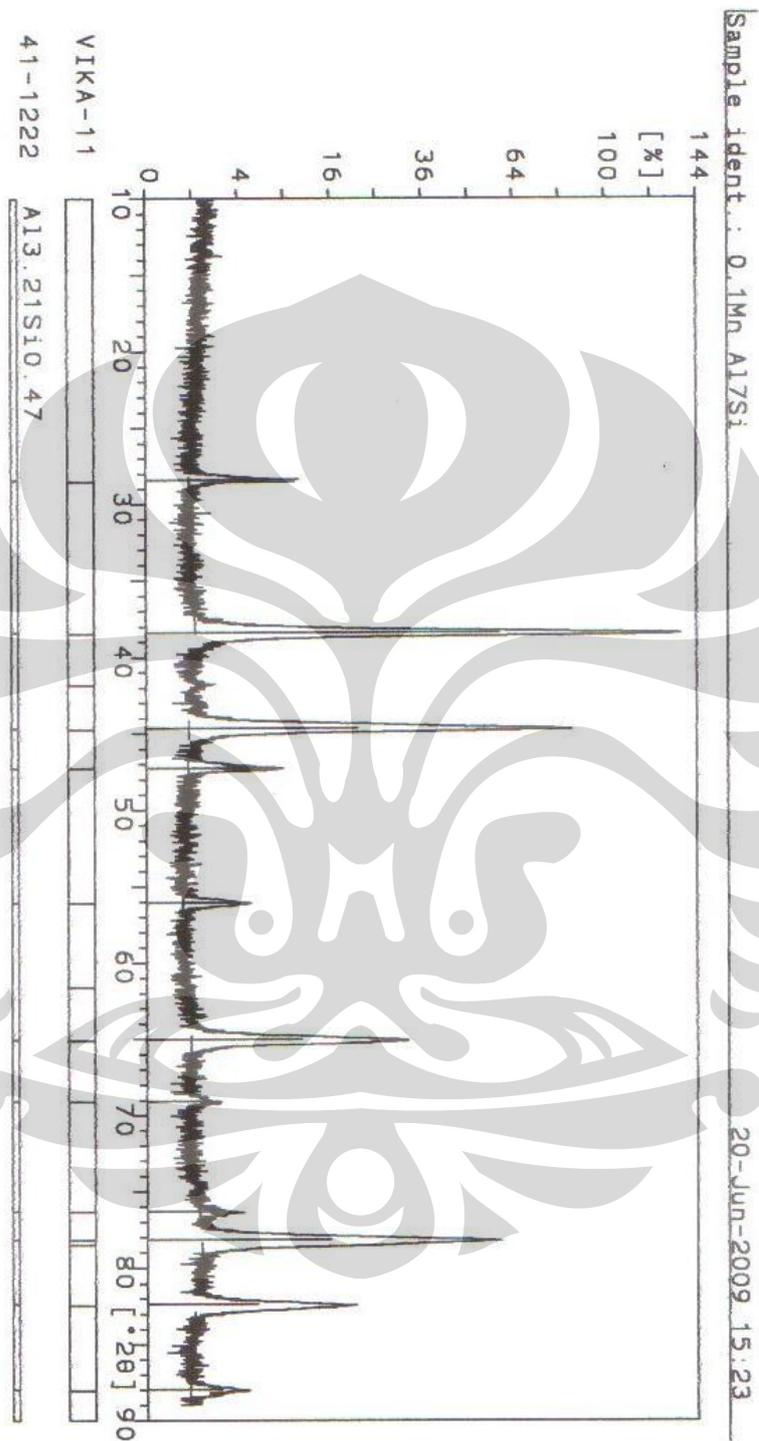
Gambar. 2 Hasil pengujian XRD sampel H13 yang dicelup dalam Al-7%Si dengan 0,3%Mn selama 20 menit



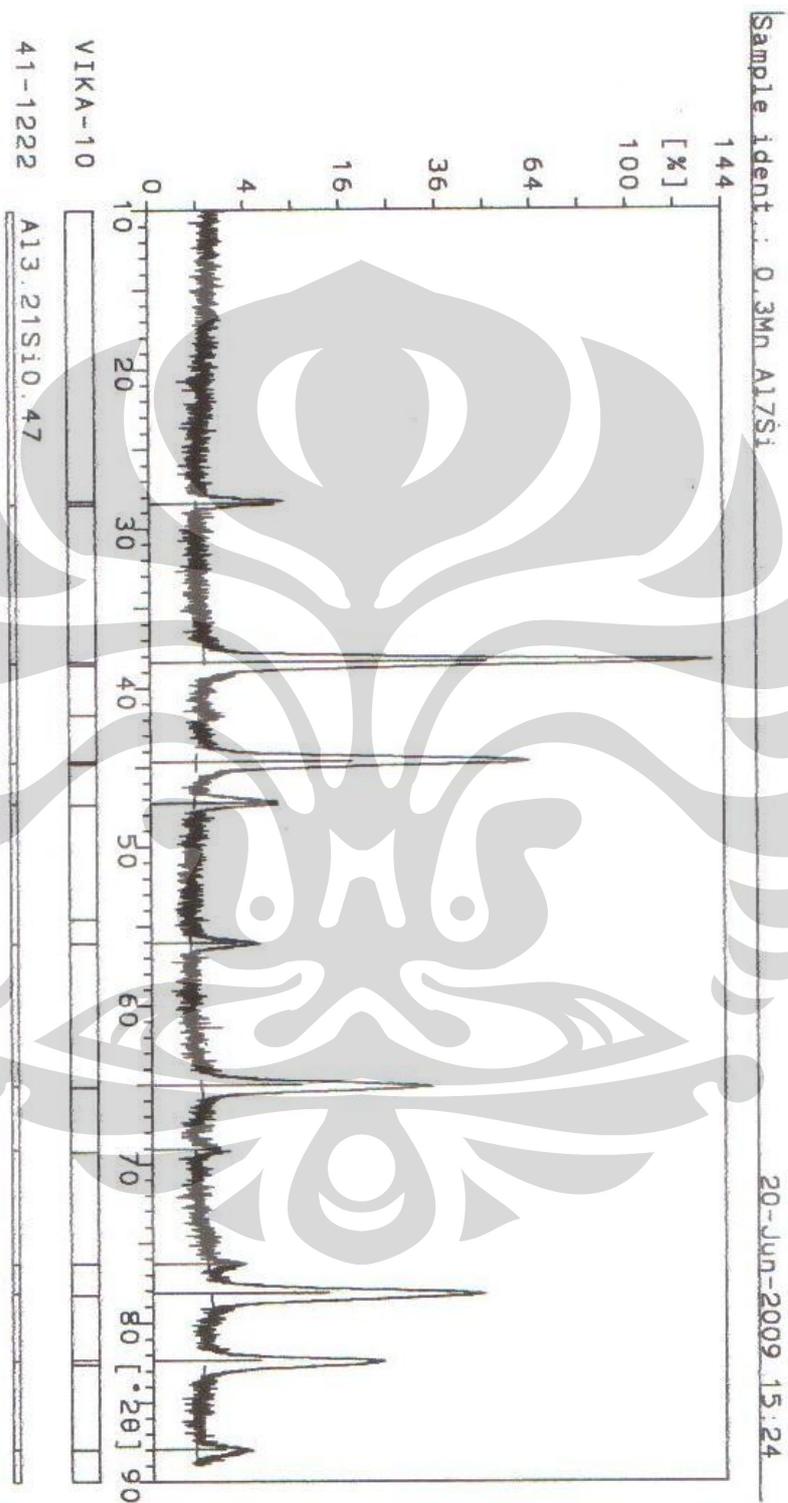
Gambar. 3 Hasil pengujian XRD sampel H13 yang dicelup dalam Al-7%Si dengan 0,5%Mn selama 20 menit



Gambar. 4 Hasil pengujian XRD sampel H13 yang dicelup dalam Al-7%Si dengan 0,7%Mn selama 20 menit



Gambar. 5 Hasil pengujian XRD *master alloy* Al-7%Si dengan 0,1%Mn



Gambar. 6 Hasil pengujian XRD *master alloy* Al-7%Si dengan 0,3%Mn



Gambar. 7 Hasil pengujian XRD *master alloy* Al-12%Si dengan 0,5%Mn



Gambar. 8 Hasil pengujian XRD *master alloy* Al-7%Si dengan 0,7%Mn

```

: Vika-8.DI
19-Jun-2009 16:24
=====
Philips Analytical X-Ray B.V.
Department of Metallurgy UI

Sample identification: Al7Si 0,1Mn 20Mnt
Data measured at: 19-Jun-2009 15:28:00

Diffractometer type: PW1710 BASED
Tube anode: Cu
Generator tension [kV]: 40
Generator current [mA]: 30
Wavelength Alpha1 [Å]: 1.54056
Wavelength Alpha2 [Å]: 1.54439
Intensity ratio (alpha2/alpha1): 0.500
Divergence slit: AUTOMATIC
Irradiated length [mm]: 12
Receiving slit: 0.2
Monochromator used: YES

Start angle [°2θ]: 5.000
End angle [°2θ]: 89.000
Step size [°2θ]: 0.020
Maximum intensity: 784.0000
Time per step [s]: 0.800
Type of scan: CONTINUOUS
Intensities converted to: FIXED

Minimum peak tip width: 0.00
Maximum peak tip width: 1.00
Peak base width: 2.00
Minimum significance: 0.75
Number of peaks: 27

Angle d-value d-value Peak width Peak int Back. int Rel. int Signif.
[°2θ] a1 [Å] a2 [Å] [°2θ] [counts] [counts] [%]
20.665 4.2946 4.3053 0.100 106 41 13.5 2.55
26.635 3.3440 3.3523 0.080 28 24 3.6 1.18
28.355 3.1449 3.1528 0.120 144 21 18.4 0.89
28.605 3.1180 3.1258 0.120 108 20 13.8 0.81
36.140 2.4833 2.4895 0.400 2 14 0.3 0.75
38.445 2.3396 2.3454 0.120 149 12 19.0 1.44
41.860 2.1563 2.1616 0.480 6 11 0.8 2.25
44.850 2.0192 2.0242 0.080 497 10 63.4 3.89
44.985 2.0135 2.0185 0.060 250 10 31.8 3.12
47.200 1.9240 1.9288 0.160 56 9 7.2 0.83
47.385 1.9169 1.9217 0.200 58 9 7.4 1.12
52.055 1.7554 1.7598 0.080 10 7 1.2 0.76
53.170 1.7212 1.7255 0.280 10 7 1.3 2.53
56.185 1.6358 1.6398 0.560 28 7 3.6 7.71
59.730 1.5469 1.5507 0.100 23 7 2.9 1.23
64.805 1.4375 1.4410 0.200 74 8 9.4 1.39
65.265 1.4284 1.4320 0.100 784 8 100.0 9.62
65.450 1.4248 1.4284 0.080 376 8 48.0 3.71
67.745 1.3821 1.3855 0.400 4 8 0.5 0.96
69.325 1.3544 1.3577 0.400 7 7 0.9 1.20
75.135 1.2634 1.2665 0.400 4 7 0.6 1.12
76.315 1.2468 1.2499 0.480 12 7 1.5 2.48

```

**Gambar. 9 Data 2θ hasil pengujian XRD sampel H13 Al-7%Si dengan 0,1%Mn selama 20 menit**

File: Vika-8.DI 19-Jun-2009 16:24

=====

Philips Analytical X-Ray B.V. Department of Metallurgy UI

Angle [°2θ]	d-value a1 [Å]	d-value a2 [Å]	Peak width [°2θ]	Peak int [counts]	Back. int [counts]	Rel. int [%]	Signif.
77.880	1.2256	1.2286	0.200	41	7	5.2	1.17
78.245	1.2208	1.2238	0.100	156	7	19.9	3.19
78.465	1.2179	1.2209	0.100	108	7	13.8	2.29
82.395	1.1695	1.1724	0.200	13	6	1.7	0.85
87.980	1.1091	1.1118	0.560	13	5	1.7	4.49



**Gambar. 10 Data 2θ hasil pengujian XRD sampel H13 Al-7%Si dengan 0,1%Mn selama 20 menit (lanjutan)**

: Vika-6.DI 19-Jun-2009 13:50

=====

Philips Analytical X-Ray B.V. Department of Metallurgy UI

Sample identification: AL7Si 0,3Mn 20 Mnt  
Data measured at: 19-Jun-2009 12:54:00

Diffraction type: PW1710 BASED  
Tube anode: Cu  
Generator tension [kV]: 40  
Generator current [mA]: 30  
Wavelength Alpha [Å]: 1.54056  
Wavelength Alpha2 [Å]: 1.54439  
Intensity ratio (alpha2/alpha): 0.500  
Divergence slit: AUTOMATIC  
Irradiated length [mm]: 12  
Receiving slit: 0.2  
Monochromator used: YES

Start angle [°2θ]: 5.000  
End angle [°2θ]: 89.000  
Step size [°2θ]: 0.020  
Maximum intensity: 12746.41  
Time per step [s]: 0.800  
Type of scan: CONTINUOUS  
Intensities converted to: FIXED

Minimum peak tip width: 0.00  
Maximum peak tip width: 1.00  
Peak base width: 2.00  
Minimum significance: 0.75  
Number of peaks: 24

Angle [°2θ]	d-value a1 [Å]	d-value a2 [Å]	Peak width [°2θ]	Peak int [counts]	Back. int [counts]	Rel. int [%]	Signif.
27.010	3.2984	3.3066	0.480	8	24	0.1	1.66
28.630	3.1154	3.1231	0.140	313	21	2.5	3.06
38.245	2.3514	2.3572	0.060	193	17	1.5	1.19
38.530	2.3346	2.3404	0.060	2480	17	19.5	4.13
38.665	2.3268	2.3326	0.060	2530	17	19.8	3.30
38.780	2.3201	2.3259	0.060	1089	17	8.5	1.58
42.025	2.1482	2.1535	0.240	15	14	0.1	0.77
44.770	2.0226	2.0277	0.080	12746	13	100.0	25.92
44.900	2.0171	2.0221	0.060	7639	13	59.9	7.88
47.430	1.9152	1.9200	0.060	125	11	1.0	1.00
53.485	1.7118	1.7161	0.240	8	8	0.1	2.11
56.300	1.6327	1.6368	0.440	49	8	0.4	12.33
64.975	1.4341	1.4377	0.060	159	10	1.2	0.82
65.140	1.4309	1.4344	0.100	276	10	2.2	2.57
65.310	1.4276	1.4311	0.080	193	10	1.5	0.88
69.435	1.3525	1.3558	0.320	10	9	0.1	1.10
74.765	1.2687	1.2719	0.400	6	9	0.0	1.41
76.520	1.2439	1.2470	0.120	20	11	0.2	0.87
78.175	1.2217	1.2247	0.060	502	12	3.9	1.13
78.345	1.2195	1.2225	0.120	1552	12	12.2	12.32
78.600	1.2161	1.2192	0.140	681	12	5.3	9.66
82.575	1.1674	1.1703	0.140	119	9	0.9	5.68

e: Vika-6.DI

**Gambar. 11** Data 2θ hasil pengujian XRD sampel H13 Al-7%Si dengan 0,3%Mn selama 20 menit

F: 19-Jun-2009 13:50  
=====

Angle [ $2\theta$ ]	d-value $a_1$ [Å]	d-value $a_2$ [Å]	Peak width [ $2\theta$ ]	Peak int [counts]	Back. int [counts]	Rel. int [%]	Signif.
82.810	1.1647	1.1676	0.080	49	9	0.4	0.82
88.275	1.1061	1.1089	0.400	18	7	0.1	2.58



**Gambar. 5 Data  $2\theta$  hasil pengujian XRD sampel H13 Al-7%Si dengan 0,3Mn selama 20 menit (lanjutan)**

: Vika-7.DI 19-Jun-2009 15:23  
 =====  
 Philips Analytical X-Ray B.V. Department of Metallurgy UI

Sample identification: Al7Si 0,5 20 Mnt  
 Data measured at: 19-Jun-2009 14:27:00

Diffraction type: PW1710 BASED  
 Tube anode: Cu  
 Generator tension [kV]: 40  
 Generator current [mA]: 30  
 Wavelength Alpha1 [Å]: 1.54056  
 Wavelength Alpha2 [Å]: 1.54439  
 Intensity ratio (alpha2/alpha1): 0.500  
 Divergence slit: AUTOMATIC  
 Irradiated length [mm]: 12  
 Receiving slit: 0.2  
 Monochromator used: YES

Start angle [°2θ]: 5.000  
 End angle [°2θ]: 89.000  
 Step size [°2θ]: 0.020  
 Maximum intensity: 1225.000  
 Time per step [s]: 0.800  
 Type of scan: CONTINUOUS  
 Intensities converted to: FIXED

Minimum peak tip width: 0.00  
 Maximum peak tip width: 1.00  
 Peak base width: 2.00  
 Minimum significance: 0.75  
 Number of peaks: 31

Angle [°2θ]	d-value a1 [Å]	d-value a2 [Å]	Peak width [°2θ]	Peak int [counts]	Back. int [counts]	Rel. int [%]	Signif.
25.545	3.4842	3.4928	0.060	18	25	1.4	0.88
27.050	3.2936	3.3018	0.080	174	23	14.2	1.86
28.490	3.1303	3.1381	0.180	228	21	18.6	6.49
29.765	2.9991	3.0065	0.120	13	20	1.1	1.08
34.255	2.6156	2.6221	0.120	4	16	0.4	0.82
35.370	2.5356	2.5419	0.640	12	15	1.0	1.86
38.390	2.3428	2.3486	0.060	320	14	26.2	0.85
38.610	2.3300	2.3358	0.040	1225	14	100.0	0.94
38.720	2.3236	2.3294	0.040	449	14	36.7	6.26
40.610	2.2197	2.2252	0.480	5	14	0.4	1.80
41.780	2.1602	2.1656	0.200	16	12	1.3	1.06
43.110	2.0966	2.1018	0.240	13	12	1.1	1.69
44.490	2.0347	2.0398	0.080	605	11	49.4	3.21
44.775	2.0224	2.0275	0.100	961	11	78.4	6.19
44.910	2.0167	2.0217	0.060	529	11	43.2	1.74
47.490	1.9129	1.9177	0.100	66	10	5.4	0.76
52.290	1.7481	1.7524	0.480	3	7	0.3	0.75
53.410	1.7140	1.7183	0.080	16	7	1.3	0.89
56.160	1.6364	1.6405	0.280	34	7	2.7	4.22
62.695	1.4807	1.4843	0.480	6	7	0.5	0.87
65.145	1.4308	1.4343	0.080	906	6	74.0	7.30
65.330	1.4272	1.4307	0.080	497	6	40.6	4.92

Gambar. 13 Data 2θ hasil pengujian XRD sampel H13 Al-7%Si dengan 0,5%Mn selama 20 menit

File: Vika-7.DI 19-Jun-2009 15:23

=====

Philips Analytical X-Ray B.V. Department of Metallurgy UI

Angle [°2θ]	d-value a1 [Å]	d-value a2 [Å]	Peak width [°2θ]	Peak int [counts]	Back. int [counts]	Rel. int [%]	Signif.
67.615	1.3844	1.3878	0.480	1	7	0.1	0.83
69.255	1.3556	1.3589	0.320	8	7	0.7	1.25
74.660	1.2702	1.2734	0.320	6	8	0.5	1.04
76.455	1.2448	1.2479	0.320	12	8	0.9	1.14
78.335	1.2196	1.2226	0.120	1225	9	100.0	20.31
78.570	1.2165	1.2196	0.080	605	10	49.4	4.55
82.120	1.1727	1.1756	0.100	83	7	6.8	3.57
82.375	1.1697	1.1726	0.080	52	7	4.2	1.82
87.995	1.1089	1.1117	0.320	12	5	0.9	0.76



**Gambar. 14 Data 2θ hasil pengujian XRD sampel H13 Al-7%Si dengan 0,5%Mn selama 20 menit (lanjutan)**

Vika-5.DI 19-Jun-2009 11:04  
 =====  
 Philips Analytical X-Ray B.V. Department of Metallurgy UI

Sample identification: 0,7Al7Si 20Mnt  
 Data measured at: 19-Jun-2009 10:07:00

Diffractionmeter type: PW1710 BASED  
 Tube anode: Cu  
 Generator tension [kV]: 40  
 Generator current [mA]: 30  
 Wavelength Alpha1 [Å]: 1.54056  
 Wavelength Alpha2 [Å]: 1.54439  
 Intensity ratio (alpha2/alpha1): 0.500  
 Divergence slit: AUTOMATIC  
 Irradiated length [mm]: 12  
 Receiving slit: 0.2  
 Monochromator used: YES

Start angle [ $^{\circ}2\theta$ ]: 5.000  
 End angle [ $^{\circ}2\theta$ ]: 89.000  
 Step size [ $^{\circ}2\theta$ ]: 0.020  
 Maximum intensity: 707.5600  
 Time per step [s]: 0.800  
 Type of scan: CONTINUOUS  
 Intensities converted to: FIXED

Minimum peak tip width: 0.00  
 Maximum peak tip width: 1.00  
 Peak base width: 2.00  
 Minimum significance: 0.75  
 Number of peaks: 27

Angle [ $^{\circ}2\theta$ ]	d-value a1 [Å]	d-value a2 [Å]	Peak width [ $^{\circ}2\theta$ ]	Peak int [counts]	Back. int [counts]	Rel. int [%]	Signif.
5.675	15.5601	15.5988	0.960	27	222	3.8	0.81
36.850	2.4371	2.4432	0.040	121	10	17.1	6.26
36.965	2.4298	2.4358	0.040	106	10	15.0	1.60
37.200	2.4150	2.4210	0.060	708	10	100.0	3.22
37.315	2.4078	2.4138	0.040	384	10	54.3	10.79
42.935	2.1047	2.1100	0.400	13	7	1.8	2.61
43.580	2.0751	2.0802	0.200	15	7	2.1	1.66
46.140	1.9657	1.9706	0.480	5	6	0.7	0.80
50.280	1.8131	1.8176	0.240	4	5	0.6	1.49
51.430	1.7753	1.7797	0.240	4	4	0.5	1.17
55.110	1.6651	1.6693	0.240	4	4	0.6	0.98
57.980	1.5893	1.5933	0.060	6	4	0.8	0.89
63.310	1.4678	1.4714	0.120	605	6	85.5	9.37
63.515	1.4635	1.4671	0.080	400	6	56.5	2.81
63.715	1.4594	1.4630	0.080	180	6	25.4	2.34
63.910	1.4554	1.4590	0.060	112	6	15.9	1.86
64.035	1.4529	1.4565	0.040	86	6	12.2	2.38
64.250	1.4485	1.4521	0.120	30	6	4.3	1.86
68.025	1.3770	1.3805	0.960	1	5	0.2	0.93
73.320	1.2901	1.2933	0.640	2	5	0.3	0.89
76.885	1.2389	1.2420	0.100	310	7	43.8	5.66
77.110	1.2359	1.2390	0.080	174	7	24.6	2.34

Gambar. 15 Data  $2\theta$  hasil pengujian XRD sampel H13 Al-7%Si dengan 0,7%Mn selama 20 menit

File: Vika-5.D1 19-Jun-2009 11:01

Philips Analytical X-Ray B.V. Department of Metallurgy UI

Angle [°2θ]	d-value a1 [Å]	d-value a2 [Å]	Peak width [°2θ]	Peak int [counts]	Back. int [counts]	Rel. int [%]	Signif.
77.335	1.2328	1.2359	0.060	98	7	13.9	2.02
77.575	1.2296	1.2327	0.080	37	7	5.3	3.10
81.490	1.1802	1.1831	0.120	61	5	8.6	2.94
81.720	1.1774	1.1803	0.120	28	5	4.0	0.94
86.990	1.1191	1.1219	0.480	6	5	0.9	0.77



**Gambar. 16 Data 2θ hasil pengujian XRD sampel H13 Al-7%Si dengan 0,7%Mn selama 20 menit (lanjutan)**

```

: Vika-11.DI
-----
Philips Analytical X-Ray B.V.
-----
20-Jun-2009 12:04
Department of Metallurgy UI

Sample identification: 0,1Mn Al7Si
Data measured at: 20-Jun-2009 11:30:00

Diffractometer type: PW1710 BASED
Tube anode: Cu
Generator tension [kV]: 40
Generator current [mA]: 30
Wavelength Alpha1 [Å]: 1.54056
Wavelength Alpha2 [Å]: 1.54439
Intensity ratio (alpha2/alpha1): 0.500
Divergence slit: AUTOMATIC
Irradiated length [mm]: 12
Receiving slit: 0.2
Monochromator used: YES

Start angle [°2θ]: 10.000
End angle [°2θ]: 89.000
Step size [°2θ]: 0.020
Maximum intensity: 1474.560
Time per step [s]: 0.500
Type of scan: CONTINUOUS
Intensities converted to: FIXED

Minimum peak tip width: 0.00
Maximum peak tip width: 1.00
Peak base width: 2.00
Minimum significance: 0.75
Number of peaks: 14

Angle d-value d-value Peak width Peak int Back. int Rel. int Signif.
[°2θ] a1 [Å] a2 [Å] [°2θ] [counts] [counts] [%]
28.495 3.1298 3.1376 0.080 114 13 7.8 0.97
38.455 2.3390 2.3448 0.140 1475 13 100.0 8.02
41.820 2.1582 2.1636 0.400 6 10 0.4 1.07
44.735 2.0241 2.0292 0.180 767 8 52.0 11.36
47.265 1.9215 1.9263 0.080 74 8 5.0 0.76
56.095 1.6382 1.6423 0.160 31 5 2.1 0.82
61.605 1.5042 1.5080 0.200 2 5 0.2 0.76
65.115 1.4314 1.4349 0.080 213 6 14.5 0.84
69.105 1.3581 1.3615 0.320 8 5 0.6 1.13
76.360 1.2461 1.2492 0.200 14 8 1.0 0.97
78.175 1.2217 1.2247 0.160 296 8 20.1 5.18
78.505 1.2174 1.2204 0.160 139 8 9.4 1.05
82.445 1.1689 1.1718 0.080 100 6 6.8 1.13
88.030 1.1086 1.1113 0.240 18 5 1.3 2.08

```

Gambar. 17 Data  $2\theta$  hasil pengujian XRD sampel *master alloy* Al-7%Si dengan 0,1%Mn

```

: Vika-10.DI
20-Jun-2009 11:28
=====
Philips Analytical X-Ray B.V.
Department of Metallurgy UI

Sample identification: 0,3Mn Al7Si
Data measured at: 20-Jun-2009 10:55:00

Diffractometer type: PW1710 BASED
Tube anode: Cu
Generator tension [kV]: 40
Generator current [mA]: 30
Wavelength Alpha1 [Å]: 1.54056
Wavelength Alpha2 [Å]: 1.54439
Intensity ratio (alpha2/alpha1): 0.500
Divergence slit: AUTOMATIC
Irradiated length [mm]: 12
Receiving slit: 0.2
Monochromator used: YES

Start angle [°2θ]: 10.000
End angle [°2θ]: 89.000
Step size [°2θ]: 0.020
Maximum intensity: 1513.210
Time per step [s]: 0.500
Type of scan: CONTINUOUS
Intensities converted to: FIXED

Minimum peak tip width: 0.00
Maximum peak tip width: 1.00
Peak base width: 2.00
Minimum significance: 0.75
Number of peaks: 17

Angle d-value d-value Peak width Peak int Back. int Rel. int Signif.
[°2θ] a1 [Å] a2 [Å] [°2θ] [counts] [counts] [%]
28.240 3.1575 3.1653 0.120 98 15 6.5 1.91
28.470 3.1325 3.1403 0.120 77 14 5.1 1.50
38.350 2.3452 2.3510 0.180 1513 15 100.0 9.42
38.560 2.3329 2.3387 0.080 1037 14 68.5 0.97
41.675 2.1654 2.1708 0.400 6 11 0.4 0.92
44.615 2.0293 2.0344 0.120 590 9 39.0 1.47
44.765 2.0229 2.0279 0.080 562 9 37.1 0.79
47.325 1.9192 1.9240 0.360 55 8 3.6 6.34
54.545 1.6810 1.6852 0.240 1 5 0.1 0.87
56.055 1.6393 1.6433 0.200 31 5 2.1 1.46
65.150 1.4307 1.4342 0.120 222 7 14.7 1.76
69.220 1.3562 1.3595 0.560 8 5 0.6 2.77
76.285 1.2472 1.2503 0.400 11 8 0.7 2.23
78.260 1.2206 1.2236 0.480 269 9 17.8 32.75
82.305 1.1705 1.1734 0.100 110 7 7.3 0.79
82.605 1.1670 1.1699 0.200 104 7 6.9 1.21
88.005 1.1088 1.1116 0.200 16 4 1.1 0.92

```

Gambar. 6 Data  $2\theta$  hasil pengujian XRD sampel *master alloy* Al-7%Si dengan 0,3%Mn

: vika-9.DI 20-Jun-2009 10:47  
 =====  
 Philips Analytical X-Ray B.V. Department of Metallurgy UI

Sample identification: 0,5Mn Al7Si  
 Data measured at: 20-Jun-2009 10:12:00

Diffractometer type: PW1710 BASED  
 Tube anode: Cu  
 Generator tension [kV]: 40  
 Generator current [mA]: 30  
 Wavelength Alpha1 [Å]: 1.54056  
 Wavelength Alpha2 [Å]: 1.54439  
 Intensity ratio (alpha2/alpha1): 0.500  
 Divergence slit: AUTOMATIC  
 Irradiated length [mm]: 12  
 Receiving slit: 0.2  
 Monochromator used: YES

Start angle [ $^{\circ}2\theta$ ]: 5.000  
 End angle [ $^{\circ}2\theta$ ]: 89.000  
 Step size [ $^{\circ}2\theta$ ]: 0.020  
 Maximum intensity: 1772.410  
 Time per step [s]: 0.500  
 Type of scan: CONTINUOUS  
 Intensities converted to: FIXED

Minimum peak tip width: 0.00  
 Maximum peak tip width: 1.00  
 Peak base width: 2.00  
 Minimum significance: 0.75  
 Number of peaks: 17

Angle [ $^{\circ}2\theta$ ]	d-value a1 [Å]	d-value a2 [Å]	Peak width [ $^{\circ}2\theta$ ]	Peak int [counts]	Back. int [counts]	Rel. int [%]	Signif.
28.510	3.1282	3.1360	0.080	139	12	7.9	1.85
38.570	2.3323	2.3381	0.260	1772	13	100.0	53.81
41.905	2.1541	2.1594	0.280	10	9	0.5	1.91
43.140	2.0952	2.1004	0.200	10	8	0.5	0.92
44.790	2.0218	2.0268	0.120	762	8	43.0	4.24
47.425	1.9154	1.9202	0.120	79	7	4.5	1.81
56.250	1.6340	1.6381	0.140	44	5	2.5	1.84
65.230	1.4291	1.4327	0.080	272	6	15.4	0.97
69.240	1.3558	1.3592	0.320	7	5	0.4	1.11
74.565	1.2716	1.2748	0.480	3	6	0.2	1.26
76.395	1.2457	1.2488	0.160	13	7	0.7	0.85
78.335	1.2196	1.2226	0.180	380	8	21.5	7.53
78.565	1.2166	1.2196	0.120	222	8	12.5	1.17
82.510	1.1681	1.1710	0.180	110	6	6.2	5.47
82.810	1.1647	1.1676	0.120	59	6	3.3	1.59
88.080	1.1081	1.1108	0.160	18	4	1.0	1.21
88.375	1.1051	1.1079	0.120	11	4	0.6	0.94

Gambar. 7 Data  $2\theta$  hasil pengujian XRD sampel *master alloy* Al-7%Si dengan 0,5%Mn

Vika-12.DI 20-Jun-2009 12:39  
 Philips Analytical X-Ray B.V. Department of Metallurgy UI

Sample identification: 0,7Mn Al7Si  
 Data measured at: 20-Jun-2009 12:06:00

Diffraction type: PW1710 BASED  
 Tube anode: Cu  
 Generator tension [kV]: 40  
 Generator current [mA]: 30  
 Wavelength Alpha1 [Å]: 1.54056  
 Wavelength Alpha2 [Å]: 1.54439  
 Intensity ratio (alpha2/alpha1): 0.500  
 Divergence slit: AUTOMATIC  
 Irradiated length [mm]: 12  
 Receiving slit: 0.2  
 Monochromator used: YES

Start angle [°2θ]: 10.000  
 End angle [°2θ]: 89.000  
 Step size [°2θ]: 0.020  
 Maximum intensity: 1391.290  
 Time per step [s]: 0.500  
 Type of scan: CONTINUOUS  
 Intensities converted to: FIXED

Minimum peak tip width: 0.00  
 Maximum peak tip width: 1.00  
 Peak base width: 2.00  
 Minimum significance: 0.75  
 Number of peaks: 18

Angle [°2θ]	d-value a1 [Å]	d-value a2 [Å]	Peak width [°2θ]	Peak int [counts]	Back. int [counts]	Rel. int [%]	Signif.
28.475	3.1320	3.1397	0.240	110	14	7.9	4.98
38.515	2.3355	2.3413	0.180	1391	14	100.0	11.27
38.605	2.3303	2.3361	0.060	1102	14	79.2	1.46
41.630	2.1677	2.1730	0.240	10	12	0.7	1.69
42.915	2.1057	2.1109	0.400	5	10	0.4	1.32
44.725	2.0246	2.0296	0.060	692	10	49.7	1.55
44.845	2.0194	2.0245	0.120	590	10	42.4	2.49
47.300	1.9202	1.9250	0.100	61	8	4.4	0.84
56.165	1.6363	1.6404	0.240	25	5	1.8	2.54
65.130	1.4311	1.4346	0.080	207	7	14.9	1.53
69.075	1.3587	1.3620	0.320	5	5	0.4	0.85
74.360	1.2746	1.2778	0.320	4	6	0.3	0.80
76.380	1.2459	1.2490	0.320	12	7	0.8	1.69
78.290	1.2202	1.2232	0.100	262	7	18.9	0.87
78.515	1.2172	1.2203	0.160	174	8	12.5	0.93
82.485	1.1684	1.1713	0.280	74	6	5.3	5.05
82.735	1.1655	1.1684	0.120	53	6	3.8	0.82
88.040	1.1085	1.1112	0.200	16	4	1.2	0.98

Gambar. 20 Data 2θ hasil pengujian XRD sampel *master alloy* Al-7%Si dengan 0,7%Mn