



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH PENAMBAHAN
UNSUR MANGAN 0.1%, 0.3%, 0.5%, 0.7%
DALAM PADUAN Al-7%Si dan Al-12%Si
TERHADAP PEMBENTUKAN LAPISAN INTERMETALIK
PADA FENOMENA *DIE SOLDERING***

TESIS

**VIKA RIZKIA
0706173780**

**FAKULTAS TEKNIK
DEPARTEMEN METALURGI DAN MATERIAL
KEKHUSUSAN DESAIN MANUFAKTUR
DEPOK
JUNI 2009**





UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH PENAMBAHAN
UNSUR MANGAN 0.1%, 0.3%, 0.5%, 0.7%
DALAM PADUAN Al-7%Si dan Al-12%Si
TERHADAP PEMBENTUKAN LAPISAN INTERMETALIK
PADA FENOMENA *DIE SOLDERING***

TESIS

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Magister Teknik (MT)**

**VIKA RIZKIA
0706173780**

**FAKULTAS TEKNIK
DEPARTEMEN METALURGI DAN MATERIAL
KEKHUSUSAN DESAIN MANUFAKTUR
DEPOK
JUNI 2009**

LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS

**Tesis ini adalah hasil karya saya sendiri,
Dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
Telah saya nyatakan dengan benar**

Nama : Vika Rizkia

NPM : 0706173780

Tanda Tangan : 

Tanggal : 26 Juni 2009

LEMBAR PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh :

Nama : Vika Rizkia

NPM : 0706173780

Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material

Judul Tesis : Pengaruh Penambahan
Unsur Mangan 0.1%, 0.3%, 0.5%, 0.7%
Dalam Paduan Al-7%Si dan Al-12%Si
Terhadap Pembentukan Lapisan Intermetalik
Pada Fenomena *Die Soldering*

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

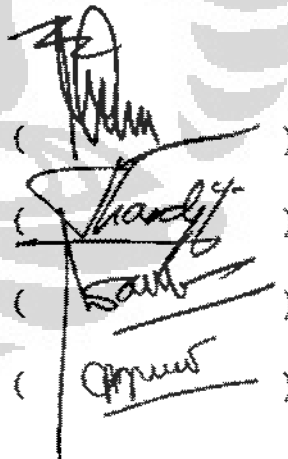
DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Prof. Dr. Ing. Ir Bambang Suharno

Pembimbing : Dr. Ir. Sri Harjanto

Penguji 1 : Dr. Ir. Winarto, M.Sc

Penguji 2 : Ir. Myrna Ariati Mochtar, M.Si



(
(
(
(

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 1 Juli 2009

KATA PENGANTAR

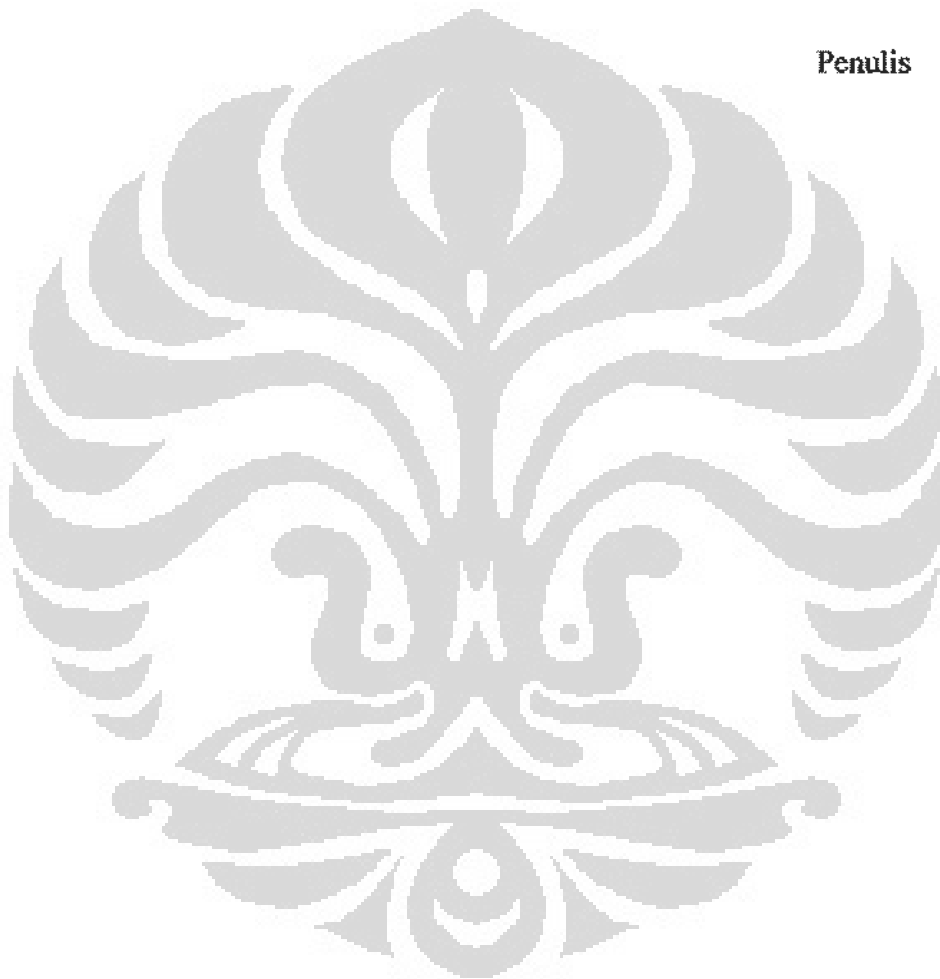
Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan tesis ini. Penulisan tesis ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Magister Teknik pada Departemen Metalurgi Material Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya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

1. Prof. Dr. Ing. Ir. Bambang Suharno, selaku dosen pembimbing pertama yang telah bersedia menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan tesis ini;
2. Dr. Ir. Sri Harjanto, selaku dosen pembimbing kedua yang juga telah bersedia menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan tesis ini
3. Rino Vidias Putra, dengan cintanya yang selalu sabar dan tidak henti-hentinya memberikan dukungan moral setiap saat kepada penulis
4. Orang tua dan keluarga di rumah, yang selalu memberikan dukungan material dan moral kepada penulis
5. Ir. Bustanul Arifin, M.Phil.Eng (alm), yang selalu membuat penulis termotivasi untuk menyelesaikan tesis mengenai *die soldering*
6. Deni Ferdian, ST, M.Sc, orang yang selalu memberikan wawasan dan diskusi positif kepada penulis
7. Wahyuaji NP, ST, MT dan Doddy Alexander,ST, orang yang meluangkan waktunya untuk membantu penulis dalam melakukan pengujian
8. Esti Yulia A, SE, Ahmad Ivan Karayan, ST, Dian Adisty, ST, TP.Tiggor,ST, yang selalu memberikan dukungan dan pengertiannya
9. Andre Diaz, M. Adyutatama, Yektie Ikhtiarie, Maburur, Dewin Purnama, Joki, Zulkifli, Fadi, Pak Mirza, Pak Syaiful, atas kekeluargaan dan keceriaan yang diberikan kepada penulis selama ini.

Akhir kata, saya berharap Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 26 Juni 2009

Penulis



**LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

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

Nama : Vika Rizkia
NPM : 0706173780
Program Studi : Desain Manufaktur
Departemen : Teknik Metalurgi Material
Fakultas : Teknik Universitas Indonesia
Jenis karya : Tesis

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:

PENAMBAHAN UNSUR MANGAN 0.1%, 0.3%, 0.5%, 0.7% DALAM
PADUAN Al-7%Si DAN Al-12%Si TERHADAP PEMBENTUKAN LAPISAN
INTERMETALIK PADA FENOMENA *DIE SOLDERING*

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan memublikasikan tugas akhir 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 : 1 Juli 2009

Yang menyatakan



Vika Rizkia

ABSTRAK

Nama : Vika Rizkia
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Judul : Pengaruh Penambahan Unsur Mangan 0.1%, 0.3%, 0.5%,
0.7% Dalam Paduan Al-7%Si dan Al-12%Si Terhadap
Pembentukan Lapisan Intermetalik pada Fenomena
Die Soldering

Die soldering merupakan hasil dari reaksi *interface* antara aluminium cair dengan material cetakan. Akibat tingginya afinitas aluminium terhadap besi, unsur besi dari material cetakan berdifusi menuju aluminium cair membentuk lapisan intermetalik pada permukaan cetakan. Kemudian, aluminium cair menempel pada permukaan cetakan dan tertinggal setelah pelepasan hasil pengecoran. Fenomena ini mengakibatkan terjadinya kegagalan cetakan dan menurunnya kualitas permukaan hasil coran, sehingga mengarah kepada penurunan produktivitas dan peningkatan biaya produksi pengecoran. Untuk mencegah terjadinya *die soldering*, pembentukan lapisan intermetalik pada permukaan cetakan harus diminimalisir. Mangan merupakan unsur yang dapat meningkatkan kekuatan produk pengecoran dan dapat mengurangi pengaruh buruk Fe dengan membentuk suatu fasa kesetimbangan. Berdasarkan penelitian sebelumnya, belum ada korelasi yang jelas mengenai pengaruh unsur mangan dalam pembentukan lapisan intermetalik. Untuk itu, dilakukan penelitian guna mempelajari morfologi, ketebalan dan sifat mekanis lapisan intermetalik akibat penambahan unsur mangan.

Sampel dalam penelitian ini adalah baja H13 yang dicelupkan dalam paduan Al-7%Si dan Al-12%Si yang mengandung 0.1%, 0.3%, 0.5%, dan 0.7%Mn dengan waktu kontak 20, 40, dan 60 menit pada temperatur 700°C. Dalam penelitian ini dihasilkan pembentukan dua lapisan intermetalik pada permukaan baja H13, yaitu *compact layer* yang merupakan fasa padat, dan *broken layer* yang merupakan fasa semi padat.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kondisi efektif untuk mengurangi kecenderungan cacat *die soldering* dengan meminimalisir pembentukan *compact layer* adalah pada kondisi penambahan 0.3% Mn dalam paduan Al-7%Si dengan waktu kontak 20 menit. Kemudian penambahan Mn hingga 0.7% pada paduan Al-12%Si akan menurunkan ketebalan *compact layer* pada permukaan baja H13, dengan kondisi ketebalan lapisan intermetalik tertipis adalah saat waktu kontak 40 menit. Namun penambahan unsur Mn pada Al-7%Si dan Al-12%Si tidak berpengaruh pada ketebalan *broken layer*, fasa yang terkandung dalam lapisan intermetalik dan sifat mekanis lapisan intermetalik.

Kata Kunci :

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

ABSTRACT

Name : Vika Rizkia
Study Program : Teknik Metalurgi dan Material
Title : Effect of 0.1%, 0.3%, 0.5%, 0.7% Mangan Addition
on Al-7%Si Alloy Al-12%Si to The Intermetallic Layer on
Die Soldering Phenomenon

Die soldering is the result of an *interface* reaction between the molten aluminum and the *die* material. Due to high affinity of aluminum for iron, the iron element from *die* diffuses into aluminum melt resulting in intermetallic layers on the *die* surface. Molten aluminum "welds" to the *die* surface and remains there after the ejection of the part. This phenomenon resulting in damage to the *die* and poor surface quality of the *casting*, lead to decreasing productivity and increasing production cost. In order to alleviate or mitigate *die soldering*, the forming of intermetallic layer on *die* surface has to be minimized. Mangan is an element which increase the strength of cast product and reduce the detrimental effect of Fe by form of equilibrium phase. Based on previous studies, the correlation between manganese element and the formation of intermetallic layer not yet clearly understood. Hence, this research is done to study the morphology, thickness, and mechanical properties of intermetallic layers in influence of mangan addition.

The sample on this research is as anneal H13 tool steel dipped into the molten Al-7%Si and Al-12%Si alloy containing 0.1%Mn, 0.3%Mn, 0.5%Mn, and 0.7%Mn in 20, 40, and 60 minutes at *holding* temperatures 700 °C. This research resulted two intermetallic layers in the surface of H13 tool steel, compact intermetallic layer and broken intermetallic layer.

The result showed that the most effective condition in order to mitigate *die soldering* tendency 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% into Al-12%Si reduces the thickness of *compact layer* with the most effective dip time around 40 minutes. However, the addition of Mn into Al-7%Si and Al-12%Si does not influence broken intermetallic thickness, phases that formed in intermetallic layer, and mechanical properties of intermetallic layer.

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 PUBLIKASI.....	vi
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xv
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Ruang Lingkup Penelitian	4
1.2.1 Material	4
1.2.2 Parameter Penelitian.....	4
1.2.3 Pengujian.....	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	5
BAB 2. STUDI LITERATUR.....	6
2.1 Definisi <i>Die Soldering</i>	6
2.2 Mekanisme <i>Die Soldering</i>	8
2.3 Lapisan Intermetalik.....	13
2.3.1 Lapisan Intermetalik Biner.....	13
2.3.2 Lapisan Intermetalik Terner.....	17
2.4 Pengaruh Unsur Mangan Terhadap Pembentukan Lapisan Intermetalik.....	19
2.5 Model Pelarutan dan Mass Loss pada Baja <i>die</i> dalam Aluminium Cair	21
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN.....	24
3.1 Diagram Alir.....	24
3.2 Peralatan dan Bahan	25
3.2.1 Peralatan.....	25
3.2.2 Bahan.....	27

3.3	Prosedur Penelitian	27
3.3.1	Pemotongan Sampel Material H13	27
3.3.2	Pengamplasan Sampel Material H13	27
3.3.3	Peleburan Al-7%Si dan Al-12%Si Untuk Pembuatan <i>Master alloy</i>	28
3.3.4	Peleburan <i>Master alloy</i>	29
3.3.5	Pencelupan Material H13 pada <i>Master alloy</i>	29
3.3.6	Preparasi Metalografi Sampel	29
3.3.7	Pengamatan Mikrostruktur	30
3.3.8	Pengujian Kekerasan Lapisan Intermetalik	31
3.3.9	Pengujian Fasa Lapisan Intermetalik	31
BAB 4. HASIL ANALISA DAN PEMBAHASAN		32
4.1	Morfologi dan Karakteristik Lapisan Intermetalik	32
4.2	Pengaruh Unsur Mangan dan Waktu Kontak Terhadap Fasa Intermetalik yang Terbentuk.....	35
4.3	Pengaruh Unsur Mangan dan Waktu Kontak Terhadap Ketebalan Lapisan Intermetalik	48
4.4	Pengaruh Unsur Mangan Terhadap Sifat Mekanis Lapisan Intermetalik.....	56
BAB 5 KESIMPULAN.....		61
DAFTAR REFERENSI		63

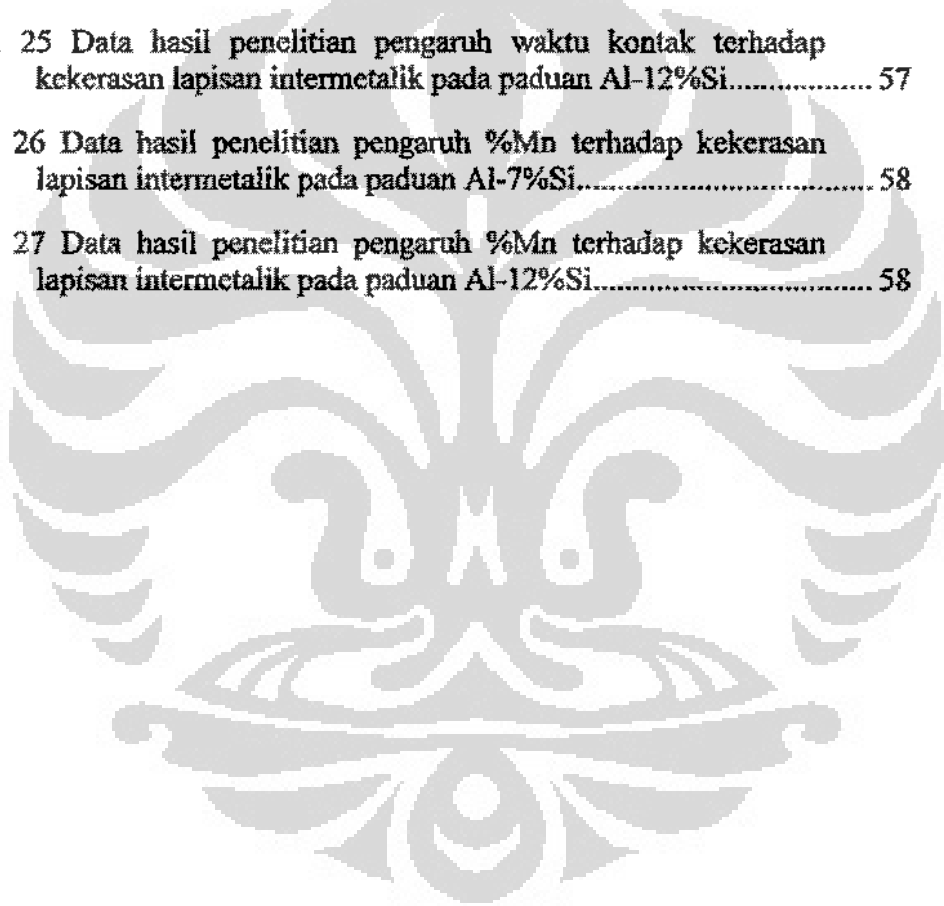
DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 <i>Core pin</i> yang terkena <i>soldering</i> dan (b) lapisan intermetalik yang.....	6
Gambar 2. 2 Skematis fenomena <i>die soldering</i> (Y.L. Chu, P.S. Cheng, and R. Shivpuri,2003)	7
Gambar 2. 3 Mekanisme <i>Die Soldering</i>	8
Gambar 2. 4 Daerah intergranular yang disebabkan oleh erosi aluminium cair pada batas butir sekitar permukaan cetakan(Shankar Sumanth dan Diran Apelian,2002)	9
Gambar 2. 5 Mikrostruktur dari sampel aluminium A380 yang mengalami pelengketan pada cetakan H13. (Kiri) Foto makro (50X) menunjukkan <i>pit</i> erosi pada permukaan H-13 (Kanan) Bagian dari sampel (kiri) dimana ditemukan aluminium yang lengket pada permukaan cetakan(Shankar,Sumanth. Diran Apelian,2002)	9
Gambar 2. 6 <i>Pitting</i> awal dan terbentuknya fasa intermetalik biner (Sumanth Shankar, Diran Apelian, 2002).....	10
Gambar 2. 7 Lapisan intermetalik berbentuk piramid ditemukan pada permukaan cetakan (Shankar,Sumanth. Diran Apelian,2002).....	11
Gambar 2. 8 Pertumbuhan awal lapisan intermetalik berbentuk piramid(Shankar,Sumanth. Diran Apelian,2002)	11
Gambar 2. 9 Fotomikro yang menunjukkan <i>pit</i> terbentuk pada permukaan cetakan, kemudian fasa intermetalik terbentuk dan tumbuh pada <i>pit</i> , selanjutnya bagian dari aluminium menempel pada lapisan intermetalik dan tersisa pada baja cetakan(Shankar,Sumanth. Diran Apelian,2002).	12
Gambar 2. 10 Skema susunan pertumbuhan lapisan intermetalik dan void internal dengan oksida (a) as-coated steel. (b) difusi Al dari aluminium dan pertumbuhan retak. (c) pertumbuhan $FeAl_2+Fe_2Al_5$ dan presipitat FeAl. (d) pertumbuhan FeAl dalam $FeAl_2+Fe_2Al_5$. (e) pembentukan logam bebas dalam presipitat FeAl (f) pembentukan void internal. (g) Pertumbuhan void dan FeAl dalam lapisan intermetalik. (h) Pertumbuhan FeAl ke seluruh lapisan intermetalik (Yo-Yu Chang,2006).....	14
Gambar 2. 11 Diagram Fasa Fe-Al (ASM International,1994)	15

Gambar 2. 12 Lapisan intermetalik yang terbentuk pada baja H13 yang dicelup ke dalam paduan aluminium cair A380 selama 2 jam pada temperatur 680°C (V. Joshi, A. Srivastava, R. Shivpuri, 2004).	17
Gambar 2. 13 Diagram Fasa Al-Fe-Si (N.C.W. Kuijpers, 2000)	18
Gambar 2. 14 Perubahan diagram fasa AlFeSi akibat adanya pengaruh Mn a) 0%Mn, b) 0.1%Mn, c) 0.2%Mn, d) 0.3%Mn (Y.L. Chu, P.S. Cheng, dan R. Shivpuri, 2003)	20
Gambar 2. 15 Pengaruh unsur utama dalam fenomena <i>die soldering</i> (Shankar Sumanth dan Apelian Diran, 2000)	20
Gambar 2. 16 Fasa jarum β -AlFeSi vs cubic α -AlFeMnSi (a) 200 μ m dan (b) 20 μ m (Y.L. Chu, P.S. Cheng, dan R. Shivpuri, 1993)	21
Gambar 2. 17 Pertumbuhan dan pelarutan lapisan intermetalik (Shahverdi. H.R., 2002)	23
Gambar 3. 1 Penampang dapur <i>holding</i>	25
Gambar 3. 2 Gergaji mesin	25
Gambar 3. 3 Alat uji kekerasan mikrovickers	26
Gambar 3. 4 SEM yang dilengkapi dengan EDS	26
Gambar 3. 5 Tahapan pemotongan material H13	27
Gambar 3. 6 Penampang dapur <i>holding</i>	29
Gambar 3. 7 Tahapan pemotongan material H13 hasil pencelupan ke dalam aluminium cair	30
Gambar 3. 8 Mounting sampel	30
Gambar 4. 1 Foto mikro hasil pengujian <i>Scanning electron microscope</i> dengan perbesaran 350X	32
Gambar 4. 2 Foto mikro hasil pengujian <i>Scanning electron microscope</i> dengan perbesaran 350X	33
Gambar 4. 3 Grafik kadar Aluminium pada lapisan intermetalik paduan Al-7%Si	38
Gambar 4. 4 Grafik kadar Besi pada lapisan intermetalik paduan Al-7%Si	38
Gambar 4. 5 Grafik kadar Aluminium pada lapisan intermetalik paduan Al-12Si	39

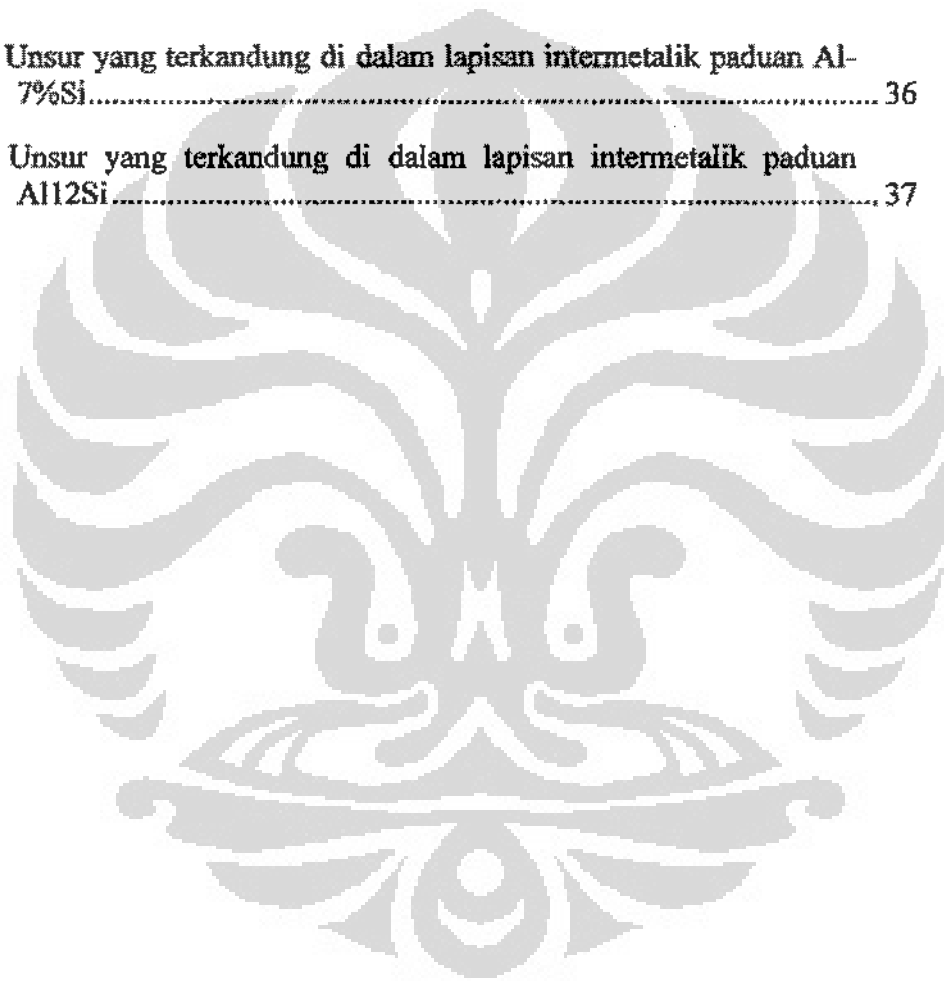
Gambar 4. 6 Grafik kadar besi pada lapisan intermetalik paduan Al-12Si.....	39
Gambar 4. 7 Data hasil XRD paduan Al-7%Si 0.1%M,0.3%Mn,0.5%Mn, dan 0.7%Mn dengan waktu kontak 20 menit dibandingkan dengan Al-7%Si 0.7%Mn.....	41
Gambar 4. 8 Data hasil XRD paduan Al-12%Si 0.1%M,0.3%Mn,0.5%Mn, dan 0.7%Mn dengan waktu kontak 20 menit dibandingkan dengan Al-12%Si 0.7%Mn.....	41
Gambar 4. 9 Analisa XRD lapisan intermetalik menggunakan radiasi monokromatik Cu Ka yang dioperasikan pada 40kV dan 100mA (Yo Yu Chang, 2006)	43
Gambar 4. 10 Hasil XRD <i>master alloy</i> Al-7%Si 0.1%Mn dengan baja H13 hasil pencelupan dalam Al-7%Si 0.1%Mn dengan waktu kontak 20 menit	44
Gambar 4. 11 Hasil XRD <i>master alloy</i> Al-7%Si 0.3%Mn dengan baja H13 hasil pencelupan dalam Al-7%Si 0.3%Mn dengan waktu kontak 20 menit	44
Gambar 4. 12 Hasil XRD <i>master alloy</i> Al-7%Si 0.5%Mn dengan baja H13 hasil pencelupan dalam Al-7%Si 0.5%Mn dengan waktu kontak 20 menit	45
Gambar 4. 13 Hasil XRD <i>master alloy</i> Al-7%Si 0.7%Mn dengan baja H13 hasil pencelupan dalam Al-7%Si 0.7%Mn dengan waktu kontak 20 menit	45
Gambar 4. 14 Hasil XRD <i>master alloy</i> Al-12%Si 0.1%Mn dengan baja H13 hasil pencelupan dalam Al-12%Si 0.1%Mn dengan waktu kontak 20 menit.....	46
Gambar 4. 15 Hasil XRD <i>master alloy</i> Al-12%Si 0.3%Mn dengan baja H13 hasil pencelupan dalam Al-12%Si 0.3%Mn dengan waktu kontak 20 menit.....	46
Gambar 4. 16 Hasil XRD <i>master alloy</i> Al-12%Si 0.5%Mn dengan baja H13 hasil pencelupan dalam Al-12%Si 0.5%Mn dengan waktu kontak 20 menit.....	47
Gambar 4. 17 Hasil XRD <i>master alloy</i> Al-12%Si 0.7%Mn dengan baja H13 hasil pencelupan dalam Al-12%Si 0.7%Mn dengan waktu kontak 20 menit.....	47
Gambar 4. 18 Data hasil penelitian pengaruh unsur Mn terhadap ketebalan <i>compact layer</i> pada paduan Al-7%Si dalam fungsi waktu.....	49
Gambar 4. 19 Data hasil penelitian pengaruh unsur Mn terhadap ketebalan <i>broken layer</i> pada paduan Al-7%Si dalam fungsi waktu	51

Gambar 4. 20 Data hasil penelitian pengaruh unsur Mn terhadap ketebalan <i>compact layer</i> pada paduan Al-12%Si dalam fungsi waktu.....	52
Gambar 4. 21 Data hasil penelitian pengaruh unsur Mn terhadap ketebalan <i>broken layer</i> pada paduan Al-12%Si dalam fungsi waktu	53
Gambar 4. 22 Data hasil penelitian pengaruh unsur Mn terhadap total ketebalan lapisan intermetalik pada paduan Al-7%Si	55
Gambar 4. 23 Data hasil penelitian pengaruh unsur Mn terhadap total ketebalan lapisan intermetalik pada paduan Al-12%Si	55
Gambar 4. 24 Data hasil penelitian pengaruh waktu kontak terhadap kekerasan lapisan intermetalik pada paduan Al-7%Si.....	56
Gambar 4. 25 Data hasil penelitian pengaruh waktu kontak terhadap kekerasan lapisan intermetalik pada paduan Al-12%Si.....	57
Gambar 4. 26 Data hasil penelitian pengaruh %Mn terhadap kekerasan lapisan intermetalik pada paduan Al-7%Si.....	58
Gambar 4. 27 Data hasil penelitian pengaruh %Mn terhadap kekerasan lapisan intermetalik pada paduan Al-12%Si.....	58



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Struktur Kristal dan rentang stabilitas yang terbentuk dalam system biner Fe-Al pada temperatur ruang.....	16
Tabel 2.2 Konstanta termodinamik fasa intermetalik dalam system fasa biner...	17
Tabel 2.3 Pengaruh beberapa elemen terhadap ketebalan lapisan <i>intermediate</i> (Y.L. Chu, P.S. Cheng, and R. Shrivpuri,1993)	19
Tabel 4.1 Unsur yang terkandung di dalam lapisan intermetalik paduan Al-7%Si.....	36
Tabel 4.2 Unsur yang terkandung di dalam lapisan intermetalik paduan Al12Si.....	37



BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Paduan aluminium silikon (mengandung lebih dari 4%Si) merupakan paduan aluminium tuang yang memiliki aplikasi terluas di dunia selama 60 tahun belakangan ini. Hal tersebut dikarenakan paduan aluminium silikon tuang memiliki kelebihan antara lain kekuatan yang tinggi, ringan dengan densitas yang rendah, tahan terhadap korosi, konduktivitas panas dan listrik tinggi, mampu cor tinggi dan biaya pengerjaan rendah.^[1,2]

Saat ini tidak diragukan lagi bahwa industri otomotif merupakan pengguna terbesar paduan aluminium silikon tuang. Setiap tahunnya, total permintaan paduan aluminium silikon tuang bertambah secara konstan. Fenomena ini dapat kita lihat pada sepuluh tahun terakhir, semenjak dimulainya produksi aluminium untuk otomotif terutama untuk komponen : blok silinder, piston, rangka otomotif, dan lain-lain.^[3]

Salah satu proses pengaplikasiannya adalah penggunaan paduan aluminium silikon tuang dalam proses *die casting*, dimana proses ini telah berkembang sejak beberapa dekade lalu. Dengan berbagai keuntungannya, seperti proses yang relatif mudah dan murah serta produknya yang sangat kuat dan tahan lama, penggunaan paduan aluminium silikon tuang dalam proses *die casting* menjadi suatu hal yang berprospek cerah dalam dunia industri. Namun disisi lain, harga/biaya dari cetakan *die casting* relatif tinggi yaitu mencapai 20% dari biaya produksi total pada industri aluminium *die casting*^[4]. Oleh sebab itu, umur pakai sebuah cetakan merupakan faktor penting dalam proses *die-casting*. Dalam prakteknya, terdapat suatu permasalahan dominan terjadi pada proses *die casting* menggunakan paduan aluminium, yaitu fenomena *die soldering* yang mengakibatkan berkurangnya umur pakai cetakan.

Die soldering merupakan hasil dari reaksi permukaan antara aluminium cair dengan material cetakan, dimana paduan aluminium cair menempel pada

cetakan yang terbuat dari baja perkakas kemudian tertinggal pada permukaan cetakan setelah pelepasan hasil pengecoran^[5]. Hal tersebut mengarah kepada kegagalan cetakan dan jumlah penolakan produk yang bertambah, sehingga diperlukan perbaikan atau penggantian cetakan bila hal ini sering terjadi. Akibatnya terjadi penurunan tingkat produktivitas proses pengecoran yang signifikan. Berdasarkan penelitian mengenai pengaruh negatif *die soldering* pada *Contech LLC Squeeze Casting Plant* di Piercerton, terhitung 1.5% dari total biaya *variable overhead* disebabkan oleh kegagalan akibat *die soldering*^[6]. Oleh karena itu, apabila efisiensi dari proses pengecoran dapat ditingkatkan dengan cara meminimalisir efek *die soldering*, industri dapat menghemat bahan baku dan penggunaan energi. Untuk mengurangi atau meminimalisir terjadinya fenomena *die soldering*, diperlukan pengetahuan dan pemahaman mengenai mekanisme proses dan penyebab penempelan aluminium cair pada material cetakan.

Berbagai analisa metalografi mengenai fenomena terbentuknya lapisan intermetalik antara permukaan baja perkakas dan aluminium cair telah dilakukan. Hasil dari berbagai penelitian tersebut memperlihatkan fenomena yang cukup menarik dalam *die soldering*, mulai dari pengaruh kondisi proses seperti waktu tahan dan temperatur tahan hingga pengaruh unsur paduan dalam aluminium cair.

Berdasarkan penelitian Kajoch^[7], aluminium menunjukkan kecenderungan yang tinggi terhadap terjadinya penempelan dengan Fe. Hal tersebut terlihat dengan keberadaan lapisan intermetalik yang terdiri dari senyawa intermetalik seperti fasa Fe_2Al_5 , Fe_3Al and $FeAl_3$. Selain itu, kehadiran unsur-unsur lain pada paduan aluminium seperti Si, Cu, Mg, dan lainnya, juga menghasilkan pembentukan senyawa kompleks intermetalik yang terdapat pada lapisan intermediet. Dalam penelitian G. B. Winkelman et al^[8], lapisan intermetalik hasil *die soldering* dikarakterisasikan menjadi beberapa lapisan, yaitu : *compact intermetallic layer* yang bersifat solid, kemudian lapisan kedua disebut *broken intermetallic layer* dan *floating intermetallic layer* yang bersifat semi solid, dan *Reaction Zone Boundary (RZB)*. Q Han, dkk^[5] melakukan penelitian bahwa terdapat hubungan antara fraksi liquid dengan kandungan Fe dalam aluminium terhadap fenomena *die soldering*. Jika fraksi liquid kecil, maka ikatan antara

cetakan dan logam cair lemah sehingga proses pengeluaran benda coran (*eject*) mudah dilakukan, dan kecenderungan terjadinya *soldering* sangat kecil.

Banyak penelitian-penelitian lain mengenai upaya pengurangan kecenderungan terjadinya fenomena *die soldering* dengan memfokuskan kepada komposisi kimia yang terkandung dalam paduan aluminium antara lain : Y.L. Chu^[9] menunjukkan bahwa kemampuan cairan logam lepas dari cetakan akan meningkat dengan penambahan Mn pada batas minimal 0,4%. Dalam penelitian Shankar^[10] menghasilkan kandungan Mn sebesar 1-3% dalam paduan aluminium tipe 380, meningkatkan ketebalan intermetalik sekitar 50% pada 720-730°C. Diran Apelian^[11] melakukan penelitian bahwa penambahan unsur Mn pada aluminium menunjukkan kemiringan positif yang mengindikasikan bahwa penambahan unsur tersebut akan membantu menghindari terjadinya *die soldering*. Kemudian penelitian Bambang Suharno et al^[12,13], menunjukkan bahwa semakin tinggi kadar Fe dalam paduan Al-7%Si dan Al-12%Si, akan menurunkan total ketebalan lapisan intermetalik yang terbentuk.

Hasil penelitian Bambang Suharno, dkk mengenai peran unsur Fe dalam mengurangi pembentukan lapisan intermetalik sangat menarik, sehubungan dengan pengaruh unsur Fe terhadap hasil coran itu sendiri. Dimana selain mempertimbangkan nilai ekonomis, unsur Fe juga dapat meningkatkan kekuatan hasil coran. Namun, terdapat kandungan maksimum unsur Fe dalam paduan aluminium tuang yaitu 0.5% dan 0.75% untuk paduan Al-7%Si dan Al-12%Si berturut-turut^[14]. Mangan adalah unsur yang memiliki pengaruh yang hampir sama dengan Fe terhadap produk hasil coran, yaitu dapat meningkatkan kekuatan hasil coran dan dapat menstabilkan kadar Fe berlebih dengan membentuk suatu fasa kesetimbangan $\alpha\text{AlMnFeSi}$ ^[15]. Namun dari berbagai penelitian dunia mengenai unsur mangan, masih belum ada korelasi yang jelas mengenai pengaruh unsur mangan terhadap pembentukan lapisan intermetalik dan fenomena *die soldering*. Oleh karena itu, penulis memutuskan untuk melakukan penelitian lebih lanjut untuk memastikan pengaruh unsur mangan dalam paduan aluminium silikon terhadap pembentukan lapisan intermetalik dan fenomena *die soldering*.

1.2 Ruang Lingkup Penelitian

1.2.1 Material

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Baja perkakas H13 yang berbentuk silinder pejal
2. Paduan dasar Al-7%Si dan Al-12%Si
3. Al-80%Mn

1.2.2 Parameter Penelitian

Parameter penelitian yang digunakan adalah :

1. Temperatur tahan 700°C
2. Mn yang ditambahkan : 0,1%,0,3%, 0,5% dan 0,7%
3. Waktu pencelupan : 20, 40, dan 60 menit

1.2.3 Pengujian

Adapun berbagai jenis pengujian yang dilibatkan dalam penelitian ini adalah :

1. Pengujian 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 yang terbentuk setelah pencelupan menggunakan *Energy Dispersive Spectrometer (EDS)*.
4. Pengujian morfologi dan ketebalan lapisan intermetalik yang terbentuk setelah pencelupan menggunakan *Scanning electron microscope (SEM)*.
5. Pengujian fasa lapisan intermetalik yang terbentuk setelah pencelupan menggunakan *X-Ray Dispersive Spectrometer (XRD)*.

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk:

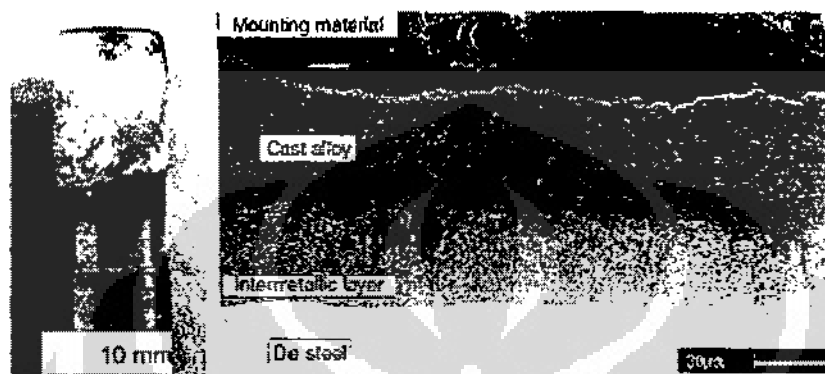
- Mengetahui waktu yang paling efektif untuk mengurangi ketebalan lapisan intermetalik pada paduan aluminium Al-7%Si dan Al-12%Si yang mengandung 0,1%, 0,3%, 0,5% dan 0,7% Mn.
- Mengetahui morfologi lapisan intermetalik yang terbentuk selama *soldering*, akibat penambahan 0,1%, 0,3%, 0,5% dan 0,7% Mn dalam Al-7%Si dan Al-12%Si.
- Mengetahui kekerasan lapisan intermetalik yang terbentuk pada paduan aluminium Al-7%Si dan Al-12%Si yang mengandung 0,1%, 0,3%, 0,5% dan 0,7% Mn.

1.4 Manfaat Penelitian

Kegunaan dari penelitian ini adalah sebagai informasi mengenai pengaruh unsur mangan pada paduan aluminium terhadap ketebalan lapisan intermetalik serta waktu yang efektif untuk mengurangi ketebalan lapisan intermetalik dalam fenomena *die soldering*. Sehingga, penelitian ini sangat diharapkan dapat digunakan sebagai referensi dalam proses pencegahan cacat *die soldering* guna meningkatkan produktivitas benda cetak dan umur pakai dari cetakan di industri pengecoran.

BAB 2 STUDI LITERATUR

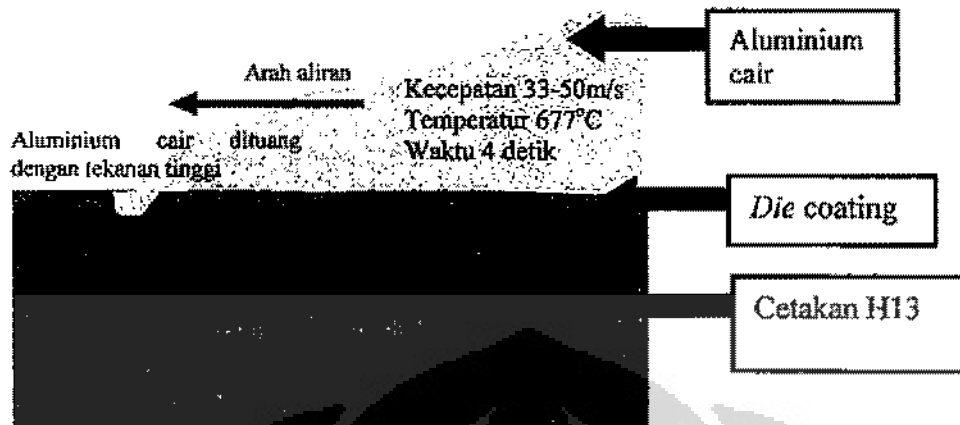
2.1 Definisi *Die Soldering*



Gambar 2. 1 Core pin yang terkena *soldering* dan (b) lapisan intermetalik yang terbentuk pada bagian yang terkena *soldering*

Menurut K.Venkatesan et al^[16], *die soldering* merupakan salah satu penyebab utama kegagalan cetakan dan terjadi akibat dari reaksi antara baja cetakan dan paduan aluminium yang diinjeksikan ke dalam cetakan. Fenomena ini dikarakterisasikan dengan pembentukan fasa intermetalik pada *interface* antarabaja cetakan dan aluminium cair. Menurut Sumanth Shankar^[17], *die soldering* atau *die sticking* adalah cacat pengecoran dimana logam cair menempel pada permukaan cetakan saat proses pengecoran dan masih tertinggal setelah proses pelepasan produk.

Penyebab terjadinya fenomena *Die soldering* adalah reaksi kinetik yang tinggi antara besi dan aluminium, dimana besi memiliki afinitas yang sangat tinggi terhadap aluminium sehingga mengakibatkan menempelnya aluminium cair ke permukaan material cetakan. Secara umum, *die soldering* merupakan hasil dari reaksi *interface* antara aluminium cair dengan material cetakan. Ketika aluminium mengalami kontak dengan material baja cetakan, atom aluminium dan atom besi saling berdifusi menghasilkan pembentukan fasa intermetalik pada permukaan material cetakan, selanjutnya paduan aluminium tuang menempel pada *die* yang terbuat dari *toolsteel* dan masih tertinggal pada saat pelepasan hasil coran^[18].



Gambar 2. 2 Skematis fenomena *die soldering*^[9]

Fenomena *die soldering* sangat berkaitan erat dengan fenomena perusakan dari lapisan tipis yang melindungi permukaan cetakan. Logam cair dimasukkan ke dalam gate pada *die* dengan tekanan tinggi (*die casting*) dengan siklus pengecoran pada umumnya kurang dari 1 (satu) menit. Sehingga, permukaan *die* akan mengalami pemasukkan aluminium cair dan terjadi keausan. Hal ini menyebabkan terjadinya kerusakan pada *coating* permukaan *die* dan lubrikannya^[9]. 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 *die 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^[9].

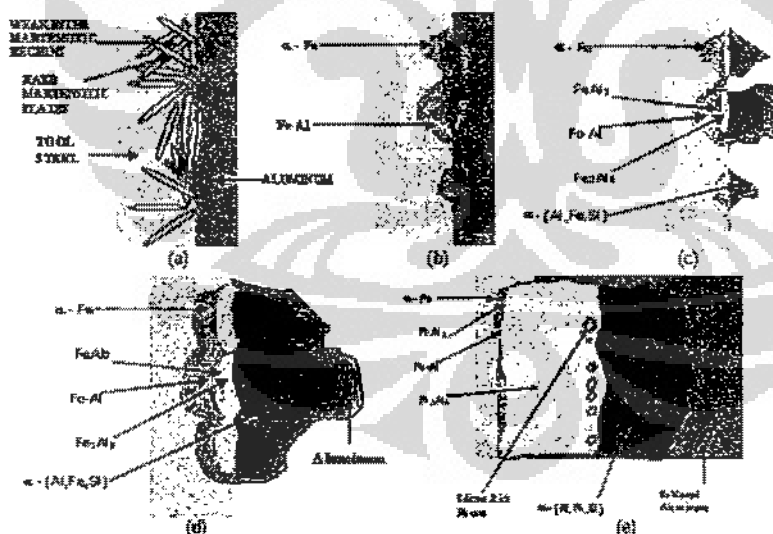
Awalnya, besi dan aluminium saling bereaksi membentuk fasa intermetalik biner Fe-Al. Kemudian, fasa tersebut bereaksi dengan aluminium cair untuk selanjutnya membentuk fasa intermetalik terner FeAlSi^[20]. Saat lapisan fasa intermetalik biner dan terner terbentuk pada material *die*, aluminium menempel pada *die* akibat adanya konduktivitas termal yang sangat rendah pada fasa intermetalik dan adanya energi *interface* antara lapisan intermetalik dan aluminium^[9].

Lapisan senyawa intermetalik FeAl yang terbentuk pada kondisi tersebut diatas umumnya FeAl₃ dan Fe₂Al₅. Awalnya terbentuk lapisan FeAl₃ pada

interface antara substrat aluminium dan baja dengan cara difusi atom besi menuju aluminium, kemudian lapisan Fe_2Al_5 terbentuk pada *interface* antara lapisan $FeAl_3$ dan baja. Telah diteliti sebelumnya bahwa pertumbuhan lapisan Fe_2Al_5 merupakan proses difusi dengan energi aktivasi untuk pertumbuhannya adalah 155 kJ mol^{-1} pada rentang temperatur 943 hingga 1073 K. Pertumbuhan lapisan intermetalik $FeAl$ dengan komposisi aluminium yang tinggi tergantung dari koefisien difusi antara substrat baja dan aluminium cair. Dimana koefisien difusi dari besi menuju aluminium adalah $53 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$, lebih besar dari koefisien difusi dari aluminium menuju besi, $1.8 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$. Sebagai tambahan, laju pertumbuhan lapisan intermetalik menurun dengan adanya peningkatan kandungan karbon dalam substrat baja, dan ditahan oleh adanya atom silikon [21].

2.2 Mekanisme *Die Soldering*

Mekanisme terjadinya *soldering* bergantung pada difusi dan reaksi kimia dari unsur yang terdapat pada cetakan dan logam cair [7]. Menurut Shankar [17], *soldering* merupakan reaksi difusi besi yang terkandung pada cetakan, masuk ke dalam aluminium cair, bereaksi membentuk lapisan intermetalik.



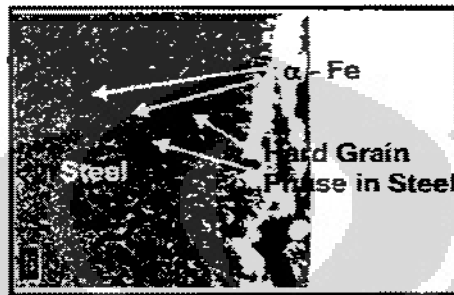
Gambar 2.3 Mekanisme *Die Soldering* [21]

Gambar 2.3 diatas menjelaskan reaksi yang terjadi antara aluminium dan cetakan. Reaksi tersebut terdiri dari 5 tahapan, yaitu [17,18,20,23,24].

1. Pengikisan batas butir pada permukaan cetakan

Cetakan yang terbuat dari baja perkakas umumnya dilakukan perlakuan panas *double tempering* hingga kekerasan sekitar Rc48–Rc50.

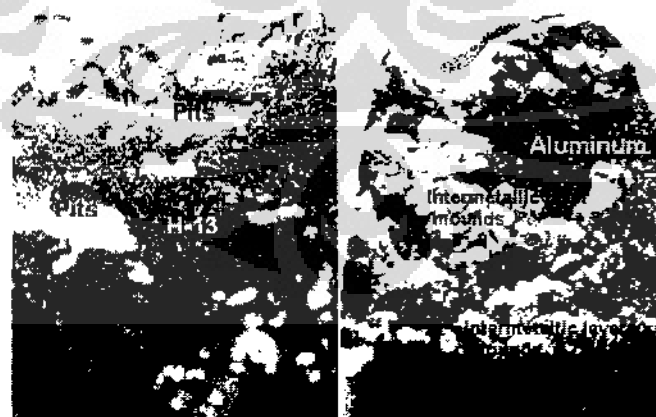
Selama siklus proses pengecoran, aluminium cair menyerang secara berulang bagian yang lunak pada permukaan cetakan, yaitu daerah antara plat martensitik dan partikel karbida yang merupakan daerah intergranular. Ketika aluminium mengerosi daerah lunak pada permukaan cetakan, menghasilkan terbentuknya *Fe-solid solution* (α -Fe) pada aluminium cair seperti yang terlihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Daerah intergranular yang disebabkan oleh erosi aluminium cair pada batas butir sekitar permukaan cetakan^[18]

1. Pembentukan sumuran (*pitting*) pada permukaan cetakan

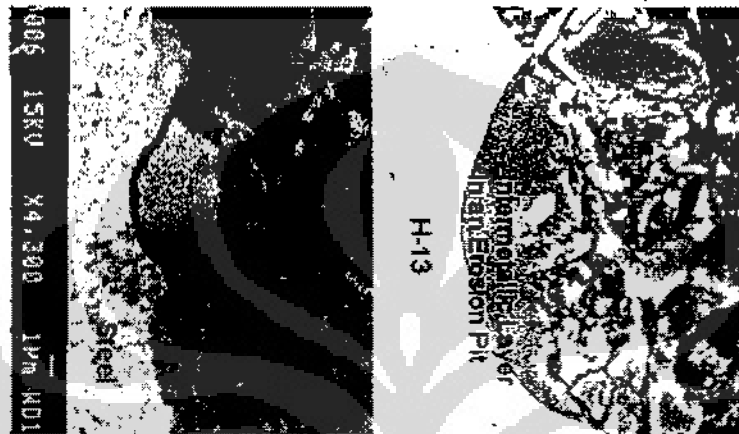
Ketika batas butir dan fasa yang lemah pada permukaan cetakan mengalami penyerangan, terbentuk *pit hemispherical* seperti yang terlihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Mikrostruktur dari sampel aluminium A380 yang mengalami pelengketan pada cetakan H13. (Kiri) Foto makro (50X) menunjukkan *pit* erosi pada permukaan H-13 (Kanan) Bagian dari sampel (kiri) dimana ditemukan aluminium yang lengket pada permukaan cetakan^[18]

2. Pembentukan senyawa intermetalik biner Fe-Al dan struktur piramid

Selanjutnya, pada permukaan *pit* tersebut, fasa biner seperti FeAl, FeAl₂, Fe₂Al₃, dan FeAl₃ terbentuk. Pembentukan berturut-turut lapisan biner tersebut merupakan akibat dari reaksi tiap fasa yang terbentuk dengan aluminium cair baru yang terus berlanjut. Hal ini ditunjukkan pada Gambar 2.6.



Gambar 2. 6 *Pitting* awal dan terbentuknya fasa intermetalik biner ^[19]

Dalam tahap selanjutnya, fasa FeAl₃ bereaksi dengan aluminium dan silikon dalam paduan aluminium cair untuk membentuk fasa terner α - (Al,Fe,Si). Lapisan intermetalik yang terbentuk selama proses ini memiliki morfologi piramid. Hal ini disebabkan oleh pertumbuhan radial dari fasa intermetalik keluar dari *pit* pada permukaan baja. Karena volume aluminium cair sangat banyak, reaksi antara fasa intermetalik dan logam cair mendominasi difusi besi dari permukaan baja. Sehingga fasa terner ini memiliki ketebalan yang paling besar dibandingkan fasa yang lain. Selanjutnya, silikon dan unsur minor lainnya (kromium, mangan, vanadium, dll) dari cetakan dan paduan aluminium cair membentuk *presipitat* pada batas butir dari fasa intermetalik Fe₂Al₃. Selain itu, *presipitat* silikon juga ditemukan pada batas antara fasa biner dan terner.

Gambar 2.7 yang menunjukkan pembentukan piramid pada permukaan cetakan juga menunjukkan *pit* terbentuk dibawah piramid dan pola pertumbuhan radial senyawa intermetalik muncul dari *pit*.



Gambar 2. 7 Lapisan intermetalik berbentuk piramid ditemukan pada permukaan cetakan^[18]

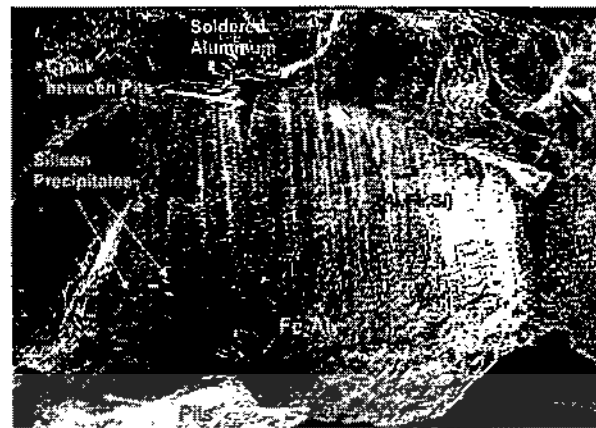
3. Penggabungan struktur piramid dari fasa intermetalik yang ada pada permukaan cetakan

Produk reaksi terakhir antara besi dan paduan aluminium cair adalah pembentukan fasa α -(Al,Fe,Si). Sesaat setelah lapisan intermetalik piramid terbentuk pada permukaan cetakan, aluminium berlebih menempel pada piramid, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.8.



Gambar 2. 8 Pertumbuhan awal lapisan intermetalik berbentuk piramid^[18]

Penempelan tersebut terjadi kemungkinan akibat pengaruh energi permukaan dari lapisan intermetalik yang menonjol ke arah aluminium cair dan akibat rendahnya konduktivitas termal dari fasa intermetalik dibandingkan dengan permukaan baja. Sehingga, ketika bagian lain dari hasil pengecoran telah memadat dan siap untuk di lepas, cairan logam sekitar lapisan intermetalik sedang mengalami pembekuan. Hal inilah yang menyebabkan penempelan logam cair disekitar lapisan intermetalik bahkan hingga setelah hasil pengecoran telah dilepas, seperti terlihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2. 9 Fotomikro yang menunjukkan *pit* terbentuk pada permukaan cetakan, kemudian fasa intermetalik terbentuk dan tumbuh pada *pit*, selanjutnya bagian dari aluminium menempel pada lapisan intermetalik dan tersisa pada baja cetakan^[18].

4. Pertumbuhan fasa intermetalik dan sumuran

Seiring dengan berjalannya waktu, *pit* erosi melebar dan bergabung satu sama lain, menghasilkan *pit* yang lurus. Saat lapisan intermetalik terbentuk didalam *pit*, *pit* berhenti untuk tumbuh ke arah permukaan baja melainkan tumbuh sejajar dengan permukaan baja. Ketika *pit* mulai bergabung satu sama lain, aluminium cair yang masuk ke permukaan baja terperangkap pada gap, kemudian tumbuh retak antara lapisan intermetalik dari *pit* yang bersebelahan. Gambar 2.9 juga menunjukkan retak yang terbentuk antara lapisan intermetalik piramid.

Tahapan yang paling vital dalam proses *die soldering* adalah saat pengikisan awal permukaan baja cetakan oleh aluminium cair dan pembentukan senyawa intermetalik pertama (tahap I hingga tahap III). Dalam material cetakan baja, terdapat rentang waktu antara tahapan tersebut yang sangat sedikit, karena adanya reaksi kinetik yang sangat cepat dalam pembentukan senyawa lapisan intermetalik biner Fe_xAl_y setelah terjadinya *pitting* pada permukaan baja cetakan. Mekanisme pembentukan *pit* disinyalir terjadi akibat dua kemungkinan, yaitu pertama adanya tumbukan secara mekanis aluminium cair ke permukaan cetakan, dan kedua adanya korosi intergranular pada permukaan cetakan akibat aluminium cair^[16]. Erosi atau pengikisan secara mekanis sangat tergantung oleh kekuatan dan kekerasan dari material cetakan, sedangkan korosi intergranular

tergantung dari komposisi kimia dan konsistensi mikrostruktur pada permukaan baja cetakan^[10,23].

Sesaat setelah *pit* pertama kali terbentuk pada baja cetakan, lapisan intermetalik pun ikut terbentuk, kemudian aluminium cair secara instan menempel pada lapisan intermetalik tersebut. Tebalnya lapisan intermetalik pertama yang menempel pada permukaan baja cetakan menunjukkan seberapa besar kecenderungan terjadinya cacat *die soldering* pada baja cetakan tersebut^[20].

2.3 Lapisan Intermetalik

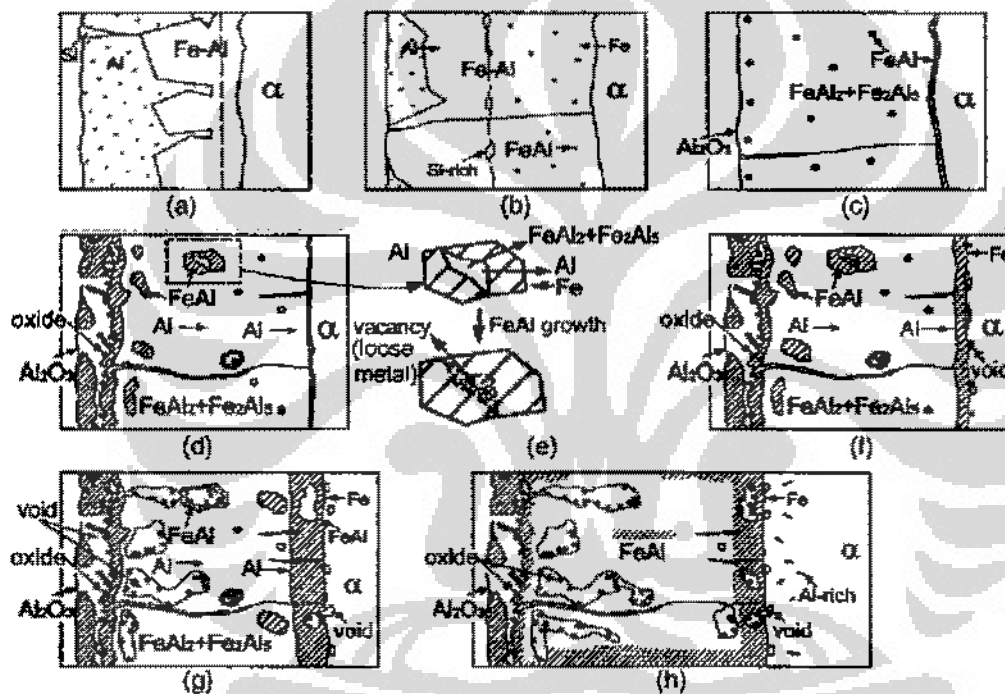
2.3.1 Lapisan Intermetalik Biner

Lapisan intermetalik adalah lapisan fasa padat yang terbentuk akibat adanya dua atau lebih unsur logam berbeda yang saling berdifusi. Kemudian membentuk kombinasi dari dua atau lebih unsur logam tersebut dengan struktur kristal yang berbeda dari unsur logam pembentuknya^[25]. Pertumbuhan lapisan intermetalik merupakan hasil dari difusi suatu unsur logam menuju unsur logam lainnya melalui kekosongan (*vacancy*) struktur kristal. *Vacancy* tersebut akan muncul sebagai fitur yang bergerak dan memiliki kecenderungan untuk bergabung satu sama lain kemudian terlihat sebagai bentuk *void* atau pori^[26].

Yo-Yu Chang^[27] meneliti proses pencelupan 9Cr-1Mo steel ke dalam Al-7%Si menghasilkan dua jenis lapisan aluminide, yaitu lapisan aluminium bagian atas dan bagian dalam yang merupakan senyawa intermetalik Fe-Al dengan Si terlarut didalamnya. Setelah lapisan aluminium bagian atas menghilang, lapisan intermetalik didominasi oleh Fe_2Al_5 dan $FeAl_2$. Perbedaan ekspansi termal pada *interface* antara lapisan $Fe_2Al_5 + FeAl_2$ dan permukaan baja menyebabkan terjadinya tegangan tarik pada lapisan $Fe_2Al_5 + FeAl_2$ yang akan mengarah pada pembentukan retak. Ketika semua lapisan $Fe_2Al_5 + FeAl_2$ bertransformasi menjadi FeAl, retak juga dapat dilihat pada lapisan bagian atas.

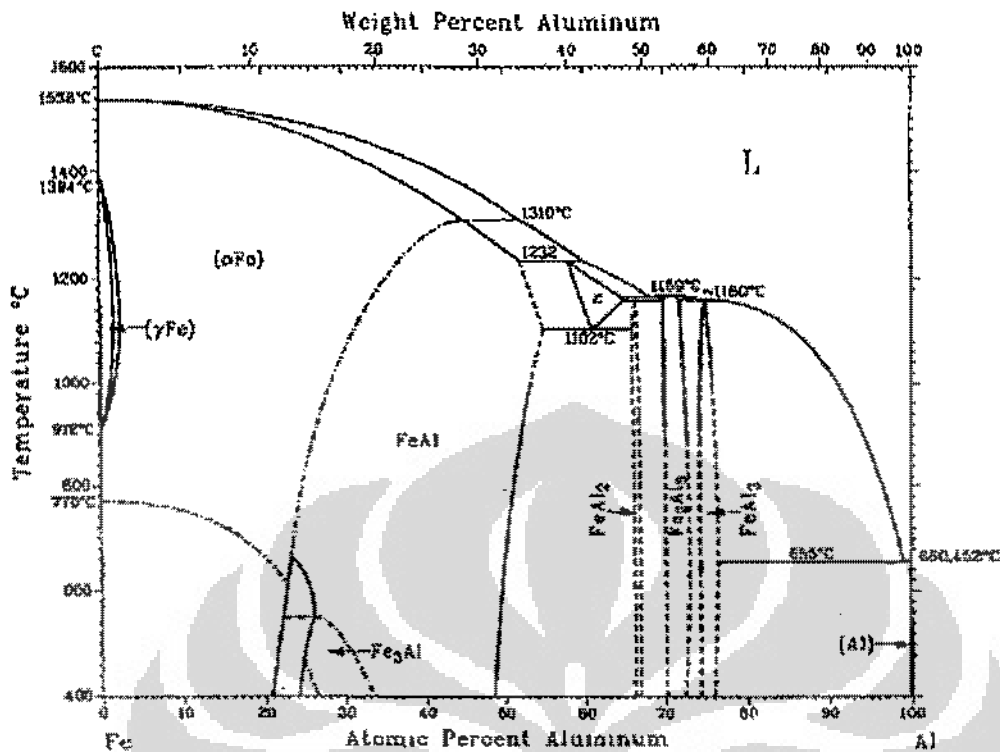
Seiring dengan peningkatan waktu, *void* dan *cavities* terbentuk di bawah lapisan Al_2O_3 yang terbentuk akibat konsumsi oksidasi dan difusi atom Al dari aluminium cair. Difusi atom Al dari aluminium cair mendominasi pada tahap ini, sedangkan konsumsi akibat pertumbuhan oksida merupakan faktor minor. Kemudian, adanya difusi lanjutan Al dari aluminium cair dan Fe dari permukaan baja menuju lapisan $Fe_2Al_5 + FeAl_2$ membuat lapisan $Fe_2Al_5 + FeAl_2$ menjadi

tidak stabil dan mengarah pada pembentukan presipitat $\text{FeAl}(\text{Cr,Si})$ yang menyebar pada lapisan intermetalik. Ketika presipitat FeAl semakin membesar, terbentuk *loose metal* pada FeAl yang memiliki komposisi kimia sama dengan FeAl . Selain itu, perubahan volume akibat perubahan fasa juga dapat terjadi akibat adanya pembentukan FeAl . Hal ini disebabkan berat jenis FeAl adalah $5,37 \text{ g/cm}^3$, sedangkan FeAl_2 dan Fe_2Al_5 secara berturut-turut adalah $4,36 \text{ g/cm}^3$ dan $4,11 \text{ g/cm}^3$. Berat jenis FeAl_2 dan Fe_2Al_5 tidak berbeda jauh. Ketika $\text{Fe}_2\text{Al}_5 + \text{FeAl}_2$ bertransformasi menjadi FeAl , tegangan tarik terjadi pada batas presipitat FeAl akibat berat jenis FeAl yang lebih tinggi.



Gambar 2. 10 Skema susunan pertumbuhan lapisan intermetalik dan void internal dengan oksida (a) as-coated steel. (b) difusi Al dari aluminium dan pertumbuhan retak. (c) pertumbuhan $\text{FeAl}_2+\text{Fe}_2\text{Al}_5$ dan presipitat FeAl (d) pertumbuhan FeAl dalam $\text{FeAl}_2+\text{Fe}_2\text{Al}_5$. (e) pembentukan logam bebas dalam presipitat FeAl (f) pembentukan void internal. (g) Pertumbuhan void dan FeAl dalam lapisan intermetalik. (h) Pertumbuhan FeAl ke seluruh lapisan intermetalik [27].

Dalam proses *die casting*, lapisan intermetalik (Fe_xAl_y) terbentuk pada permukaan cetakan ketika logam cair (aluminium) kontak langsung dengan cetakan (baja H13). Morfologi dari lapisan intermetalik tersebut tergantung pada reaksi *interface* antara aluminium cair dan material cetakan yang dipengaruhi oleh komposisi logam cair dan cetakan, temperatur logam cair dan waktu kontak [28].



Gambar 2. 11 Diagram Fasa Fe-Al^[29]

Gambar diatas merupakan diagram fasa Al-Fe, dimana berdasarkan diagram tersebut dapat terlihat bahwa apabila terjadi reaksi antara aluminium cair dengan material baja, terdapat lima jenis lapisan intermetalik yang kemungkinan terbentuk yaitu Fe_3Al , $FeAl$, $FeAl_2$, Fe_2Al_5 dan $FeAl_3$ ^[29].

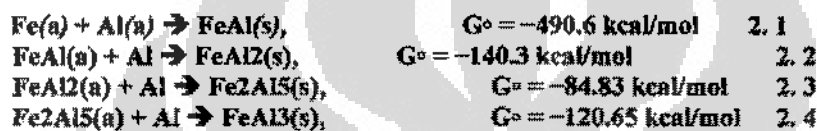
Dalam penelitiannya, Shahverdi et al^[30] menyatakan bahwa awal pertumbuhan lapisan intermetalik menuju aluminium kemungkinan bertujuan untuk mengurangi terjadinya proses difusi atom besi dari *die* menuju aluminium cair. Setelah lapisan intermetalik pertama terbentuk (Fe_2Al_5), pertumbuhan berikutnya tergantung dari difusi atom besi dan atau aluminium dalam Fe_2Al_5 . Dimana energi aktivasi untuk difusi atom besi dan aluminium dalam Fe_2Al_5 secara berurutan adalah 107 dan 171 $kJ \cdot mol^{-1}$. Oleh karena itu akan lebih mudah bagi aluminium untuk berdifusi dan membentuk lapisan intermetalik yang bertumbuh ke arah bagian yang kaya akan unsur besi.

Eggeler et al^[31] mempelajari reaksi yang terjadi pada baja paduan rendah dengan aluminium cair. Dalam penelitian tersebut dihasilkan dua lapisan intermetalik (fasa Fe_2Al_5 yang berbatasan dengan substrat baja dan fasa $FeAl_3$

yang berbatasan dengan aluminium) dengan pertumbuhan yang menunjukkan deviasi negatif dari persamaan parabolic setelah reaksi beberapa lama.

Sedangkan Heumann dan Dittrich^[32] mengidentifikasi lapisan intermetalik Fe_2Al_5 sebagai konstituen dominan dari total lapisan intermetalik yang terbentuk dan membentuk kurva parabolik terhadap waktu. Hal ini disebabkan adanya pertumbuhan dan pelarutan lapisan intermetalik untuk waktu celup yang cukup lama.

Berdasarkan diagram fasa Fe-Al, kemungkinan urutan pembentukan lapisan fasa intermetalik pada $680^\circ C$ beserta energi bebasnya adalah sebagai berikut^[33],



Dibawah ini merupakan tabel struktur kristal, kestabilan dan konstanta termodinamika lapisan intermetalik

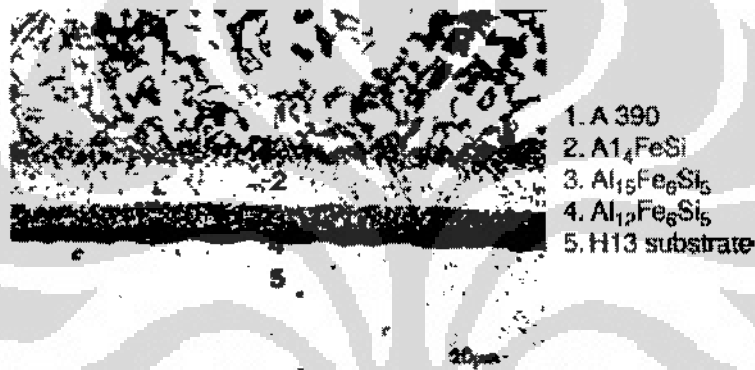
Tabel 2. 1 Struktur Kristal dan rentang stabilitas yang terbentuk dalam system biner Fe-Al pada temperatur ruang

Fasa	Struktur Kristal	Rentang Stabilitas (wt%)	Berat Jenis (Mg/mm^3)
Fe solid solution	BCC	0-45	7.8
γ -Fe	FCC	0-1.3	7.8
FeAl (β_2)	BCC (order)	23-55.5	5.58
Fe_3Al (β_1)	Do3	23-34	6.72
Fe_2Al_7 (ϵ)	Cubic (complex)	58-65	-
$FeAl_2$ (ζ)	Triclinic	66-66.9	4.36
Fe_2Al_5 (η)	Orthorombic	70-73	4.11
$FeAl_3$ (θ)	Monoclinic	74.5-76.5	3.9
Al Solid solution	FCC	99.998-100	2.69

Tabel 2. 2 Konstanta termodinamik fasa intermetalik dalam system fasa biner

Fasa	ΔH_{298} (J/mol)	ΔS_{298} (K-1mol-1)	ΔG_{298} (J/mol)
FeAl ₃ (θ)	-112560	95.6	-22869
Fe ₂ Al ₃ (η)	-194040	166.7	-19636
FeAl ₂ (ζ)	-81900	73.3	-16999
FeAl (β_2)	-51240	51	-11090
Fe ₃ Al (β_1)	-57372	28	-4827

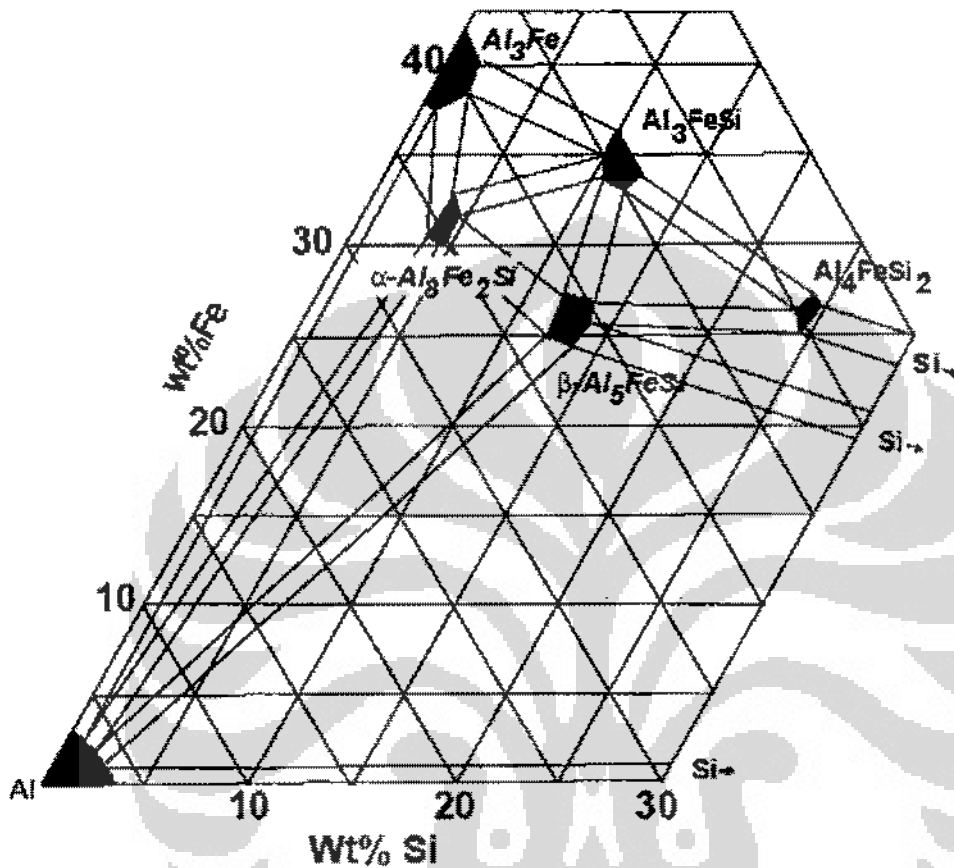
2.3.2 Lapisan Intermetalik Terner



Gambar 2. 12 Lapisan intermetalik yang terbentuk pada baja H13 yang dicelup ke dalam paduan aluminium cair A380 selama 2 jam pada temperatur 680 °C^[28]

Gambar 2.12 merupakan lapisan intermetalik yang terbentuk pada baja cetakan H13 yang bereaksi dengan aluminium cair, lapisan yang terbentuk merupakan hasil dari proses difusi dimana atom besi berdifusi keluar dari cetakan (baja) menuju aluminium cair. Lapisan intermetalik dapat terbentuk pada permukaan cetakan melalui dua cara, yaitu *solid-state diffusion* atau reaksi dan difusi ke dalam logam cair. *Solid-state diffusion* terjadi ketika aluminium yang berasal dari logam cair lewat jenuh mengendap/menempel pada cetakan baja. Difusi aluminium-besi dalam keadaan solid (*solid-state diffusion*) dipengaruhi oleh temperatur dan konsentrasi. Difusi ini berlangsung secara lambat dan karenanya tidak sesuai dengan proses cetak tekan (*die casting*) dimana siklus injeksi berlangsung dalam milisekon. Di sisi lain, reaksi kimia dan difusi ke dalam logam cair memiliki waktu proses yang relatif singkat, dan ini merupakan

mekanisme yang dominan terjadi pada pembentukan intermetalik dan *soldering*. Pergerakan dari difusi padat-cair menghasilkan pengurangan massa atau pelarutan [24].



Gambar 2. 13 Diagram Fasa Al-Fe-Si^[24]

Gambar 2.13 menunjukkan posisi fasa untuk jenis lapisan intermetalik stabil yang berbeda dalam paduan Al-Fe-Si. Fasa-fasa ini juga dapat terbentuk pada sistem paduan Al, dimana terdapat Fe dan Si sebagai fasa konstituen.

2.4 Pengaruh Unsur Mangan Terhadap Pembentukan Lapisan Intermetalik

Penambahan unsur-unsur tertentu ke dalam aluminium sangat memberikan pengaruh besar terhadap sifat-sifat aluminium serta kegunaannya. Aluminium paduan biasanya ditambahkan beberapa unsur paduan dengan tujuan untuk meningkatkan kekuatan, disamping untuk meningkatkan sifat-sifat mekanis lainnya sesuai dengan kebutuhan yang diinginkan. Shankar^[10] secara sistematis telah mempelajari pengaruh dari komposisi paduan dalam fenomena *die soldering*

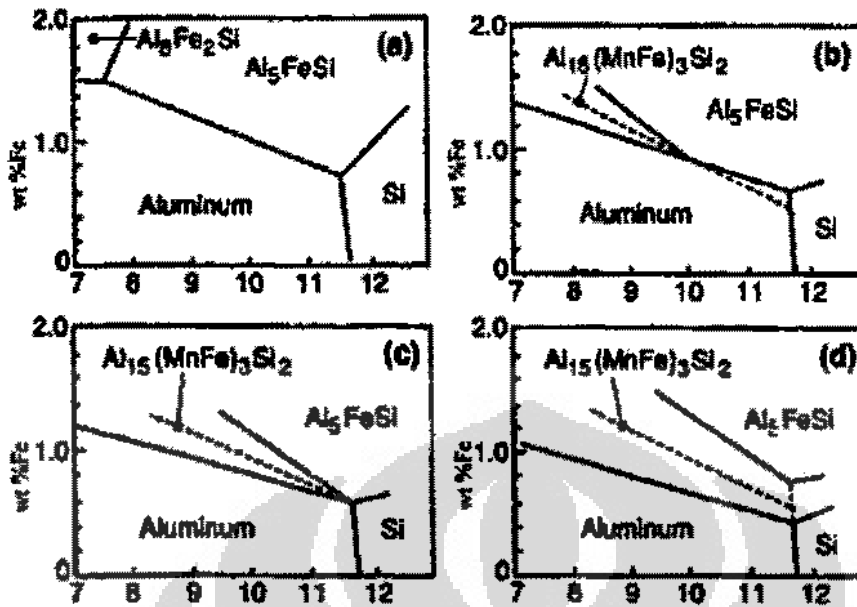
untuk paduan aluminium tipe 380 dan mengukur pengaruh dari beberapa unsur pada pertumbuhan dari lapisan antara (*intermediate*) yang ada pada permukaan baja perkakas (cetakan) dan aluminium yang tersolder.

Tabel 2. 3 Pengaruh beberapa elemen terhadap ketebalan lapisan *intermediate* ^[28]

Unsur	Jumlah	Pengaruh
Nikel	0,5 %	Ketebalan meningkat sekitar 50% pada 720-730°C
Mangan	1-3%	Ketebalan meningkat sekitar 50% pada 720-730°C
Silikon	-	Ketebalan berkurang jika kandungan Si Meningkat
Tembaga	-	Tidak Berpengaruh
Berilium	0,3-2%	Ketebalan berkurang sekitar 7%
Nitrogen Bebas	0,002-0,055%	Ketebalan berkurang sekitar 70%
Kromium	2-20%	Ketebalan berkurang sekitar 60%
Titanium	0,1%	Ketebalan berkurang sekitar 85%

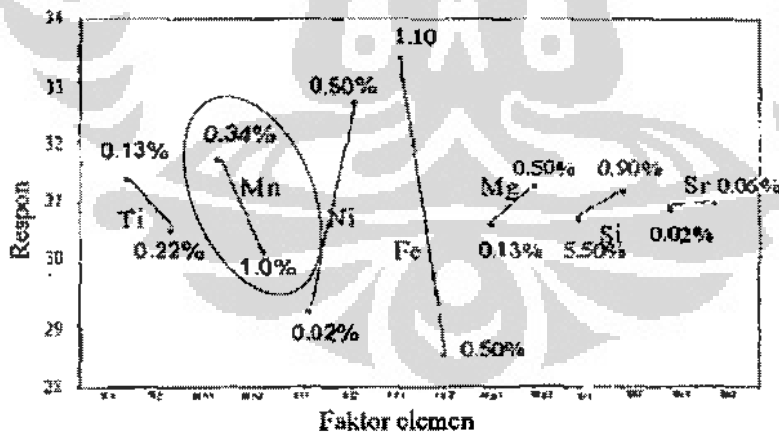
Mangan adalah salah satu unsur paduan yang sering dipergunakan dalam pengecoran aluminium. Kelarutan mangan pada aluminium, sebesar 1.82% wt pada temperatur 658°C. Penambahan mangan pada aluminium, meningkatkan kekuatan, kekerasan, ketahanan temp tinggi dan ketahanan korosi. Penambahan mangan juga membantu mengurangi daya adhesi dari logam cair ke cetakan. Tanpa adanya mangan pada aluminium, cairan akan lebih lengket dengan cetakan meskipun cetakan mempunyai berbentuk sederhana. Berdasarkan penelitian, kemampuan cairan logam lepas dari cetakan akan meningkat dengan penambahan Mn pada batas minimal 0.4%^[10].

Penambahan mangan menurunkan afinitas Al-Si terhadap Fe, terlihat pada diagram fasa Al-Fe-Si dengan penambahan Mn pada Gambar 2.14. Dimana penambahan mangan akan menurunkan kadar Fe yang dibutuhkan untuk membentuk intermetalik. Oleh karenanya, hal ini akan menurunkan reaksi penyerangan Fe oleh aluminium ketika keduanya berinteraksi. Sehingga, mampu menurunkan kecenderungan untuk terjadinya *die soldering*.



Gambar 2. 14 Perubahan diagram fase AlFeSi akibat adanya pengaruh Mn a)0%Mn, b)0.1%Mn, c)0.2%Mn, d)0.3%Mn^[25]

Shankar Sumanth dan Apelian Diran, dalam penelitiannya^[10] memberikan suatu penjelasan mengenai pengaruh unsur paduan dalam aluminium cair terhadap kecenderungan terjadinya fenomena *die soldering*. Seperti yang terlihat pada Gambar 2.15.

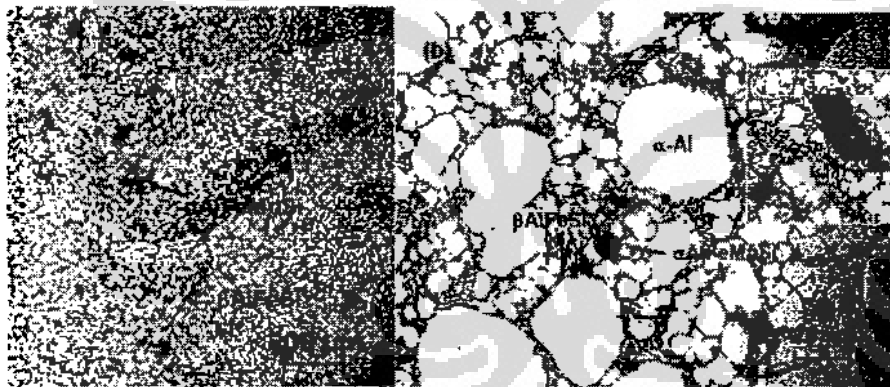


Gambar 2. 15 Pengaruh unsur utama dalam fenomena *die soldering*^[10]

Pada gambar diatas, kemiringan positif mengindikasikan bahwa penambahan unsur tersebut akan memicu timbulnya *soldering* sementara kemiringan negatif mengindikasikan hal yang sebaliknya. Jika kemiringan semakin besar, semakin besar pula pengaruh unsur pada pertumbuhan dari lapisan intermetalik. Dengan kata lain, berdasarkan penelitian Shankar Sumanth dan

Apelian Diran, peningkatan kadar mangan membantu menghindari terjadinya fenomena *die soldering*.

Berdasarkan penelitian Y.L. Chu, P.S. Cheng, dan R. Shivpuri^[28], penambahan mangan, akan membentuk fasa *cubic ternary* $Al_{15}Mn_3Si_2$ (atau sering disebut dengan $\alpha-AlMnSi$) yang akan menstabilkan kadar Fe berlebih dengan membentuk suatu fasa keseimbangan, *equilibrium quaternary phase* $Al_{15}(Fe,Mn)_3Si_2$ atau yang biasa disebut $\alpha-AlFeMnSi$. Biasanya Cr juga ditambahkan bersama dengan Mn sebagai Fe *corrector*. Selanjutnya, $\alpha-AlFeMnSi$ akan membeku sebagai *cubic phase* yang mampu mengurangi efek negatif dari Fe. Intinya, prinsip dari pengurangan efek negatif dari Fe adalah dengan mengubah morfologi dari *primary* $\beta-AlFeSi$ berbentuk jarum, dimana hal tersebut dapat dilakukan dengan cara menambahkan Mn yang akan mengubah *primary monoclinic* $\beta-AlFeSi$ menjadi fasa *cubic* $\alpha-AlFeMnSi$.



Gambar 2. 16 Fasa jarum $\beta-AlFeSi$ vs cubic $\alpha-AlFeMnSi$ (a) $200\mu m$ dan (b) $20\mu m$ ^[28]

2.5 Model Pelarutan dan Mass Loss pada Baja *die* dalam Aluminium Cair

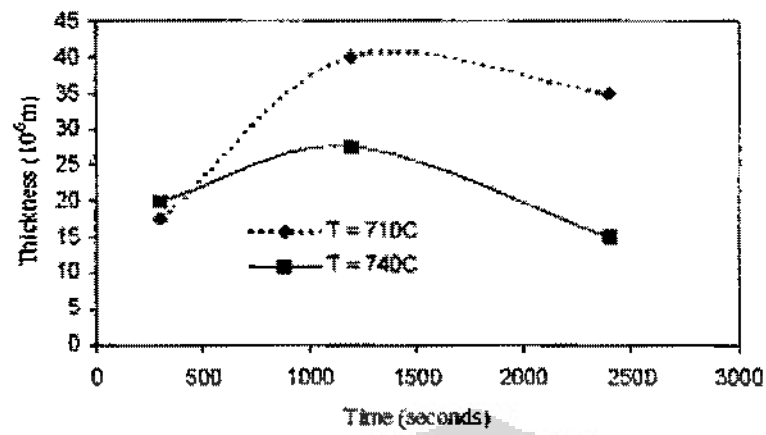
Pembentukan dan perkembangan lapisan intermetalik pada *die casting* dapat dijelaskan sebagai berikut^[30]:

- Tahap 1: Selama injeksi aluminium cair dan pembekuan, terjadi difusi atom aluminium dan Fe menuju *interface* untuk membentuk fasa intermetalik $Fe_2Al_3Si_2$ pada *interface*. Silikon merubah laju kinetik dan kelarutan Fe dalam aluminium.
- Tahap 2 : Siklus baru *die casting* mulai dan aluminium cair baru memasuki lubang cetakan. *Driving force* untuk terjadinya difusi membentuk lapisan intermetalik menurun secara perlahan, tetapi masih terdapat *driving force*

yang cukup bagi lapisan intermetalik untuk tumbuh. *Driving force* untuk pelarutan dalam tahap ini tinggi namun cenderung lebih rendah dibandingkan *driving force* untuk difusi.

- Tahap 3 : Pada siklus berikutnya, ketebalan lapisan $Fe_{x}Al_{y}Si_{z}$ mencapai batas kritisnya, *driving force* untuk terjadinya difusi menurun dan dapat diabaikan, kemudian *driving force* untuk terjadinya pelarutan semakin mendominasi. Hal ini mengakibatkan lapisan intermetalik terlarut dalam aluminium cair.
- Tahap 4 : Terjadi *mass loss* pada permukaan cetakan namun permukaan tersebut cenderung bebas dari lapisan intermetalik. *Driving force* untuk terjadinya difusi meningkat karena hilangnya $Fe_{x}Al_{y}$ kedalam aluminium cair, namun masih dapat diabaikan dibandingkan dengan *driving force* untuk terjadinya pelarutan. Selanjutnya *driving force* untuk terjadinya pelarutan menurun seiring dengan meningkatnya ketebalan lapisan intermetalik.
- Tahap 5 : Proses siklus *die soldering* semakin berkembang dan pelarutan masih berlanjut sedangkan permukaan cetakan akan secara kontinyu kehilangan kadar Fe karena terlarut ke dalam aluminium cair.

Gambar 2.13 merupakan hubungan antara ketebalan lapisan intermetalik dengan waktu pada dua temperatur pencelupan yang berbeda. Kurva yang berbentuk bel tersebut merupakan hasil dari adanya dua mekanisme yang terdapat dalam proses *die soldering*, yaitu pertumbuhan dan pelarutan lapisan intermetalik. Ketika slope kurva bernilai positif menunjukkan adanya pertumbuhan lapisan intermetalik akibat adanya reaksi antara atom aluminium dari aluminium cair dan atom Fe dari baja cetakan. Sedangkan, apabila slope kurva bernilai negatif menunjukkan adanya reduksi ketebalan lapisan intermetalik akibat adanya pelarutan lapisan intermetalik yang telah terbentuk. Pada puncak kurva, laju difusi cenderung sama dengan laju pelarutan.

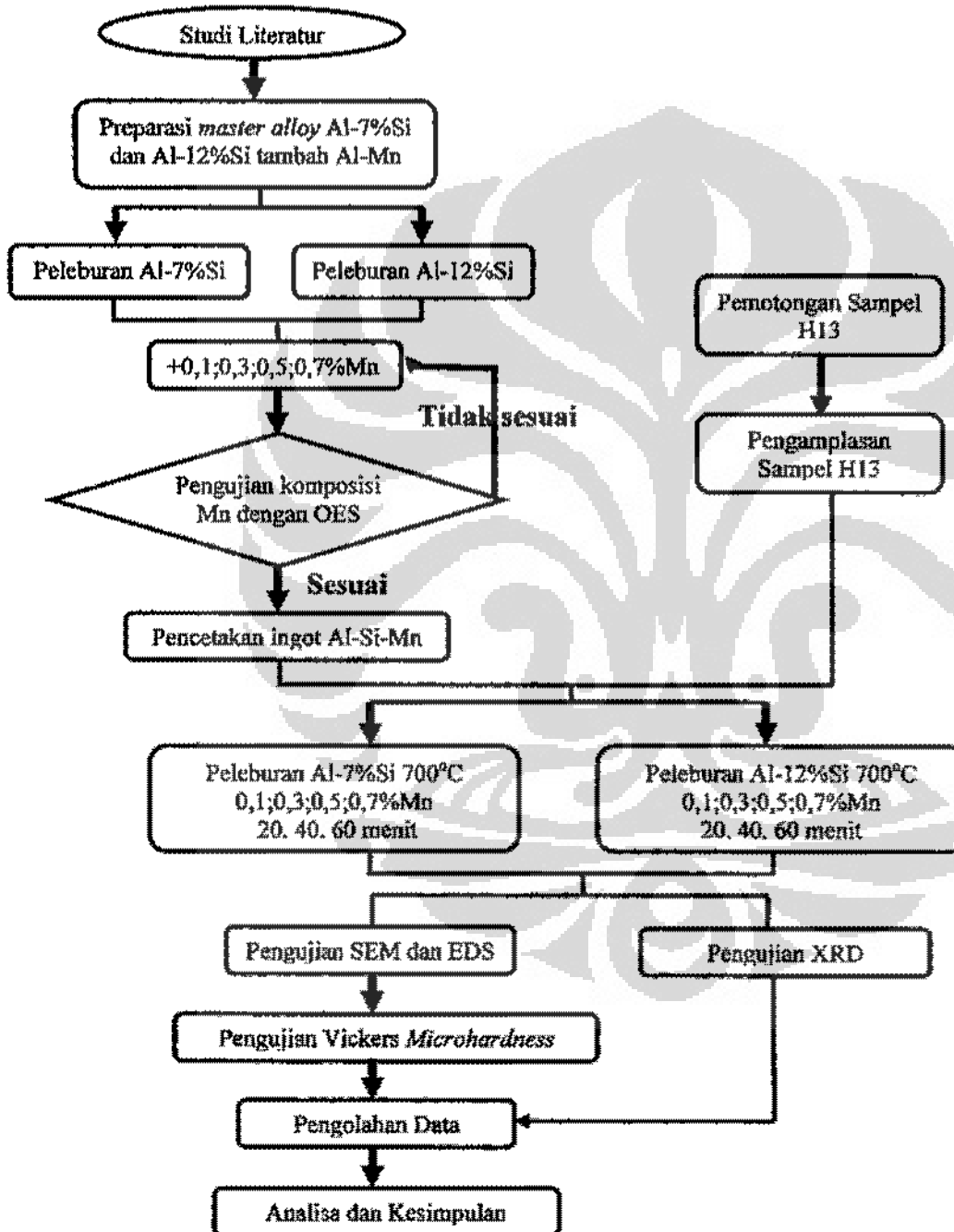


Gambar 2. 17 Pertumbuhan dan pelarutan lapisan intermetalik^[21]



BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

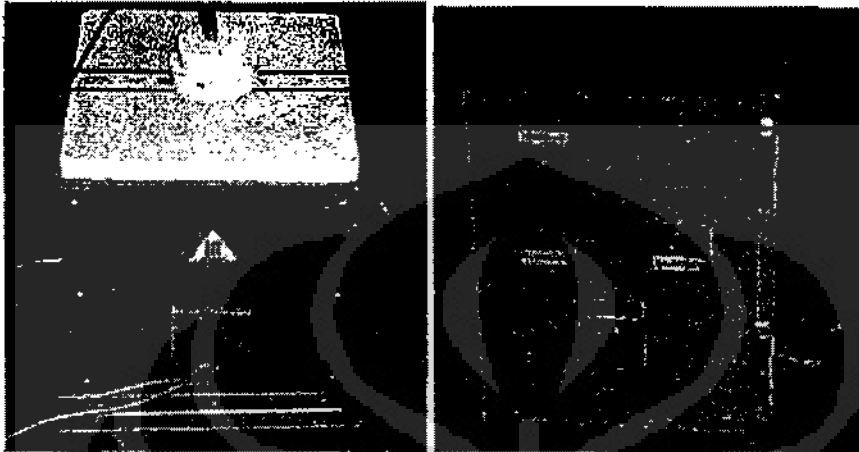
3.1 Diagram Alir



3.2 Peralatan dan Bahan

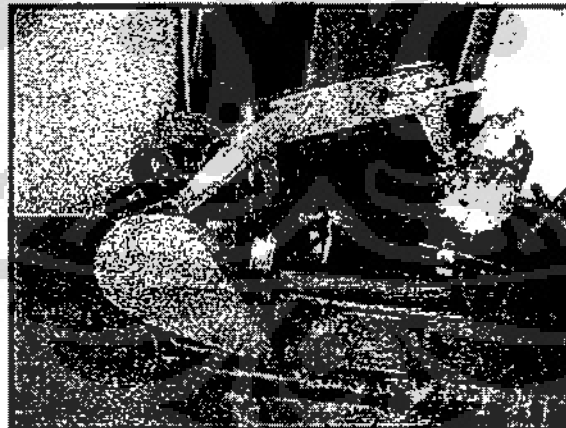
3.2.1 Peralatan

1. Dapur peleburan tipe krusibel dan *blower*
2. *Holding Furnace*



Gambar 3. 1 Penampung dapur *holding*

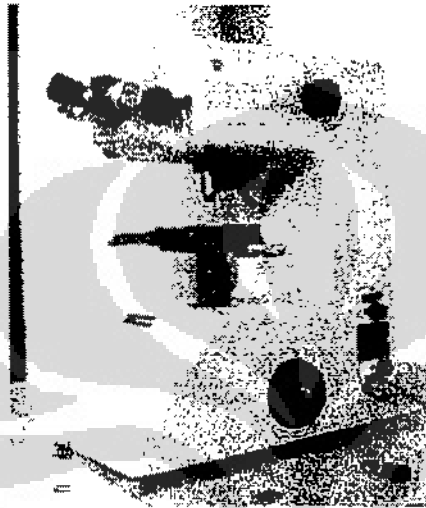
3. Mesin Potong Gerinda
4. Gergaji Mesin



Gambar 3. 2 Gergaji mesin

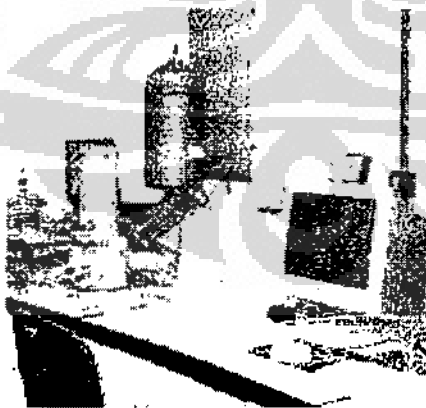
5. *Medium Speed Diamond Saw*
6. Kertas Amplas grid 240 – 1500
7. Mesin Amplas & Poles
8. Kowi (kapasitas 1000 dan 1500 gr aluminium)
9. *Thermocouple*
10. Stopwatch

11. Cetakan ingot
12. Plunger, tang penjepit, dan sendok besi
13. Plastik dan label nama
14. Peralatan keselamatan (masker dan sarung tangan)
15. Timbangan digital
16. *Vickers Microhardness Tester*



Gambar 3. 3 Alat uji kekerasan mikrovickers

17. *Optical Emission Spectrometer (OES)*
18. *Scanning Electron Microscopy (SEM)* dan *Energy Dispersive Spectrometer (EDS)*



Gambar 3. 4 SEM yang dilengkapi dengan EDS

19. *X-Ray Diffraction (XRD)*

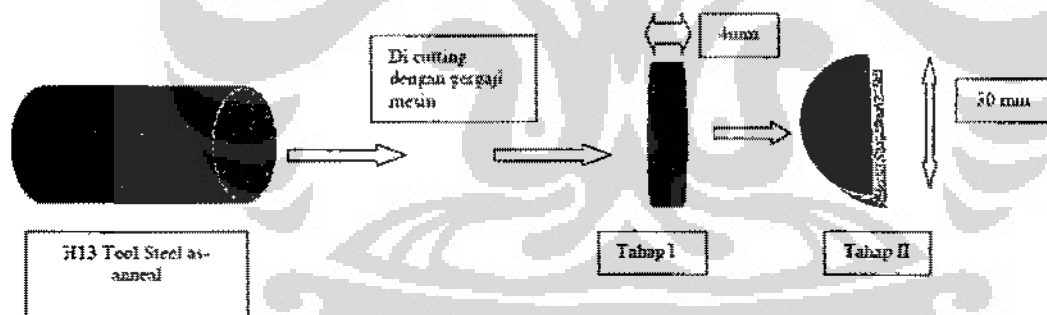
3.2.2 Bahan

1. *Master alloy* Al-7%Si dan Al-12%Si
2. Toolsteel H13
3. Material Mn (Al-80% Mn)
4. *Silica gel*
5. *Thermal coating*
6. Briket batubara & minyak tanah
7. Resin & hardener
8. Alumina
9. Nital 3%

3.3 Prosedur Penelitian

3.3.1 Pemotongan Sampel Material H13

Tahap awal dalam penelitian ini adalah memotong sampel H13 seperti pada Gambar.3.5 guna mempermudah proses pencelupan H13 ke dalam aluminium cair.



Gambar 3.5 Tahapan pemotongan material H13

Sampel tersebut dipotong menggunakan gergaji mesin sehingga memiliki bentuk setengah lingkaran dengan diameter ± 30 mm dan mempunyai ketebalan sebesar ± 4 mm.

3.3.2 Pengamplasan Sampel Material H13

Tool steel H13 diampelas menggunakan mesin gerinda kemudian dilanjutkan pengamplasan menggunakan kertas amplas grid #240, #320, 400, #600, #800 dan #1000. Proses pengamplasan dilakukan hanya sampai grid 1000 dengan pertimbangan bahwa permukaan sampel telah cukup halus dan rata,

namun proses difusi logam cair juga tetap optimal. Setiap peningkatan grid, arah pengamplasan harus $45^\circ - 90^\circ$ dari arah sebelumnya agar goresan dapat dihilangkan dengan baik. Hal yang penting dalam pengamplasan yaitu pemberian air, karena selama pengamplasan terjadi gesekan antara kertas amplas dan sampel yang dapat meningkatkan kenaikan suhu yang dapat mempengaruhi mikrostruktur sampel.

3.3.3 Peleburan Al-7%Si dan Al-12%Si Untuk Pembuatan *Master alloy*

Sebelum melebur ingot, dilakukan beberapa proses persiapan peleburan yaitu :

1. Pemotongan ingot Al-Si menjadi bagian yang lebih kecil dengan menggunakan mesin potong gerinda.
2. Penimbangan material Al-Si mendekati kapasitas kowi pada dapur krusibel yaitu 1.4 kg dan bervariasi sesuai dengan perhitungan material balance. Penimbangan ini menggunakan perhitungan dengan menggunakan timbangan digital. Sebelum di timbang, dilakukan perhitungan material balance untuk mendapatkan massa paduan Al-Si dan massa Mn yang akan ditambahkan, dengan rumus :

$$\frac{\% \text{ Kadar Mn}}{\% \text{ Kadar Mn dalam Al-Mn}} \times \% \text{ Efisiensi Mn} \times \text{kapasitas kowi} \quad 3.1$$

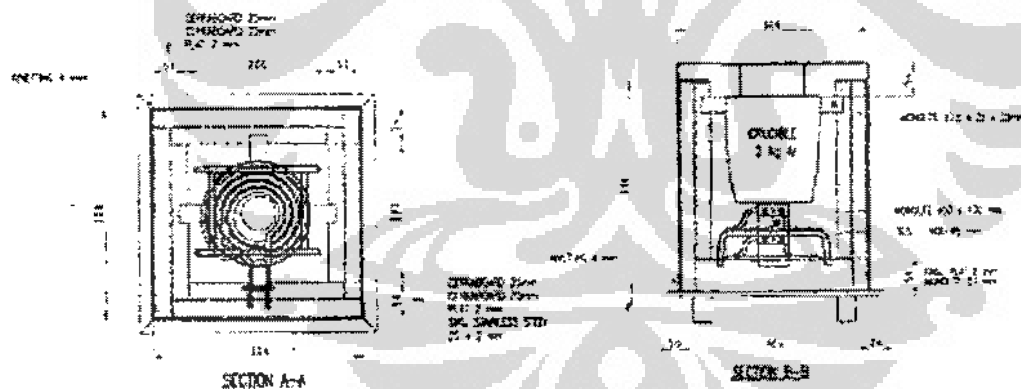
Mn yang ditambahkan merupakan paduan Al-Mn dengan kadar Mn 80%, dan efisiensi Mn dalam paduan tersebut sebesar 95%. Kapasitas kowi yang digunakan sebesar 1400gr. Bentuk Mn yang ditambahkan pada proses pengecoran berupa bentuk padatan, sehingga perlu dilakukan penumbukan material Al-80%Mn dengan menggunakan *hammer*. Penumbukan dilakukan sampai material menjadi halus berbentuk serbuk. Lalu material di bungkus oleh aluminium foil dan dimasukkan ke dalam aluminium cair dengan menggunakan *panjer*. Hal ini dilakukan agar ketika Mn dimasukkan ke dalam aluminium cair, material tersebut tidak mengambang di permukaan dan terbakar. *Master alloy* yang telah ditambahkan Mn, diperiksa menggunakan *Optical Emission Spectrometer* (OES) untuk mengetahui apakah komposisi mangan yang berada pada aluminium sesuai dengan keinginan.

3.3.4 Peleburan *Master alloy*

Sebelum peleburan, terlebih dahulu dilakukan preparasi peleburan *master alloy*. Preparasi tersebut dilakukan dengan meng-*coating* berbagai macam peralatan peleburan, seperti kowi, dapur krusibel, sendok besi, penjepit, *panjer*, dan cetakan ingot, selanjutnya dibakar untuk mengeringkan lapisan *thermal coating*. Selain itu briket direndam minyak tanah selama beberapa saat sebelum disusun di dalam krusibel dan dilakukan proses pembakaran. Setelah dilakukan *preheating* pada kowi, *master alloy* yang telah mengandung komposisi mangan 0,1%, 0,3%, 0,5%, dan 0,7% dimasukkan ke dalam kowi untuk selanjutnya dilebur hingga temperatur sekitar 700°C. Sebelum dilakukan proses pencelupan H13, kowi yang berisi *master alloy* tersebut dipindahkan ke dalam dapur *holding* terlebih dahulu dengan menggunakan tang penjepit.

3.3.5 Pencelupan Material H13 pada *Master alloy*

Sebelum dilakukan pencelupan, temperatur dapur *holding* disetting terlebih dahulu yaitu 700°C, kemudian temperatur pemanas sekitar 750-850°C. Adapun penampang dapur *holding* ditunjukkan pada gambar dibawah.



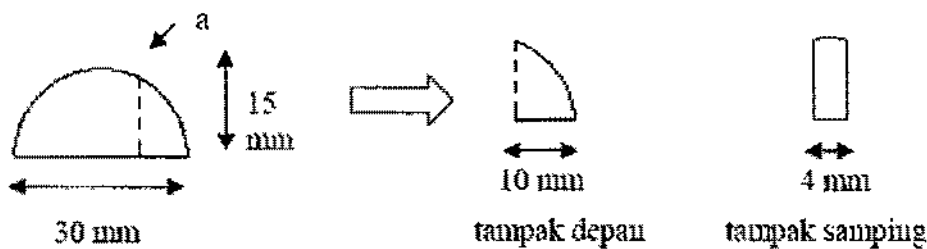
Gambar 3. 6 Penampang dapur *holding*

Setelah temperatur krusibel konstan, dilakukan proses pencelupan H13 kedalam aluminum cair. Pencelupan sampel dilakukan selama 20, 40, dan 60 menit. Setelah selesai pencelupan, aluminum cair dituang kedalam cetakan ingot. Ketika sudah membeku, ingot diberi kode penelitian.

3.3.6 Preparasi Metalografi Sampel

Sebelum dilakukan pengujian SEM & EDS, material H13 yang telah dicelup dilakukan persiapan meliputi :

1. Pemotongan ujung sampel (bagian a) yang telah dicelup dengan menggunakan *medium speed diamond saw* seperti pada Gambar 3.7.



Gambar 3. 7 Tahapan pemotongan material H13 hasil pencelupan ke dalam aluminium cair

2. Sampel H13 yang telah dipotong, dilakukan mounting guna memudahkan penulis dalam proses pengamatan mikrostruktur seperti ditunjukkan pada Gambar 3.8.



Gambar 3. 8 Mounting sampel

3. Pengamplasan dengan menggunakan kertas amplas SiC dari grid 100-1500
4. Pemolesan sampel dengan menggunakan kain beludru sebagai media poles dan alumina.
5. Sampel yang telah dipoles selanjutnya dilakukan etsa, proses ini bertujuan untuk memunculkan fasa pada lapisan intermetalik yang terbentuk pada permukaan sampel, selain itu juga untuk memonjolkan batas butir antara H13 tool steel dan aluminium. Proses etsa yang dilakukan merupakan etsa kimia dengan menggunakan larutan Nital 3-4% untuk H13

3.3.7 Pengamatan Mikrostruktur

Pengamatan mikrostruktur dilakukan dengan menggunakan alat SEM (*Scanning electron microscope*) yang dilengkapi dengan EDS (*Energy-Dispersive Spectroscopy*). Sebelum pengujian SEM, sampel uji di *coating* dengan menggunakan *coating* Au-Pd pada seluruh permukaan sampel yang dimounting dengan tujuan agar elektron dapat dihantarkan. Pengujian SEM bertujuan untuk mengamati karakteristik lapisan intermetalik serta mengukur ketebalan dari lapisan

tersebut, dan pengujian EDS dilakukan untuk mengetahui unsur-unsur kimia dari lapisan intermetalik yang terbentuk.

3.3.8 Pengujian Kekerasan Lapisan Intermetalik

Pengujian *Microhardness* dilakukan dengan menggunakan metode *vickers microhardness* dengan beban indentasi 50 gram untuk penjejakan pada lapisan intermetalik. Bentuk indentor pada alat uji ini adalah *square pyramidal*. Hasil dari uji ini adalah berupa jejak indentasi, kemudian dihitung nilai kekerasan mikronya. Perhitungan pada *vickers microhardness* sama seperti perhitungan pada *vickers hardness*, perbedaannya hanya terletak pada beban indentasi (P) yang diberikan.

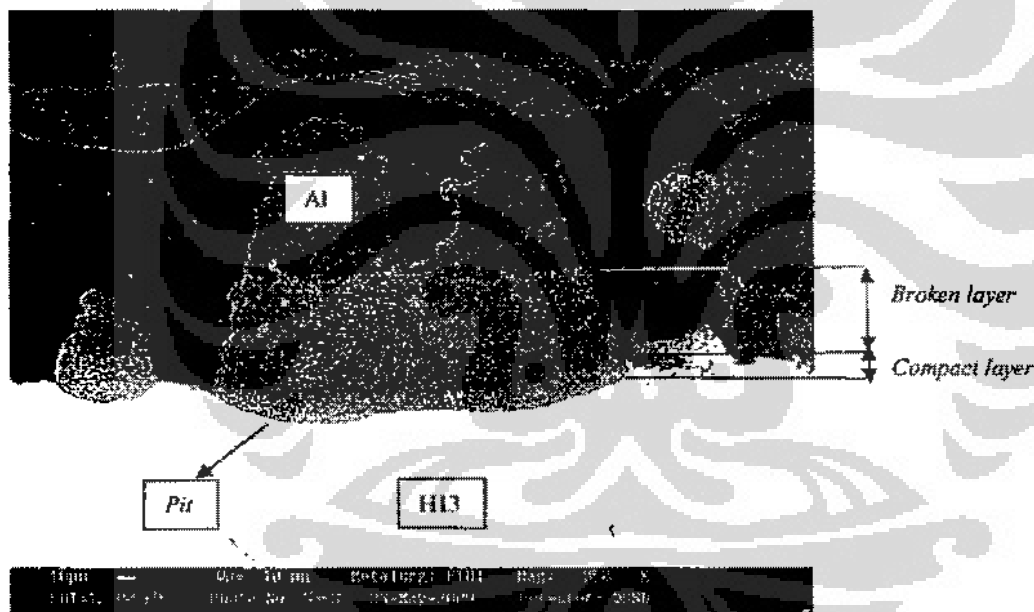
3.3.9 Pengujian Fasa Lapisan Intermetalik

Penentuan fasa yang terbentuk pada lapisan intermetalik diidentifikasi dengan *X-Ray Diffraction* (XRD) merk *Philip analytical X-Ray* menggunakan radiasi monokromatik Cu Ka. Perhitungan *X-Ray Diffraction* (XRD) dioperasikan menggunakan goniometer pada rentang scanning $5^{\circ} < 2\theta < 89^{\circ}$ untuk spesimen baja H13 yang telah dicelup ke dalam *master alloy*, dan $10^{\circ} < 2\theta < 89^{\circ}$ untuk *master alloy* itu sendiri. Selain itu *stepwise* yang digunakan adalah 0.02° dengan waktu per *step* 0.5 detik pada 40 kV dan 30 mA.

BAB 4 HASIL ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Morfologi dan Karakteristik Lapisan Intermetalik

Berdasarkan hasil pengamatan menggunakan *Scanning electron microscope* (SEM), pencelupan baja H13 ke dalam paduan Al-7%Si dan Al-12%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. Contoh kedua lapisan tersebut yang dihasilkan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2



Gambar 4. 1 Foto mikro hasil pengujian *Scanning electron microscope* dengan perbesaran 350X.

Lapisan intermetalik yang terbentuk hasil pencelupan baja H13 ke dalam paduan Al12Si dengan kandungan 0,5%Mn selama 20 menit

Compact layer merupakan hasil reaksi dari setiap fasa dengan aluminium cair secara kontinu dan Fe berdifusi keluar dari permukaan hingga membentuk fasa biner seperti FeAl, FeAl₂, FeAl₃ dan Fe₂Al₅. Selanjutnya fasa Fe₂Al₅ bereaksi dengan Al dan Si pada aluminium cair sehingga terbentuk fasa ternary -(Al,Fe,Si) yaitu *broken layer*^[35].

Compact layer merupakan lapisan intermetalik pertama yang terbentuk setelah adanya difusi atom Fe dari baja H13 dan atom Al dari aluminium cair. Lapisan ini merupakan lapisan yang akan terus bereaksi hingga menjadi stabil dengan energi bebas *Gibs* pada T 700°C adalah -22.869 hingga -4.827 J/mol^[33]. Karena koefisien difusi untuk logam dalam melewati fasa cair besarnya mencapai 3-4 kali lebih besar jika dibandingkan dengan dalam melewati fasa padat^[7], maka dapat disimpulkan bahwa akan jauh lebih mudah bagi aluminium cair untuk bereaksi dengan *compact layer* dibandingkan dengan baja H13 yang harus melewati fasa padat *compact layer*. Sehingga, setelah *compact layer* terbentuk optimal dan stabil, atom Al yang berasal dari aluminium cair cenderung untuk bereaksi dengan *compact layer* membentuk *broken layer*, dengan kata lain Fe dari baja H13 tidak berdifusi untuk membentuk *broken layer*.

Apabila diperhatikan, *compact layer* terlihat padat sedangkan *broken layer* terlihat semi padat. Hal ini disebabkan *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.

Selain *compact* dan *broken-layer*, Gambar 4.1 dan Gambar 4.2 juga menunjukkan adanya penempelan aluminium cair ke *broken layer*. Hal ini kemungkinan disebabkan pengaruh energi permukaan dari lapisan intermetalik yang menonjol kearah aluminium cair dan akibat rendahnya konduktivitas termal dari fasa intermetalik dibandingkan dengan permukaan baja.

Kemudian, pada Gambar 4.1 terlihat bahwa lapisan intermetalik yang terbentuk cenderung menyerupai pyramid, sedangkan lapisan intermetalik pada

Gambar 4.2 cenderung “lurus dan konstan”. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa lapisan intermetalik yang terbentuk pada permukaan cetakan cenderung terus tumbuh dan bergabung menjadi satu hingga ke seluruh permukaan cetakan.

4.2 Pengaruh Unsur Mangan dan Waktu Kontak Terhadap Fasa Intermetalik yang Terbentuk

Setelah dilakukan pengujian *Scanning electron microscope* (SEM) untuk analisa morfologi lapisan intermetalik yang terbentuk, pada lapisan intermetalik tersebut dilakukan pengujian Energy Dispersive Spectrometer (EDS) untuk mengidentifikasi unsur-unsur yang terkandung didalamnya. Kemudian, fasa lapisan intermetalik diidentifikasi menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD).

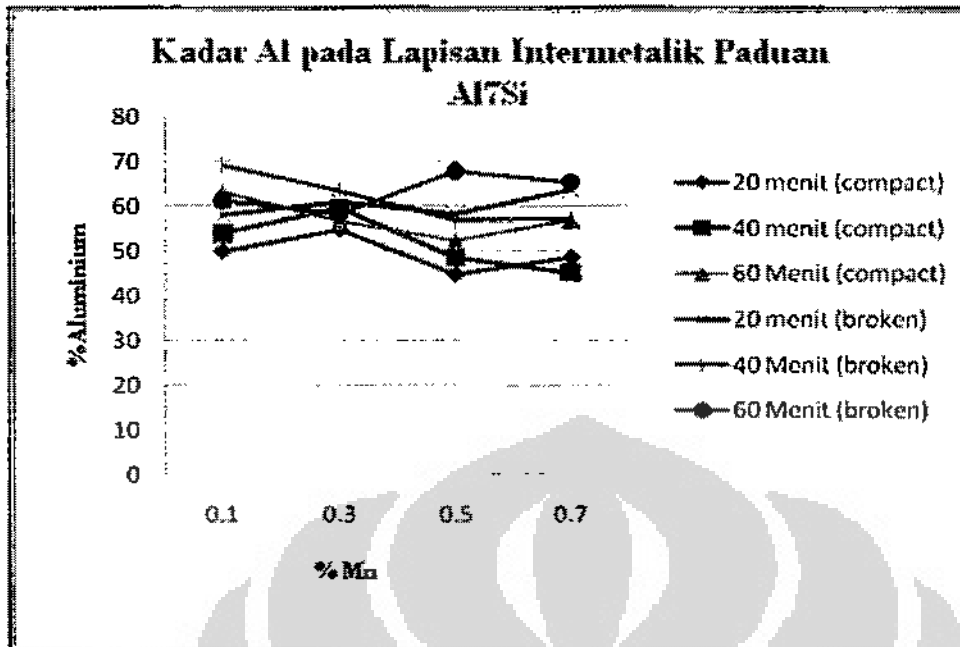
Unsur-unsur yang didapat dari hasil pengujian Energy Dispersive Spectrometer (EDS), kemudian diplot ke dalam diagram fasa pada Gambar 2.11 untuk diperkirakan kemungkinan fasa lapisan intermetalik yang terbentuk. Ringkasan unsur-unsur yang terdapat pada lapisan intermetalik hasil percobaan dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan Tabel 4.2. Dimana, Tabel 4.1 untuk kemungkinan fasa intermetalik yang terbentuk pada paduan Al-7%Si dan Tabel 4.2 pada paduan Al-12%Si.

Tabel 4. 1 Unsur yang terkandung di dalam lapisan intermetalik paduan Al-7%Si

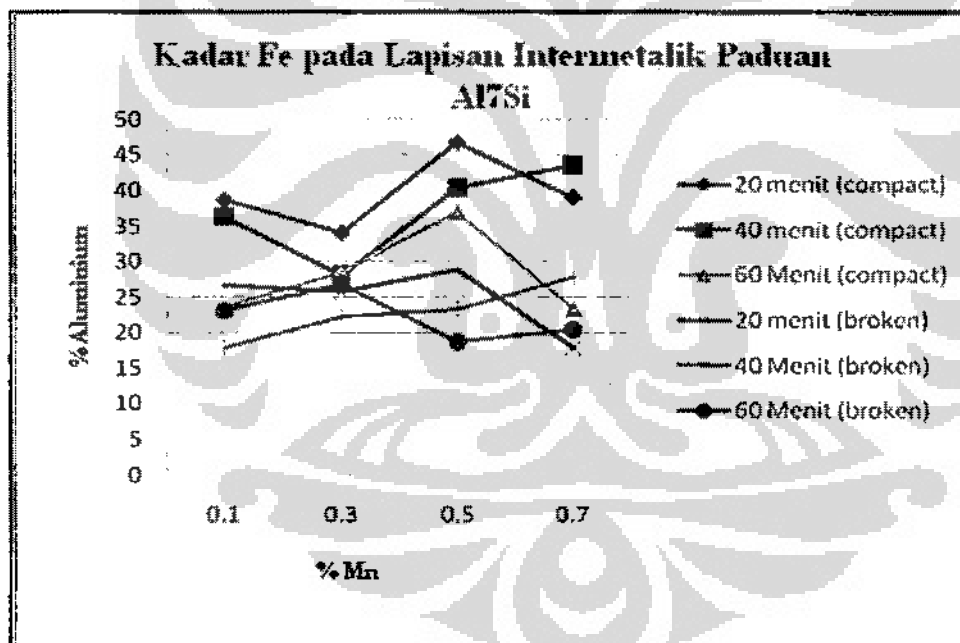
%Mn	Waktu	Lapisan	%Al	%Si	%Fe	Fasa yang terbentuk
0.1	60	Compact	63.25	5.04	23.45	FeAl ₃
		Broken	61.25	7.28	22.92	AlxFeySiz
	40	Compact 1	49.17	1.61	43.93	FeAl ₂
		Compact 2	58.43	5.76	28.58	Fe ₂ Al ₅
		Broken	69.04	4.59	17.89	AlxFeySiz
	20	Compact 1	47.8	2.08	42.82	Fe ₂ Al ₅
		Compact 2	52.12	5.51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

Tabel 4. 2 Unsur yang terkandung di dalam lapisan intermetalik paduan Al2Si

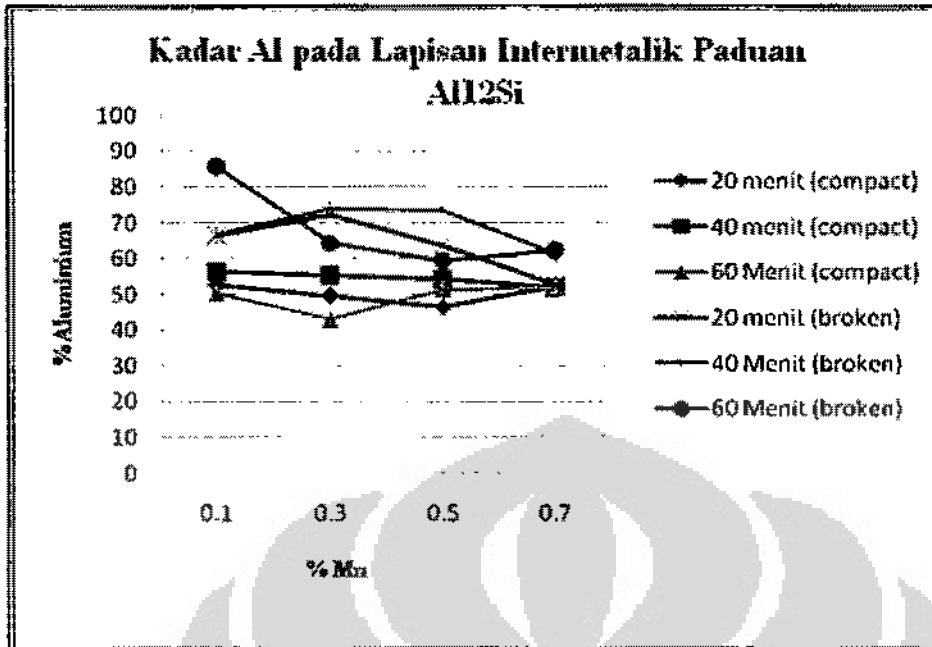
%Mn	Waktu	Lapisan	%Al	%Si	%Fe	Fasa yang Terbentuk
0.1	60	Compact 1	47.65	2.08	46.42	FeAl ₂
		Compact 2	52.61	6.81	34.2	Fe ₂ Al ₅
		Broken	96.79	0.91	10.9	AlxFeySiz
	40	Compact	56.4	6.48	24.4	Fe ₂ Al ₅
		Broken	66.58	4.74	15.07	AlxFeySiz
	20	Compact 1	48.66	1.86	43.43	Fe ₂ Al ₅
		Compact 2	56.75	6.28	29.61	FeAl ₃
		Broken	66.4	3.74	12.85	AlxFeySiz
	0.3	60	Compact 1	35.15	5.76	49.25
Compact 2			50.73	6.46	32.23	Fe ₂ Al ₅
Broken			64.22	16.04	3.75	AlxFeySiz
40		Compact	55.25	6.55	30.11	Fe ₂ Al ₅
		Broken	73.88	10.91	4.39	AlxFeySiz
20		Compact 1	46.89	2.56	44.84	FeAl ₂
		Compact 2	52.38	6.88	33.21	Fe ₂ Al ₅
		Broken	72.29	15.22	2.54	AlxFeySiz
0.5		60	Compact 1	45.46	2.39	49.47
	Compact 2		57.05	5.66	34.91	FeAl ₃
	Broken		59.23	5.3	25.38	AlxFeySiz
	40	Compact	54.25	7.07	36.13	Fe ₂ Al ₅
		Broken	73.68	7.14	11.4	AlxFeySiz
	20	Compact 1	43.39	1.98	42.12	FeAl ₂
		Compact 2	49.43	5.89	31.87	Fe ₂ Al ₅
		Broken	63.78	4.17	11.98	AlxFeySiz
	0.7	60	Compact 1	45.99	2.33	44.72
Compact 2			57.56	6.2	29.95	FeAl ₃
Broken			62.36	6.65	22.59	AlxFeySiz
40		Compact 1	47	1.78	45.43	Fe ₂ Al ₅
		Compact 2	56.84	13.16	27.9	FeAl ₃
		Broken	61.22	22.24	5.76	AlxFeySiz
20		Compact 1	52.49	6.26	27.42	Fe ₂ Al ₅
		Broken	85.84	6.16	1.92	AlxFeySiz



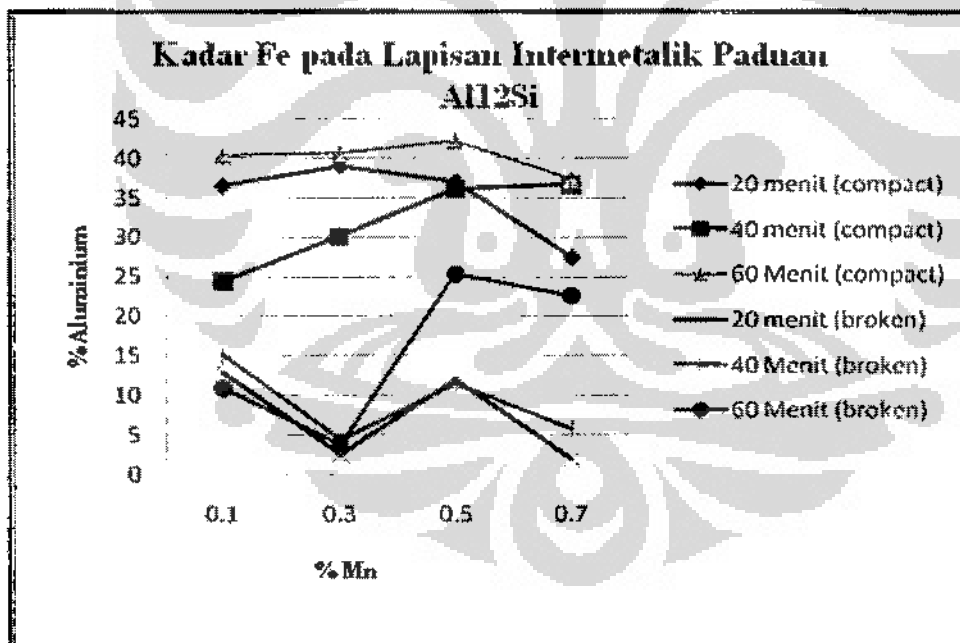
Gambar 4. 3 Grafik kadar Aluminium pada lapisan intermetalik paduan Al-7%Si



Gambar 4. 4 Grafik kadar Besi pada lapisan intermetalik paduan Al-7%Si



Gambar 4. 5 Grafik kadar Aluminium pada lapisan intermetalik paduan Al-12Si

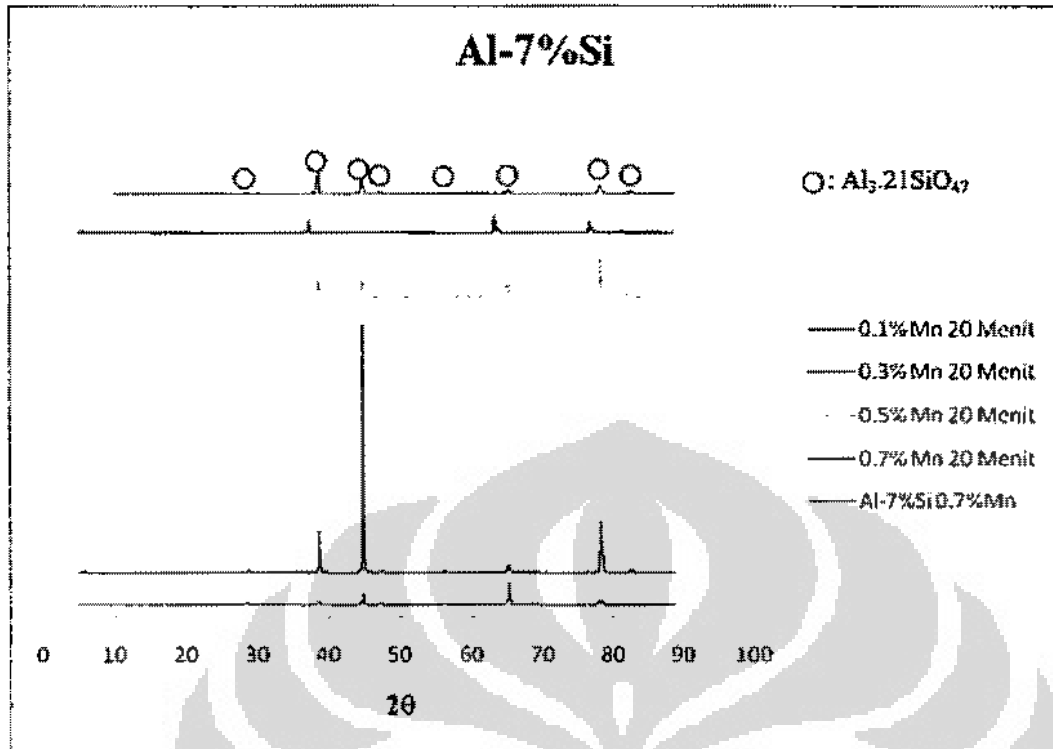


Gambar 4. 6 Grafik kadar besi pada lapisan intermetalik paduan Al-12Si

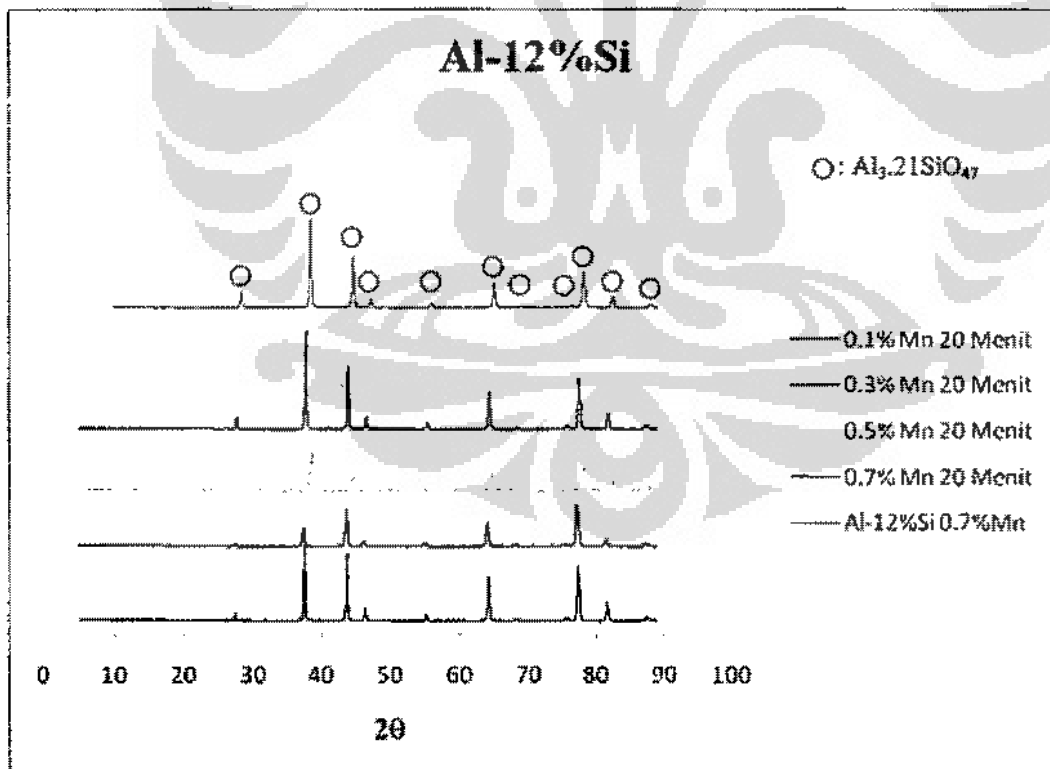
Berdasarkan Gambar 4.3 hingga Gambar 4.6 dapat dilihat bahwa pada setiap waktu kontak dan kandungan Mn yang berbeda dalam paduan Al-7%Si maupun paduan Al-12%Si menghasilkan kandungan Al dan Fe pada *compact layer* dan *broken layer* yang berbeda pula. Namun, secara umum dapat

disimpulkan bahwa *compact layer* memiliki kandungan Fe relatif lebih tinggi dibandingkan dengan *broken layer*. Sedangkan *broken layer* memiliki kandungan Al yang relatif lebih tinggi dibandingkan dengan *compact layer*. Hal tersebut terjadi karena *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 adalah $53 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$, lebih besar dari koefisien difusi aluminium menuju besi, $1.8 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ [35]. Sehingga, dapat disimpulkan bahwa 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. Dimana energi aktivasi untuk difusi atom Fe pada fasa Fe_2Al_5 adalah 107 kJ/mol sedangkan difusi atom Al adalah 171 kJ/mol [35], sehingga difusi Al dari aluminium cair menuju *compact layer* membentuk *broken layer* lebih mendominasi dibandingkan difusi Fe dari H13 melalui *compact layer*.

Berdasarkan Gambar 4.3 dan Gambar 4.5, terlihat semakin meningkatnya kandungan Mn pada paduan Al-7%Si dan Al-12%Si, kandungan Al pada *compact* dan *broken layer* cenderung konstan. Hal tersebut menunjukkan bahwa penambahan unsur Mn ke dalam paduan Al-7%Si dan Al-12%Si tidak berpengaruh terhadap prosentase aluminium yang berdifusi membentuk lapisan intermetalik. Kemudian berdasarkan Gambar 4.2 dan Gambar 4.6, data cenderung acak dan tidak beraturan, tidak ada korelasi yang jelas antara peningkatan kandungan Mn dalam paduan Al-7%Si dan Al-12%Si dengan prosentase Fe yang berdifusi membentuk lapisan intermetalik. Sehingga, berdasarkan hasil penelitian, peningkatan kandungan Mn dalam paduan Al-7%Si dan Al-12%Si tidak mempengaruhi prosentase Fe dan Al yang berdifusi membentuk lapisan intermetalik. Hal ini mengindikasikan bahwa Mn hanya mempengaruhi laju reaksi pembentukan lapisan intermetalik saja, tanpa berpengaruh terhadap kandungan unsur Fe dan Al pada lapisan intermetalik tersebut.



Gambar 4. 7 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

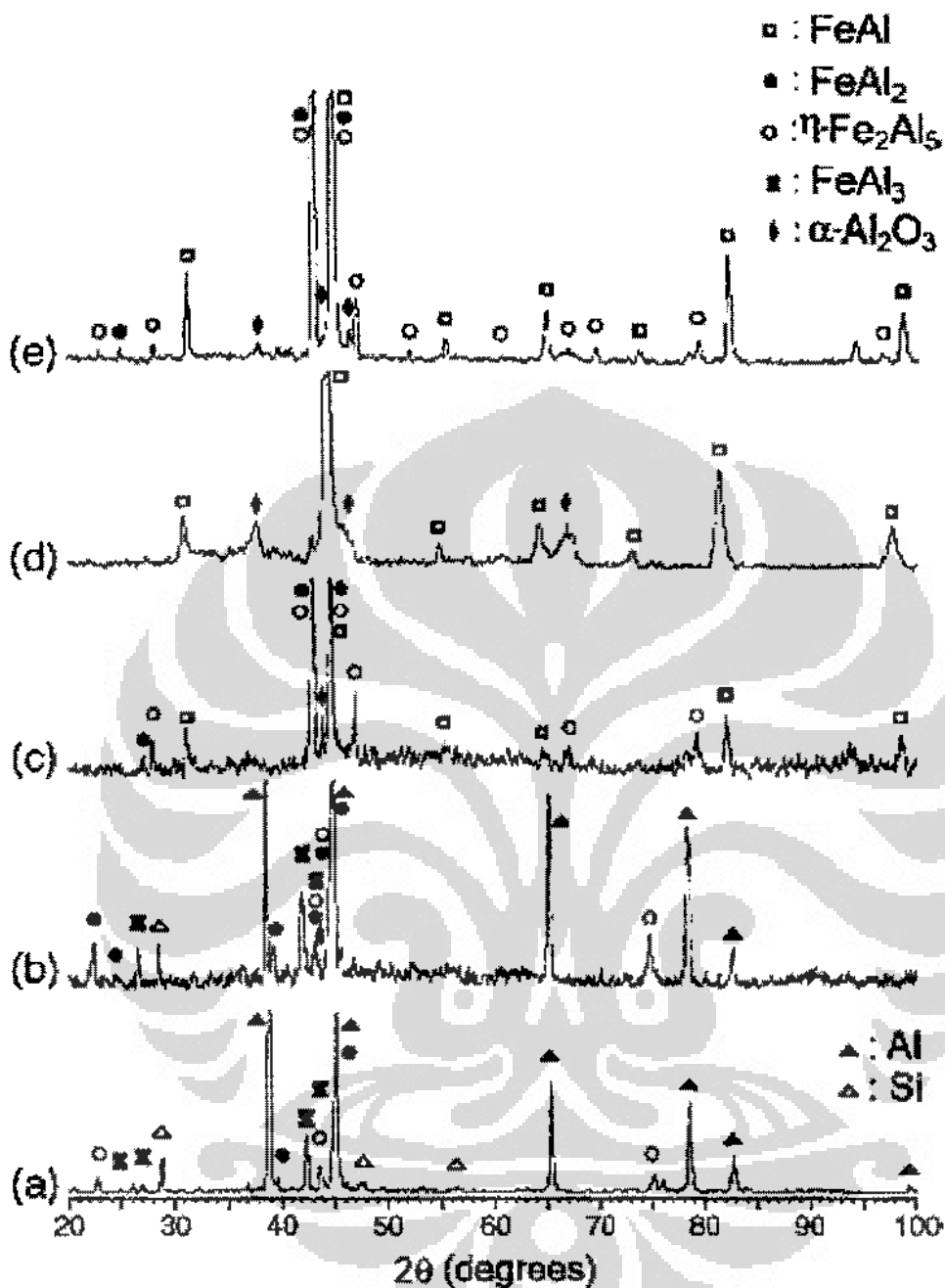


Gambar 4. 8 Data hasil XRD paduan Al-12%Si 0.1%M,0.3%Mn,0.5%Mn, dan 0.7%Mn dengan waktu kontak 20 menit dibandingkan dengan Al-12%Si 0.7%Mn

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.

Gambar 4.8 merupakan data hasil *X-Ray Diffraction* (XRD) yang berupa gabungan dari data hasil pencelupan baja H13 pada Al-12%Si dengan kandungan 0.1%, 0.3%, 0.5%, 0.7% Mn selama 20 menit serta data *master alloy* Al-12%Si dengan 0.7%Mn. Berdasarkan pengujian *X-Ray Diffraction* (XRD) pada *master alloy* Al-12%Si 0.7%Mn, semua puncak yang teridentifikasi pada grafik tersebut juga merupakan senyawa $Al_3.21SiO_{47}$. Setelah itu, juga dilakukan penggabungan data hasil XRD baja H13 yang dicelupkan dalam paduan Al-12%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-12%Si. Berdasarkan analisa dari Gambar 4.8, 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-12%Si.

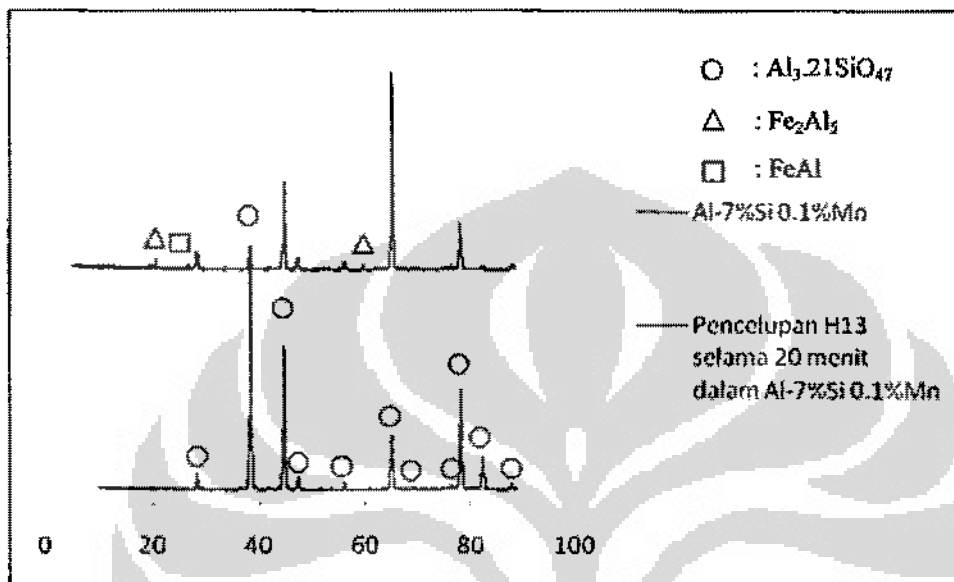
Hal diatas terjadi bukan berarti bahwa tidak terbentuknya lapisan intermetalik pada permukaan baja H13, melainkan akibat rentang ketebalan ukuran lapisan intermetalik yang mencapai skala mikron sehingga menjadi sulit untuk teridentifikasi.



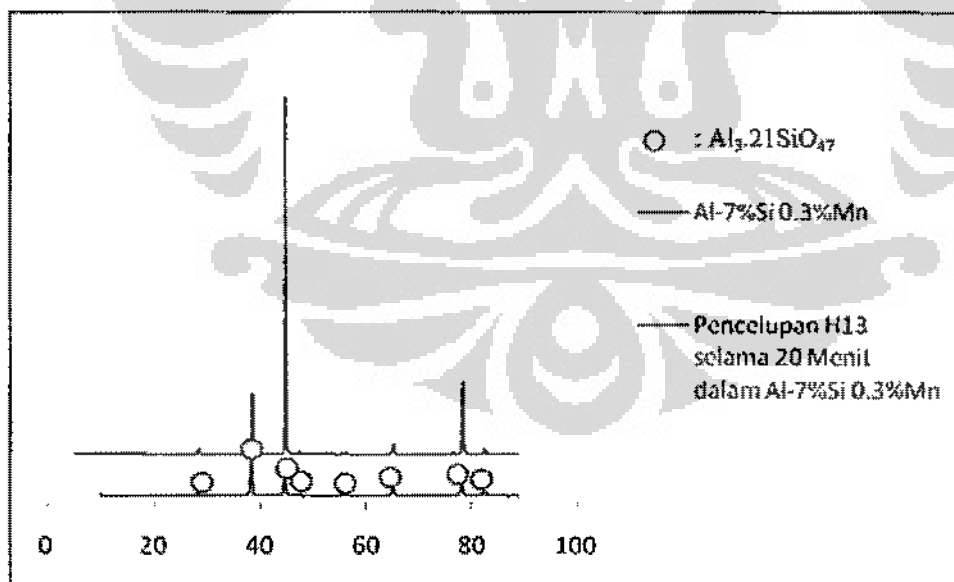
Gambar 4.9 Analisa XRD lapisan intermetalik menggunakan radiasi monokromatik Cu K α yang dioperasikan pada 40kV dan 100mA [27]

Guna memperkuat data bahwa lapisan intermetalik terbentuk pada permukaan baja H13, dilakukan penggabungan data hasil *X-Ray Diffraction* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.10 hingga Gambar 4.17. Data hasil XRD *master alloy* Al-7%Si dan Al-12%Si beserta penambahan 0.1%, 0.3%, 0.5%, 0.7%

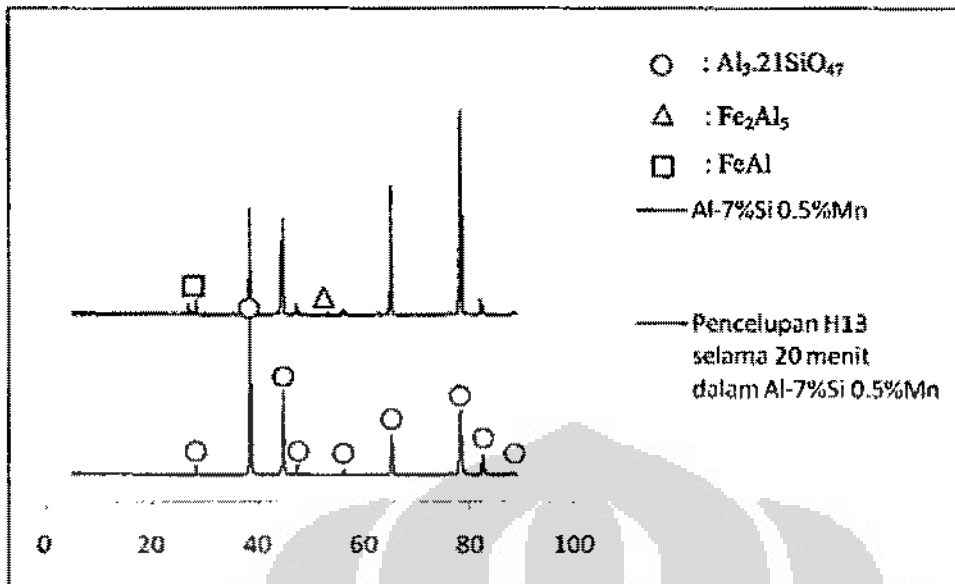
Mn digabungkan dengan data XRD baja H13 yang dicelupkan ke dalam *master alloy* Al-7%Si dan Al-12%Si. Setelah itu dilakukan pencocokan puncak dengan Gambar 4.9.



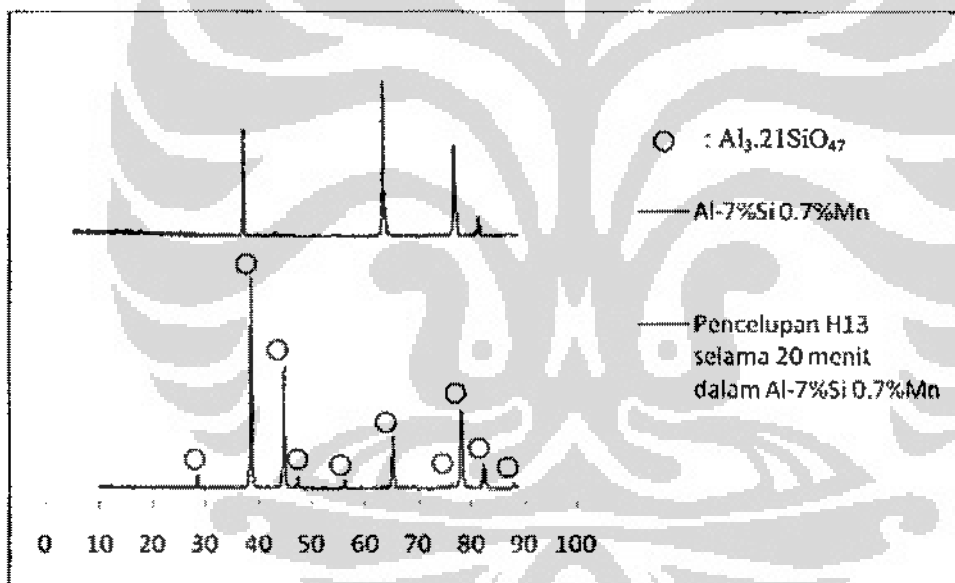
Gambar 4. 10 Hasil XRD *master alloy* Al-7%Si 0.1%Mn dengan baja H13 hasil pencelupan dalam Al-7%Si 0.1%Mn dengan waktu kontak 20 menit



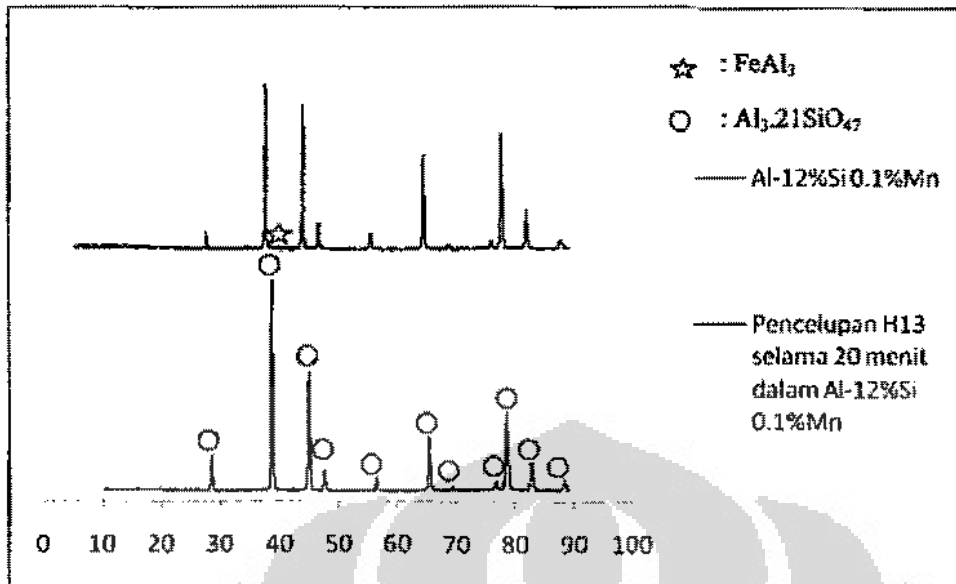
Gambar 4. 11 Hasil XRD *master alloy* Al-7%Si 0.3%Mn dengan baja H13 hasil pencelupan dalam Al-7%Si 0.3%Mn dengan waktu kontak 20 menit



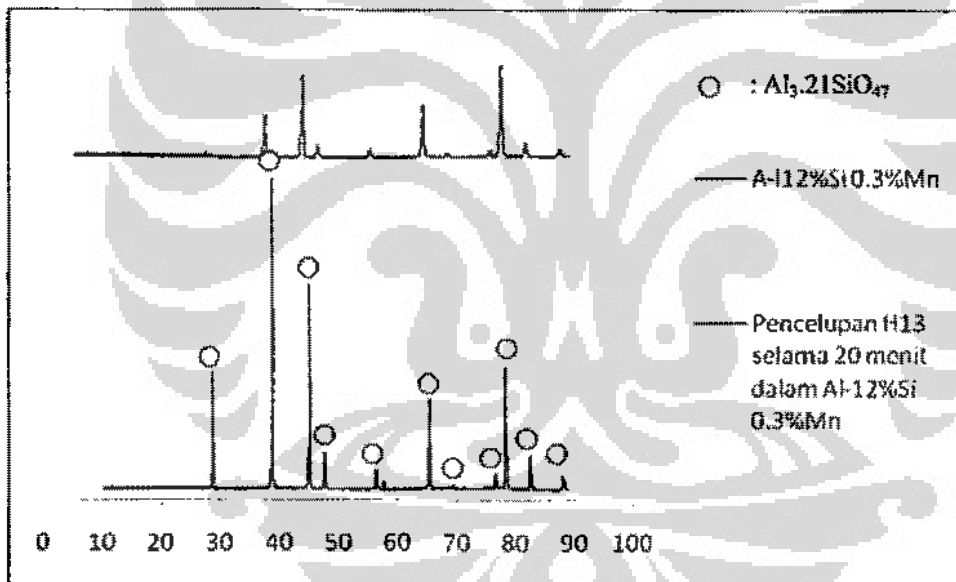
Gambar 4. 12 Hasil XRD *master alloy* Al-7%Si 0.5%Mn dengan baja H13 hasil pencelupan dalam Al-7%Si 0.5%Mn dengan waktu kontak 20 menit



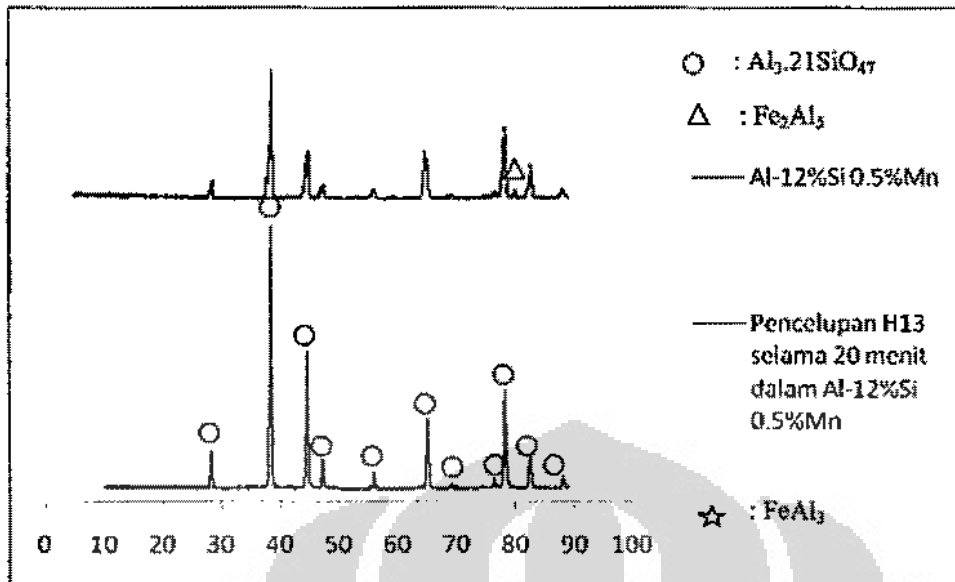
Gambar 4. 13 Hasil XRD *master alloy* Al-7%Si 0.7%Mn dengan baja H13 hasil pencelupan dalam Al-7%Si 0.7%Mn dengan waktu kontak 20 menit



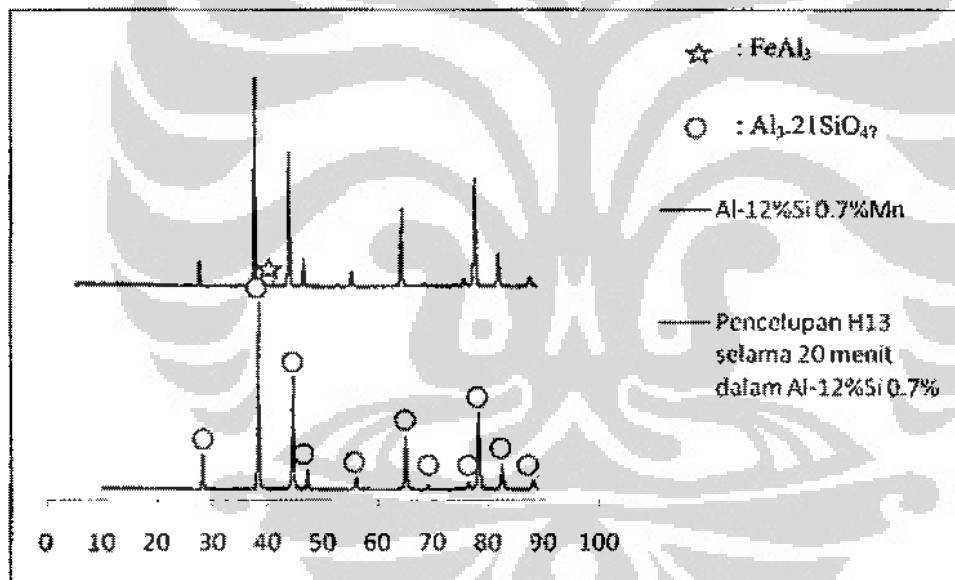
Gambar 4. 14 Hasil XRD *master alloy* Al-12%Si 0.1%Mn dengan baja H13 hasil pencelupan dalam Al-12%Si 0.1%Mn dengan waktu kontak 20 menit



Gambar 4. 15 Hasil XRD *master alloy* Al-12%Si 0.3%Mn dengan baja H13 hasil pencelupan dalam Al-12%Si 0.3%Mn dengan waktu kontak 20 menit



Gambar 4. 16 Hasil XRD *master alloy* Al-12%Si 0.5%Mn dengan baja H13 hasil pencelupan dalam Al-12%Si 0.5%Mn dengan waktu kontak 20 menit



Gambar 4. 17 Hasil XRD *master alloy* Al-12%Si 0.7%Mn dengan baja H13 hasil pencelupan dalam Al-12%Si 0.7%Mn dengan waktu kontak 20 menit

Pada Gambar 4.11, Gambar 4.13, dan Gambar 4.15 tidak teridentifikasi puncak-puncak hasil pengujian baja H13 hasil pencelupan selain dari puncak-puncak *master alloy* Al-7%Si 0.3%Mn, Al-7%Si 0.7%Mn, dan Al-12%Si 0.3%Mn. Hal ini dapat terjadi karena rentang ketebalan ukuran lapisan intermetalik yang mencapai skala mikron sehingga menjadi sulit untuk teridentifikasi.

Pada Gambar 4.10 dan Gambar 4.12 teridentifikasi adanya fasa intermetalik FeAl dan Fe₂Al₅ pada baja H13 hasil pencelupan ke dalam Al-7%Si yang mengandung 0.1%Mn dan 0.3%Mn berturut-turut. Kemudian pada Gambar 4.14 dan Gambar 4.17 teridentifikasi adanya fasa intermetalik FeAl₃ pada baja H13 hasil pencelupan ke dalam Al-12%Si yang mengandung 0.1%Mn dan 0.7%Mn berturut-turut. Kemudian pada Gambar 4.16 teridentifikasi adanya Fasa Fe₂Al₅ pada baja H13 hasil pencelupan ke dalam Al-12%Si 0.5%.

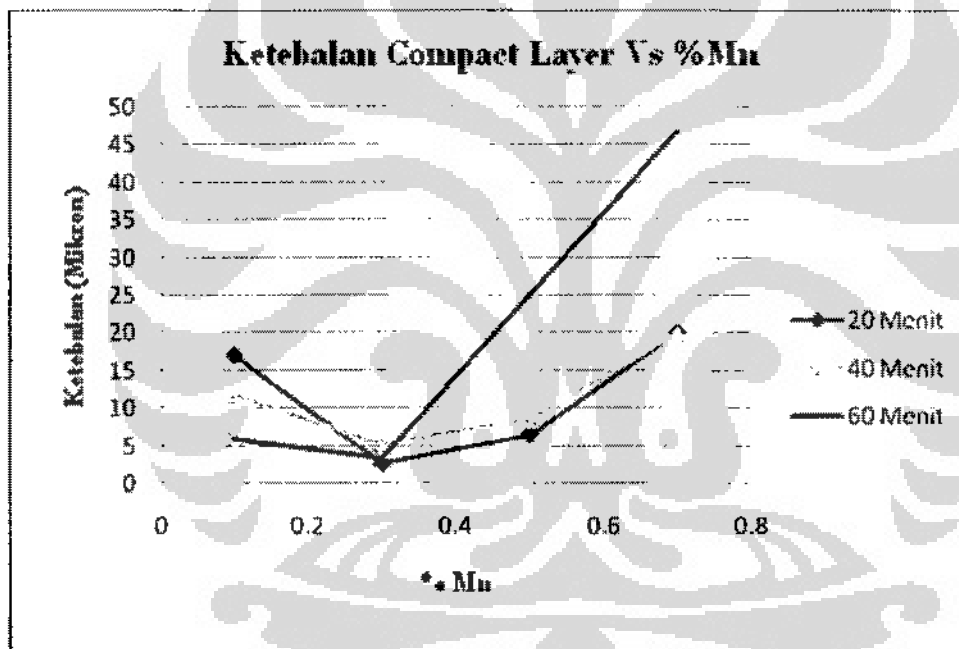
Berdasarkan perbandingan antara Gambar 4.11 hingga Gambar 4.17 dengan Tabel 4.1 dan Tabel 4.2 diindikasikan bahwa pada 1 (satu) set lapisan intermetalik yang terbentuk dalam 1 (satu) sampel uji memiliki kemungkinan terdapat beberapa fasa yang terbentuk. Oleh karena itu, terdapat beberapa sampel uji yang memiliki dua *compact layer*. Berdasarkan grafik diatas, fasa-fasa intermetalik yang terbentuk dalam penelitian ini adalah FeAl dan Fe₂Al₅ untuk lapisan intermetalik hasil pencelupan dalam Al-7%Si, sedangkan fasa FeAl₃, dan Fe₂Al₅ dimana fasa Fe₂Al₅ mendominasi pembentukan lapisan intermetalik. Dimana, fasa Fe₂Al₅ mendominasi dalam penelitian ini.

4.3 Pengaruh Unsur Mangan dan Waktu Kontak Terhadap Ketebalan Lapisan Intermetalik

Selain bertujuan untuk mengetahui morfologi lapisan intermetalik yang terbentuk, pengujian *Scanning electron microscope* (SEM) pada sampel baja H13 hasil pencelupan ke dalam paduan Al-7%Si dan Al-12%Si juga dilakukan untuk menghitung ketebalan lapisan intermetalik yang terbentuk. Data hasil penghitungan ketebalan lapisan intermetalik dapat dilihat pada Lampiran.1

Gambar 4.18 hingga Gambar 4.21 merupakan data hasil percobaan pencelupan baja H13 pada paduan Al-7%Si dan Al-12%Si dengan variasi penambahan Mn dan waktu kontak yang berbeda. Berdasarkan keempat grafik tersebut didapat variasi ketebalan antara *compact layer* dan *broken layer*. Dimana, secara umum terlihat bahwa *compact layer* memiliki ketebalan yang lebih rendah dibandingkan dengan *broken layer*. Seperti yang telah dibahas pada sub bab sebelumnya, hal tersebut dapat terjadi karena senyawa pada *compact*

layer memiliki ikatan yang lebih kuat dibandingkan dengan *broken layer* yang memiliki ikatan cenderung lebih renggang. *Compact layer* merupakan hasil dari reaksi atom Fe dengan atom Al yang membentuk ikatan logam yang kuat sehingga menjadi lebih padat. 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, sehingga cenderung lebih renggang. Selain itu, volume Aluminium cair cenderung berlebih, sehingga reaksi antara *compact layer* dan aluminium cair membentuk *broken layer* mendominasi difusi dari permukaan baja. Sehingga, *broken layer* cenderung memiliki ketebalan yang lebih tinggi dibandingkan dengan *compact layer*.



Gambar 4. 18 Data hasil penelitian pengaruh unsur Mn terhadap ketebalan *compact layer* pada paduan Al-7%Si dalam fungsi waktu

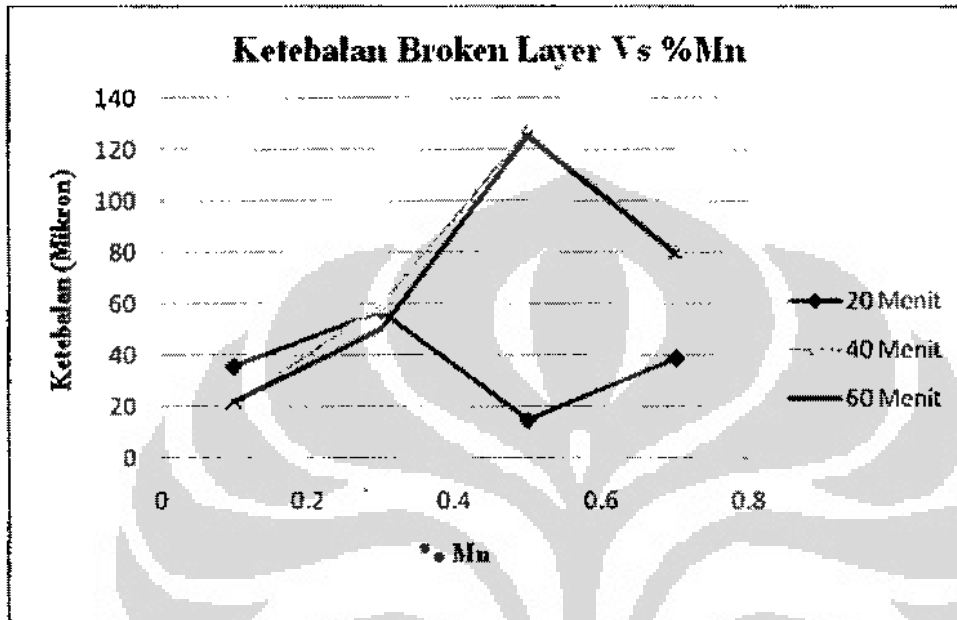
Pada Gambar 4.18 diperlihatkan pengaruh penambahan Mn dalam Al-7%Si terhadap ketebalan *compact layer*. Seperti yang terlihat pada grafik tersebut, kurva pertumbuhan *compact layer* berbentuk parabolik, mengindikasikan bahwa terdapat dua proses yang terjadi pada proses *die soldering*, yaitu proses pertumbuhan 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 yaitu, 2,74 μm , 5,29 μm , dan 3,42 μm untuk waktu kontak 20, 40, dan 60 menit berturut-turut (data ketebalan dapat dilihat pada Lampiran.1). 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 4.18 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 akan semakin tebal.

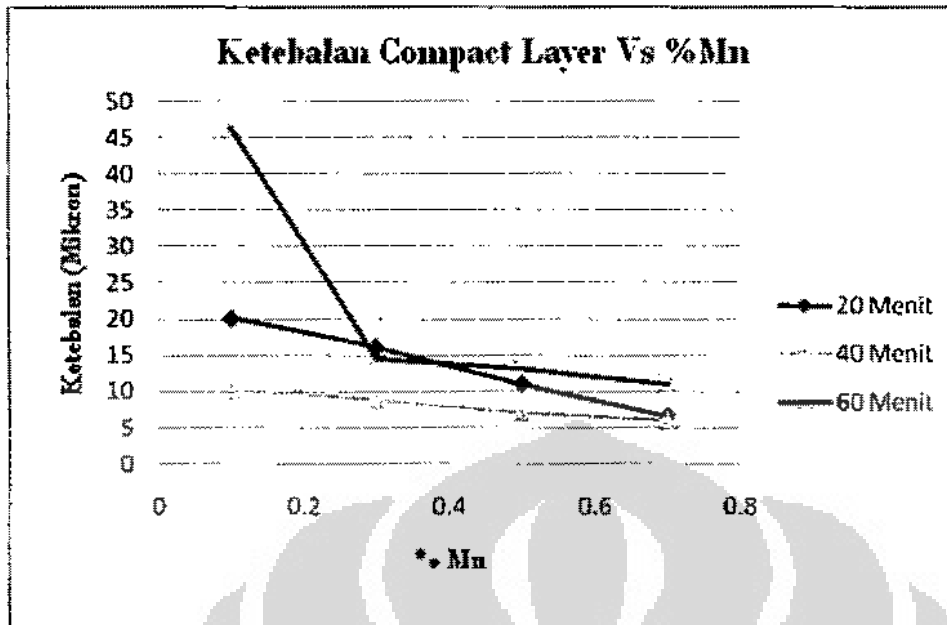
Berdasarkan hasil penelitian didapat kondisi efektif untuk mengurangi kecenderungan cacat *die soldering* dengan meminimalisir pembentukan *compact layer* adalah pada kondisi penambahan 0,3% Mn dalam paduan Al-7%Si dengan waktu kontak 20 menit. Hasil diskusi dengan narasumber dari salah satu industri sepeda motor di Jakarta, 1 (satu) siklus pengecoran dengan menggunakan *High Pressure Die Casting* (HPDC) sekitar 50 hingga 70 detik tergantung dari ukuran

produk. Sehingga dengan kata lain, kondisi paling efektif dalam pencegahan cacat *die soldering* pada paduan coran Al-7%Si adalah dengan penambahan sekitar 0.3%Mn ke dalam paduan Al-7%Si dengan siklus pengecoran maksimal sekitar 20 kali.



Gambar 4. 19 Data hasil penelitian pengaruh unsur Mn terhadap ketebalan *broken layer* pada paduan Al-7%Si dalam fungsi waktu

Gambar 4.19 memperlihatkan hubungan antara penambahan Mn dalam paduan Al-7%Si terhadap ketebalan *broken layer*. Seperti yang terlihat pada grafik di atas, data pada grafik tersebut cenderung acak dan tidak beraturan, tidak ada korelasi yang jelas antara peningkatan kandungan Mn dalam paduan Al-12%Si dengan ketebalan *broken layer*. Sehingga, berdasarkan hasil penelitian, peningkatan kandungan Mn dalam paduan Al-7%Si tidak mempengaruhi pertumbuhan *broken layer*.



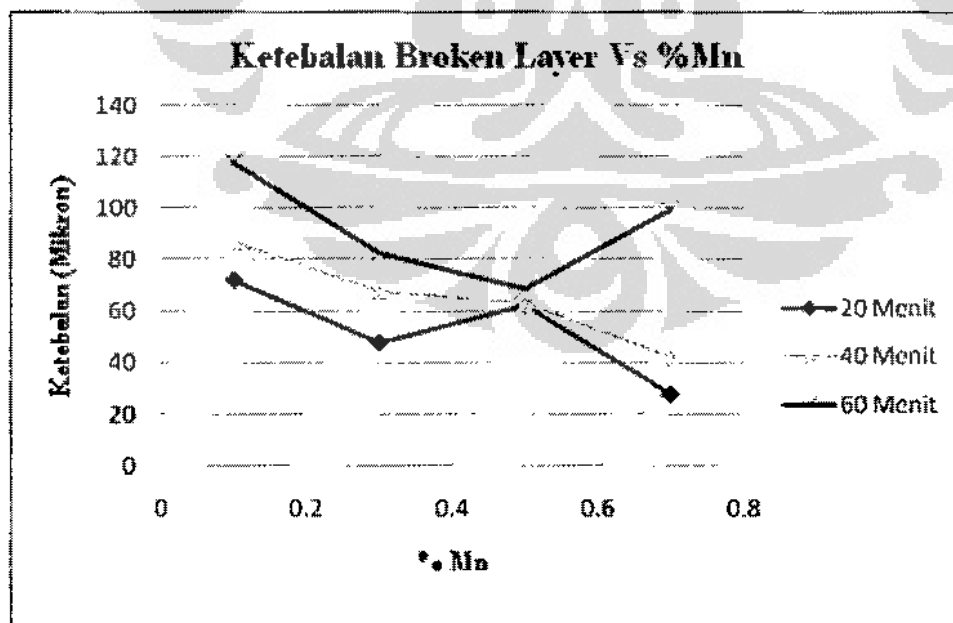
Gambar 4.20 Data hasil penelitian pengaruh unsur Mn terhadap ketebalan *compact layer* pada paduan Al-12%Si dalam fungsi waktu

Gambar 4.20 memperlihatkan hubungan antara penambahan Mn pada paduan Al-12%Si terhadap ketebalan *compact layer*. Secara umum, grafik tersebut memperlihatkan trend yang konsisten yaitu semakin tinggi kadar Mn yang ditambahkan pada paduan Al-12%Si, maka *compact layer* yang terbentuk akan semakin tipis (data ketebalan dapat dilihat pada Lampiran.1). Hal ini disebabkan penambahan Mn mengakibatkan tingkat kejenuhan pada aluminium silikon cair menjadi meningkat. Selanjutnya mengakibatkan kecenderungan Al untuk bereaksi dengan Fe yang terkandung pada H13 akan semakin berkurang. Sehingga kecenderungan Fe untuk berdifusi keluar dan bereaksi dengan Al akan semakin berkurang. Hal ini berdampak pada ketebalan lapisan intermetalik yang semakin menurun seiring dengan meningkatnya kadar Mn pada Al cair. Fenomena ini mengindikasikan adanya peran Mn sebagai inhibitor reaksi pembentukan *compact layer*.

Gambar 4.20 juga memperlihatkan bahwa pada kadar 0.1, 0.3, 0.5, dan 0.7% Mn yang ditambahkan ke dalam paduan Al-12%Si, pertumbuhan *compact layer* pada permukaan H13 juga dipengaruhi oleh waktu kontak. Berdasarkan hasil penelitian pertumbuhan *compact layer* pada H13 dalam rentang waktu kontak 20, 40, dan 60 menit membentuk kurva parabolik, dimana tingkat ketebalan *compact layer* tertinggi hingga terendah secara berturut adalah

pencelupan dengan waktu kontak 60 menit, 20 menit, dan 40 menit. Hal ini menunjukkan bahwa terdapat dua proses yang terjadi dalam penelitian ini, yaitu proses pertumbuhan lapisan intermetalik dan proses pelarutan lapisan intermetalik. Pada kondisi waktu kontak 40 menit, *driving force* untuk terjadinya pertumbuhan lapisan intermetalik cenderung rendah, sedangkan *driving force* untuk terjadinya pelarutan cenderung mendominasi. Oleh karena itu, pencelupan selama 40 menit pada Al-12%Si dengan kandungan 0.1%, 0.3%, 0.5%, dan 0.7% Mn menghasilkan *compact layer* yang tipis.

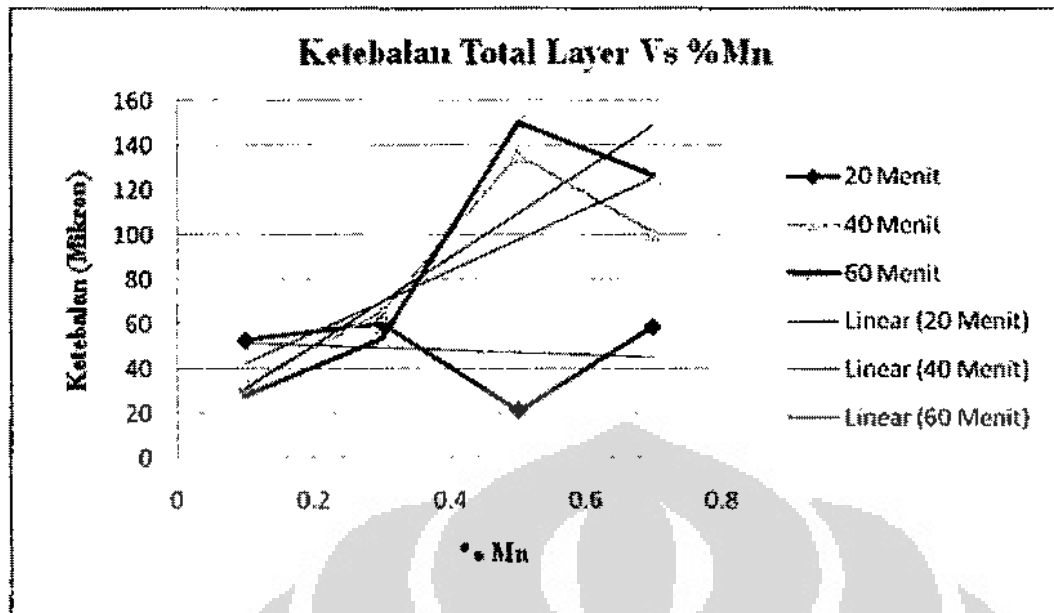
Berdasarkan hasil penelitian didapat kondisi efektif untuk mengurangi kecenderungan cacat *die soldering* pada paduan Al-12%Si dengan meminimalisir pembentukan *compact layer* adalah pada kondisi penambahan hingga 0.7% Mn dalam paduan Al-12%Si dengan waktu kontak 40 menit. Hasil diskusi dengan narasumber dari salah satu industri sepeda motor di Jakarta, 1 (satu) siklus pengecoran dengan menggunakan *High Pressure Die Casting* (HPDC) sekitar 50 hingga 70 detik tergantung dari ukuran produk. Sehingga dengan kata lain, kondisi paling efektif dalam pencegahan cacat *die soldering* pada paduan coran Al-12%Si adalah dengan penambahan sekitar 0.7%Mn ke dalam paduan Al-12%Si dengan siklus pengecoran maksimal sekitar 40 kafi.



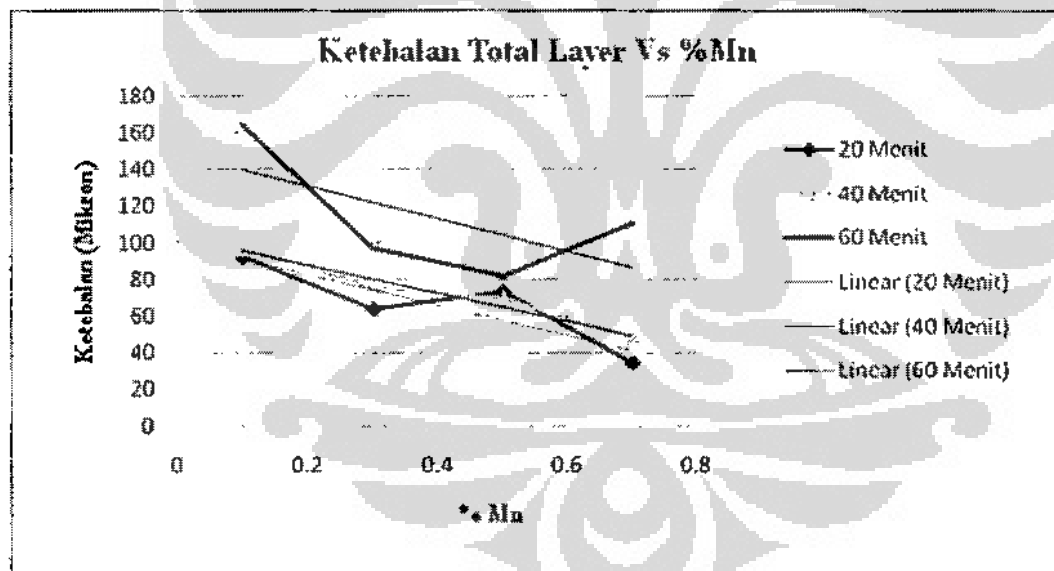
Gambar 4. 21 Data hasil penelitian pengaruh unsur Mn terhadap ketebalan *broken layer* pada paduan Al-12%Si dalam fungsi waktu

Gambar 4.21 memperlihatkan hubungan antara penambahan Mn dalam paduan Al-12%Si terhadap ketebalan *broken layer*. Seperti yang terlihat pada grafik di atas, data pada grafik tersebut cenderung naik turun, tidak ada korelasi yang jelas dan konsisten antara peningkatan kandungan Mn dalam paduan Al-12%Si dengan ketebalan *broken layer*. Sehingga, berdasarkan hasil penelitian, peningkatan kandungan Mn dalam paduan Al-12%Si tidak mempengaruhi pertumbuhan *broken layer*.

Namun, Gambar 4.21 memperlihatkan bahwa pada kadar 0.1%, 0.3%, 0.5%, dan 0.7% Mn yang ditambahkan ke dalam paduan Al-12%Si, pertumbuhan *broken layer* pada permukaan H13 dipengaruhi oleh waktu kontak antara baja H13 dengan aluminium cair. Berdasarkan hasil penelitian, pertumbuhan *broken layer* pada H13 dalam rentang waktu kontak 20,40,dan 60 menit memperlihatkan suatu trend linier dimana tingkat ketebalan *broken layer* dari yang tertinggi hingga terendah berturut-turut adalah pada kondisi pencelupan baja H13 ke dalam Al-12%Si dengan waktu kontak 60 menit, 40 menit, kemudian 20 menit. Sehingga, dengan kata lain pada proses pencelupan baja H13 ke dalam paduan Al-12%Si yang mengandung 0.1%, 0.3%, 0.5%, dan 0.7% Mn menghasilkan penurunan ketebalan *broken 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 *broken layer* sehingga *broken layer* yang terbentuk akan semakin tebal.



Gambar 4. 22 Data hasil penelitian pengaruh unsur Mn terhadap total ketebalan lapisan intermetalik pada paduan Al-7%Si



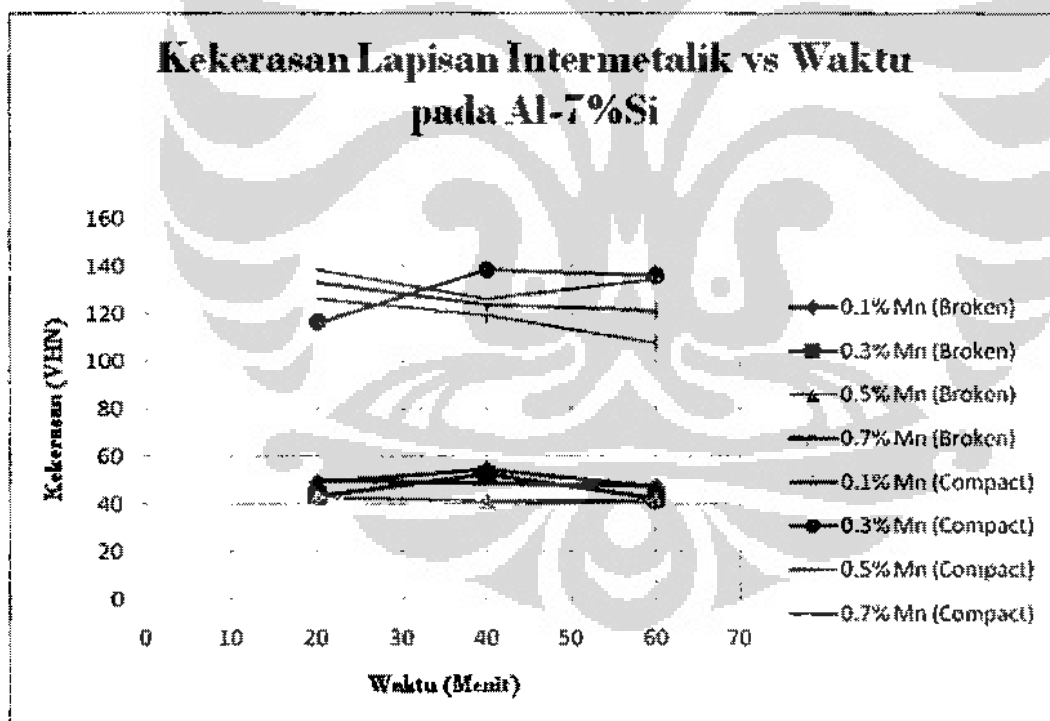
Gambar 4. 23 Data hasil penelitian pengaruh unsur Mn terhadap total ketebalan lapisan intermetalik pada paduan Al-12%Si

Gambar 4.22 memperlihatkan hubungan antara penambahan Mn dalam paduan Al-7%Si terhadap total ketebalan lapisan intermetalik. Berdasarkan gambar tersebut, terlihat bahwa data pada grafik tersebut cenderung naik turun dan acak. Tidak terlihat adanya korelasi yang jelas dan konsisten antara

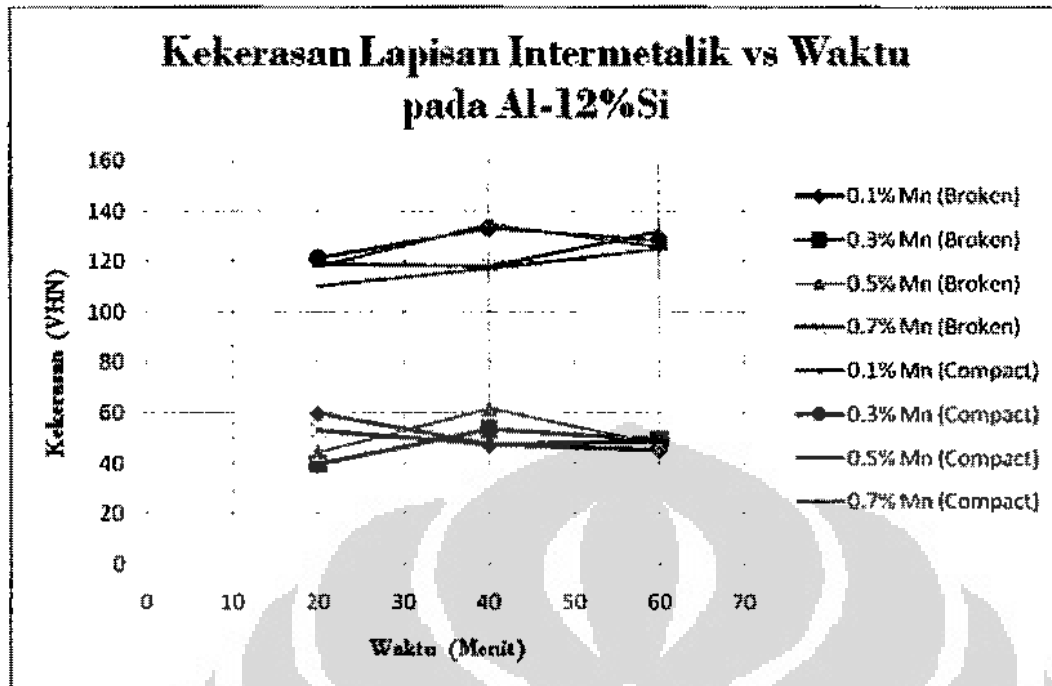
peningkatan kandungan Mn dalam paduan Al-7%Si terhadap total ketebalan lapisan intermetalik. Sedangkan Gambar 4.23 memperlihatkan hubungan antara penambahan Mn dalam paduan Al-7%Si terhadap total ketebalan lapisan intermetalik. Berdasarkan gambar tersebut, secara umum grafik tersebut memperlihatkan trend yang konsisten yaitu semakin tinggi kadar Mn yang ditambahkan pada paduan Al-12%Si, maka total ketebalan lapisan intermetalik yang terbentuk akan semakin tipis (data ketebalan dapat dilihat pada Lampiran.1).

Sehingga pengaruh penambahan unsur mangan terhadap paduan aluminium silikon baru terlihat pada penambahan unsur mangan dalam paduan Al-12%Si, dimana penambahan mangan dalam paduan Al-12%Si akan menurunkan ketebalan total lapisan intermetalik yang terbentuk.

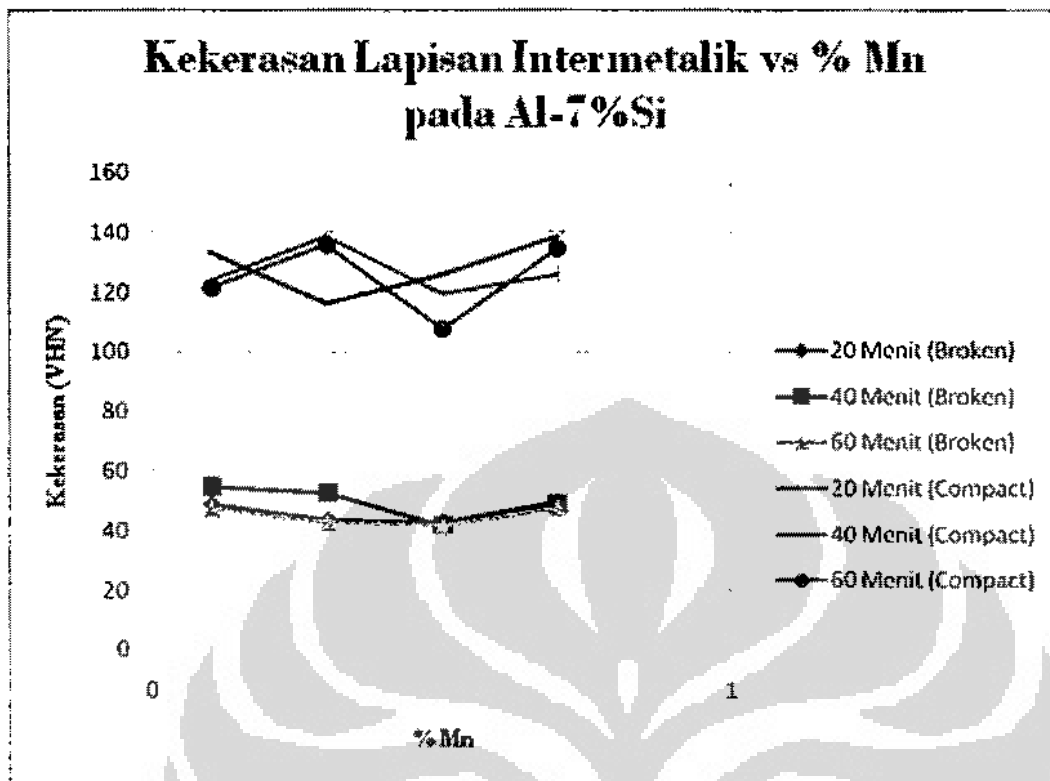
4.4. Pengaruh Unsur Mangan Terhadap Sifat Mekanis Lapisan Intermetalik



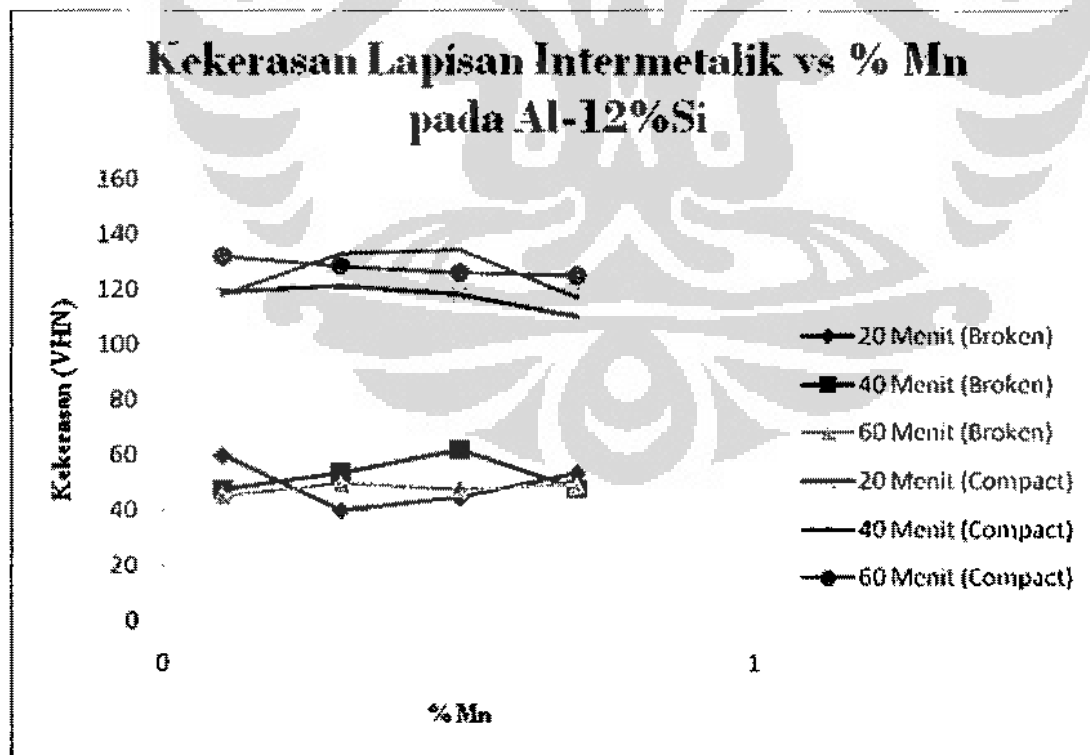
Gambar 4. 24 Data hasil penelitian pengaruh waktu kontak terhadap kekerasan lapisan intermetalik pada paduan Al-7%Si



Gambar 4. 25 Data hasil penelitian pengaruh waktu kontak terhadap kekerasan lapisan intermetalik pada paduan Al-12%Si



Gambar 4. 26 Data hasil penelitian pengaruh %Mn terhadap kekerasan lapisan intermetalik pada paduan Al-7%Si



Gambar 4. 27 Data hasil penelitian pengaruh %Mn terhadap kekerasan lapisan intermetalik pada paduan Al-12%Si

Gambar 4.24 hingga Gambar 4.27 menunjukkan distribusi kekerasan untuk setiap penambahan 0.1%, 0.3%, 0.5%, dan 0.7% Mn ke dalam paduan Al-7%Si dan Al-12%Si. Pada grafik diatas, secara keseluruhan dapat dilihat 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 (data kekerasan lapisan intermetalik dapat dilihat pada Lampiran.2). 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 adalah $53 \times 10^{-4} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$, lebih besar dari koefisien difusi aluminium menuju besi, $1.8 \times 10^{-4} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ ^[35]. 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. Dimana energi aktivasi untuk difusi atom Fe pada fasa Fe_2Al_5 adalah 107 kJ/mol sedangkan difusi atom Al adalah 171 kJ/mol^[35], sehingga difusi Al dari aluminium cair menuju *compact layer* membentuk *broken layer* lebih mendominasi dibandingkan difusi Fe dari H13 melalui *compact layer*.

Oleh karena 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*, maka jelas *compact layer* akan cenderung memiliki kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan dengan *broken layer*.

Berdasarkan Gambar 4.24 hingga Gambar 4.27 diatas, secara keseluruhan dapat dilihat hubungan antara kekerasan dengan penambahan unsur Mn dalam paduan Al-7%Si dan Al-12%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 dan Al-12%Si. Hal ini kemungkinan berhubungan dengan pengaruh kadar Al dan Fe yang terkandung pada setiap lapisan intermetalik. Telah dijelaskan sebelumnya bahwa penambahan unsur Mn dalam Al-7%Si dan Al-12%Si tidak mempengaruhi kadar

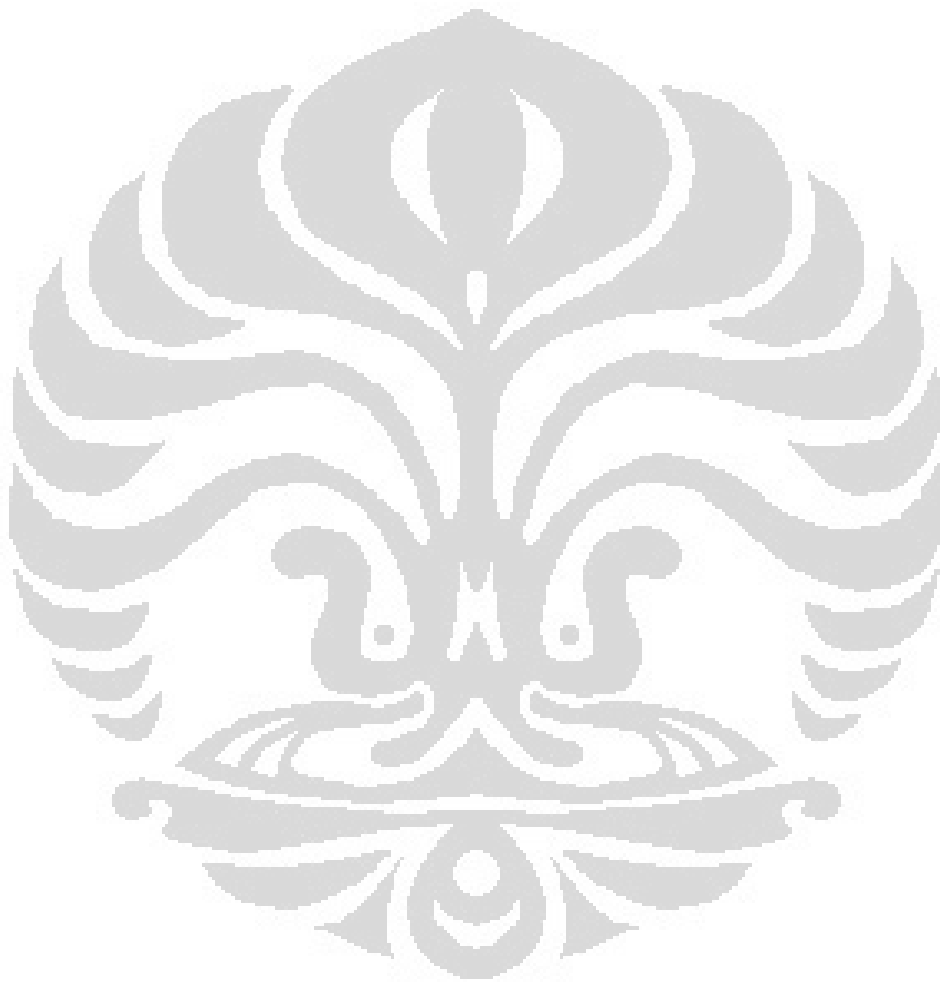
Fe dan Al yang berdifusi ke dalam lapisan intermetalik baik *compact* maupun *broken*. Sedangkan kekerasan suatu lapisan intermetalik kemungkinan besar identik dengan kandungan unsur yang terdapat didalamnya, dimana unsur yang mendominasi didalam *compact layer* dan *broken layer* adalah unsur Fe dan Al pada lapisan tersebut. Semakin banyak 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 5 KESIMPULAN

1. Pada pencelupan baja H13 kedalam Al-7%Si dan Al-12%Si dengan penambahan unsur mangan sebesar 0.1%, 0.3%, 0.5%, 0.7% pada temperatur 700 °C menghasilkan dua lapisan intermetalik yaitu *compact layer* (lapisan padat) yang berbatasan dengan baja H13, kemudian *broken layer* (lapisan semi padat) yang berbatasan dengan *compact layer* dan aluminium.
2. Penambahan unsur Mn dan waktu kontak tidak mempengaruhi kadar Fe dan Al yang terkandung pada lapisan intermetalik yang terbentuk. Penambahan unsur Mn dan waktu kontak tidak mempengaruhi fasa *broken layer* ataupun *compact layer* yang terbentuk.
3. *Compact layer* hasil pencelupan dalam Al-7%Si mempunyai ketebalan 20% dari total lapisan, sedangkan untuk hasil pencelupan dalam Al-12%Si mempunyai ketebalan 16% dari total lapisan. Sehingga *compact layer* memiliki ketebalan yang lebih rendah dibandingkan dengan *broken layer*.
4. Kondisi efektif untuk mengurangi kecenderungan cacat *die soldering* dengan meminimalisir pembentukan *compact layer* pada Al-7%Si adalah pada penambahan 0.3% Mn dengan siklus pengecoran maksimal 20 kali. Sedangkan pada paduan Al-12%Si, semakin tinggi kadar Mn yang ditambahkan pada paduan Al-12%Si, maka *compact layer* yang terbentuk akan semakin tipis. Dimana kondisi efektif untuk mengurangi kecenderungan cacat *die soldering* pada paduan Al-12%Si adalah pada penambahan hingga 0.7% Mn dengan siklus pengecoran maksimal 40 kali. Namun penambahan Mn pada paduan Al-7%Si dan Al-12%Si tidak mempengaruhi ketebalan *broken layer* yang terbentuk.
5. pengaruh penambahan unsur mangan terhadap paduan aluminium silikon baru terlihat pada penambahan unsur mangan dalam paduan Al-12%Si, dimana penambahan mangan dalam paduan Al-12%Si akan menurunkan ketebalan total lapisan intermetalik yang terbentuk.

6. Kekerasan *compact layer* lebih tinggi dibandingkan kekerasan pada *broken layer*. Dimana *compact layer* memiliki kekerasan rata-rata 117 HVN dan *broken layer* 50 HVN. Selain itu, penambahan unsur Mn pada Al-7%Si dan Al-12%Si tidak berpengaruh terhadap kekerasan kedua lapisan intermetalik yang terbentuk.



DAFTAR REFERENSI

1. *Properties and Selection of Nonferrous Alloys and Special Purpose Volume 2.* (2003). ASM International.
2. Goerge, T. E. (2003). *Handbook of Aluminum vol 1, Physical Metallurgy and Process*. New York: Marcel Dekker Inc.
3. Vadim, Z. S. (2007). *Casting Aluminum Alloys*. Elsevier
4. Yu Long Zu, et al. (2004). Evaluation of *Soldering*, washout and thermal fatigue resistance of advanced metal materials for aluminum *die casting dies*. *Material Science and Engineering*, 420-431.
5. Q Han, S. (2003). Analysis of the Mechanism of *Die Soldering* in Aluminum *die Casti*. *Oak Ridge*, 1.
6. Hogan, P. (2000). *Die Solder Reduction*. Contech LLC.
7. W. Kajoeh, A. F. (1991). Testing the *Soldering* Tendencies of Aluminum *Die Castig Alloy*. *NADCA Transaction*, 67-74.
8. G.B Winkelman, Z.W Chen, D.H St john, M.Z Jahedi. (2004). Morphological Features of Interfacial Intermetallics and Interfacial Reaction Rate in Al-11Si-2.5Cu(0.15/0.6) Fe cast Alloy/*die steel couples*. *Kluwer Academic Publishers*.
9. Y.L Chu, P. C. (1993). *Soldering* Phenomenon in Aluminum *Die Casting* : Possible Causes and Cures. *Transactions Roseman Illinox*, 360-371.
10. Shankar, S. (2000). *A Study of interface REaction Mechanism Between Molten Aluminum and Ferrous Die Material*. WPI.
11. Sumanth Shankar, Diran Apelian. (2003). *Die Soldering* : Effect of Process Parameters and Alloy on *Soldering* in The Pressure *Die Casting*.
12. Bambang Suharno, Bustanul Arifin, Sri Harjanto, Vika Rizkia. (2007). Pengaruh Unsur Fe pada Paduan Al-12%Si Terhadap Morfologi dan Karakteristik Lapisan Intermetalik pada Fenomena *Die Soldering* Dalam Proses *Die Casting*. *SENAMM I*.

13. Andriyah, L. (2006). *Pengaruh Unsur Besi pada Paduan Al-7%Si terhadap Morfologi dan Karakteristik Lapisan Intermetalik pada Fenomena Die Soldering*. Depok.
14. Taylor, J. (2000). *The Effect of Iron in Al-Si Casting Alloy*. *The University of Queensland*.
15. X.Fang, G.Shao, Y.Q Liu, Z.Fan. (n.d.). *Effect of Intensive Forced Melt Convection on The Mechanical Properties of Fe-Containing Al-Si Based Alloys*. *Brunel University*.
16. K. Venkatesan, R. Shivpuri. (1995). *Indiana Polis: Transaction of 18th International Casting Congress and Exposition*.
17. Sumanth Shankar, D. A. (2002). *Mechanism of The Interface Reaction Between Molten Aluminum Alloy and Tool Steel*. *Metallurgical and Material Transactions*.
18. Sumanth Shankar, Diran Apelian. (2002). *Mechanism and Preventive Measures for Die Soldering During Al Casting in a Ferrous Mold*. *JOM*.
19. R. Shivpuri. (1991). *An Evaluation of H-13 Die Steel, Surface Treatments and Coating for Wearing Die Casting Dies*. *NADCA Transaction*, 391-397.
20. Sumanth Shankar, Diran Apelian. (2002). *Mechanism of The interface Reaction Between Molten Alluminum Alloy and Tool Steel*. *Metallurgical and Material Transactions*.
21. Kobayasi, S. (2002). *Control of Intermetallic Compound Layers at Interface Between Steel and Aluminum by Diffusion-Treatment*. *Elsevier Science*.
22. www.wpi.edu/academics/research/ACRC/research/diesoldering.html. (2002). Retrieved July 2007, from www.wpi.edu/academics/research/ACRC/research/diesoldering.html
23. Sumanth Shankar, Diran Apelian. (1997). *Die Soldering-A Metallurgical Analysis of The Molten Metal/Die Interface REaction*. *19th ernational Die Csting Congress*. NADCA Transaction.
24. Sumanth Shankar, Diran Apelian. (1999). *Soldering Tendencies of Alternate Non Feroous Die Material*. *Worchester*.
25. (n.d.). Retrieved Juni 24, 2009, from <http://en.wikipedia.org/wiki/Intermetallic>

26. (n.d.). Retrieved June 24, 2009, from http://nepp.nasa.gov/wirebond/intermetallic_creation_and_growt.htm
27. Yo Yu Chang, e. a. (2006). Microstructural studies of an aluminide Coating on 9Cr-1Mo Steel During High Temperatur Oxidation. *Science Direct* .
28. V. Joshi, A. Srivastava, R. Shivpuri. (2004). Intermetallic Formation and Its Relation to *Interface Masss Loss and Tribology in Die Casting Die* . *Science Direct* .
29. Davis, J. (1994). *Aluminum and Aluminum Alloys*. Ohio: ASM International.
30. Sahverdi, H. (2002). Kinetic of interfacial Readtin Between Solid Iron and Molten Aluminum. *Journal of Material Science* .
31. G.Eggeler, H.Vogel, J.Friedrich, H.Kaesch, Pract. (2007). Intermetallic Fe-Al phases in a steel/Al Alloy Fusion Weld. *Journal of Material Science Vol 42* .
32. Bouche, K. e. (1998). Intermetallic Compound Layer Growth Between Solid Iron and Molten Aluminum. *Elsevier* .
33. Shahverdi, H. (2002). Microstructural Analysis of Interfacial Reaction Between Molten Aluminum and Solid Iron. *Journal of Material Processing and Technology* .
34. Kuijpers, N. (2000). *Intermetallic Phase Transformation During Homogenization og 6xxx Al Alloy*.
35. Chen, Z. (2005). Formation and Progression of *Die Soldering During High Pressure Die Casting*. *Elsevier B.V* .

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

Tabel. 2 Ketebalan *compact layer* dan *Broken layer* hasil pencelupan baja H13 pada paduan Al-12%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	11.01	9.1	20.11	72.18	92.29
	40	10.16		10.16	86.78	96.94
	60	31.75	14.6	46.35	117.69	164.04
0.3	20	8.25	7.83	16.08	47.84	63.92
	40	8.67		8.67	67.52	76.19
	60	6.77	7.83	14.6	82.34	96.94
0.5	20	4.44	6.56	11	62.23	73.23
	40	6.98		6.98	62.65	69.63
	60	8.04	5.08	13.12	68.36	81.48
0.7	20	6.56		6.56	27.73	34.29
	40	5.93		5.93	41.91	47.84
	60	11.01		11.01	99.27	110.28

Lampiran. 2

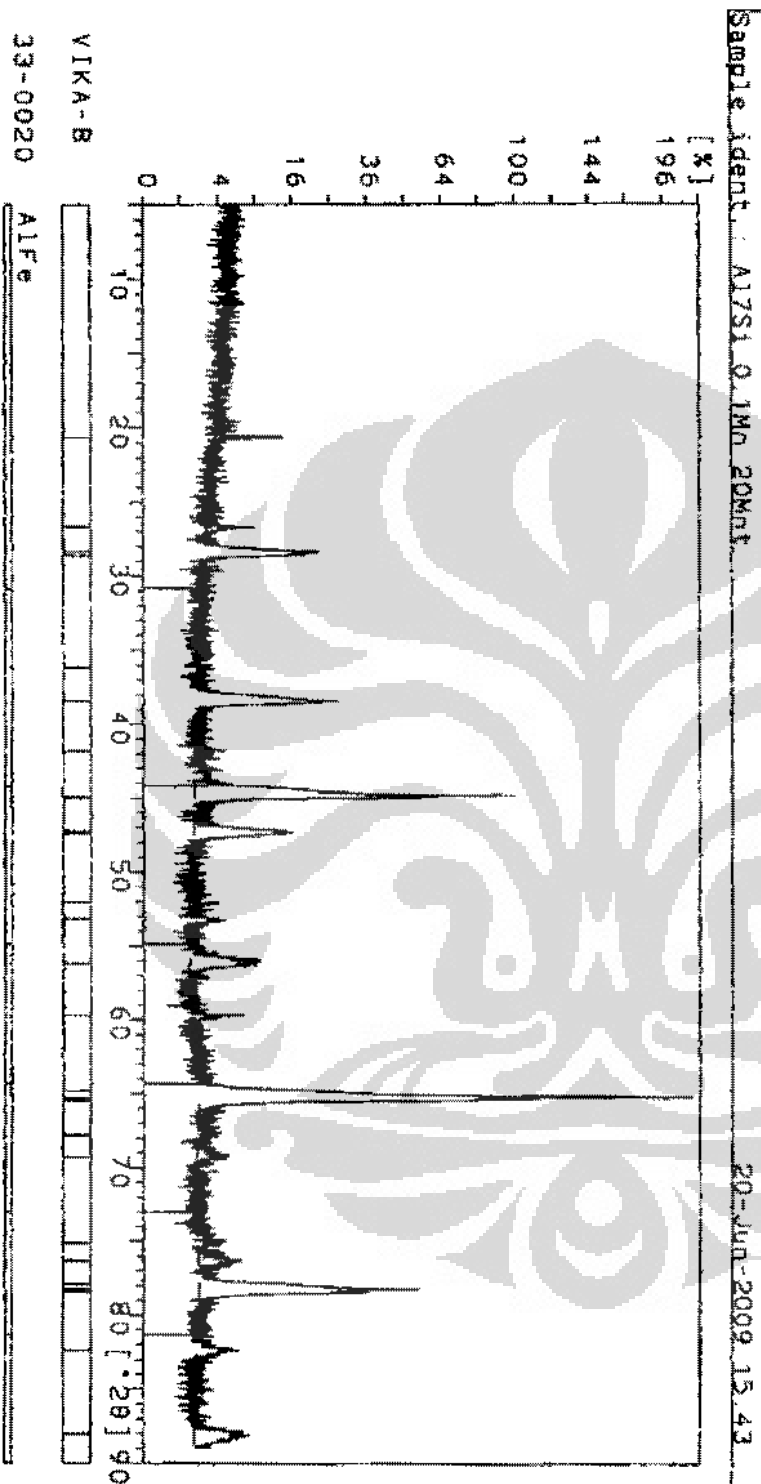
Tabel. 3 Kekerasan *compact layer* dan *broken layer* hasil pencelupan baja H13 pada paduan Al-7%Si dengan penambahan 0.1%, 0.3%, 0.5%, dan 0.7% Mn selama 20, 40, dan 60 menit

%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

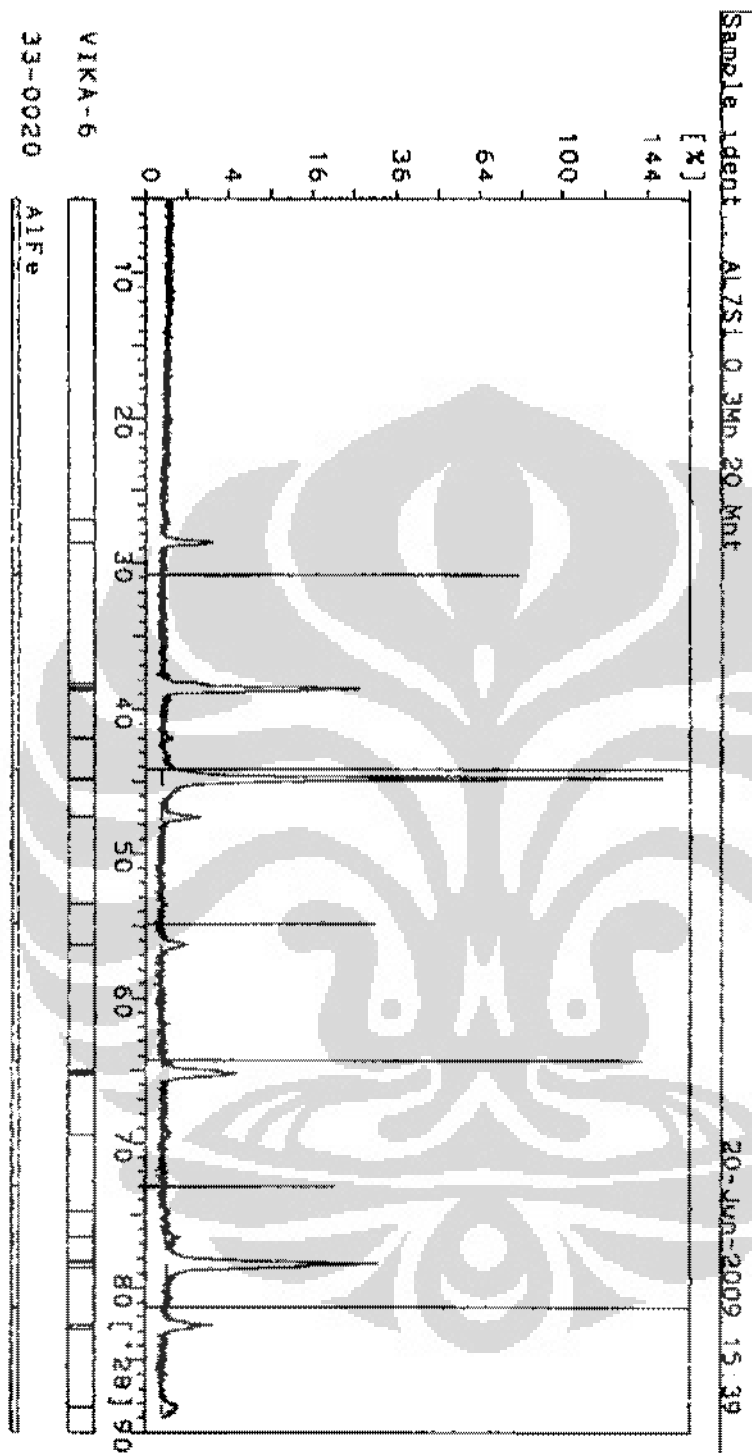
Tabel. 4 Kekerasan *compact layer* dan *broken layer* hasil pencelupan baja H13 pada paduan Al-12%Si dengan penambahan 0.1%, 0.3%, 0.5%, dan 0.7% Mn selama 20, 40, dan 60 menit

%Mn	Waktu	Lapisan	x1	y1	x2	y2	Dmean	HVN
0.1	20	Broken	40	38	41.5	38	39.375	60
		Compact	26.5	27.5	28.5	29	27.875	119
	40	Broken	48.5	42	47.5	39	44.25	47
		Compact	28	26.5	29	28.5	28	118
	60	Broken	42	42.5	48	48.5	45.25	45
		Compact	26	25.5	28.5	26	26.5	132
0.3	20	Broken	47.5	49	48.5	48	48.25	40
		Compact	29	27	29.5	25	27.625	121
	40	Broken	41	43.5	40.5	41.5	41.625	54
		Compact	25	28	25	27.5	26.375	133
	60	Broken	46	47.5	41.5	38	43.25	50
		Compact	27	25.5	28	27	26.875	128
0.5	20	Broken	48.5	48	40.5	46	45.75	44
		Compact	25.5	29	28.5	29	28	118
	40	Broken	38	38.5	38	40.5	38.75	62
		Compact	27	27	25.5	25.5	26.25	135
	60	Broken	42	40	47.5	47	44.125	48
		Compact	26	25.5	29	28	27.125	126
0.7	20	Broken	44.5	41	40.5	41	41.75	53
		Compact	29	28.5	29	29.5	29	110
	40	Broken	46.5	45	43	42	44.125	48
		Compact	25	29	29	29.5	28.125	117
	60	Broken	42	44	44.5	43.5	43.5	49
		Compact	27.5	28	26.5	27	27.25	125

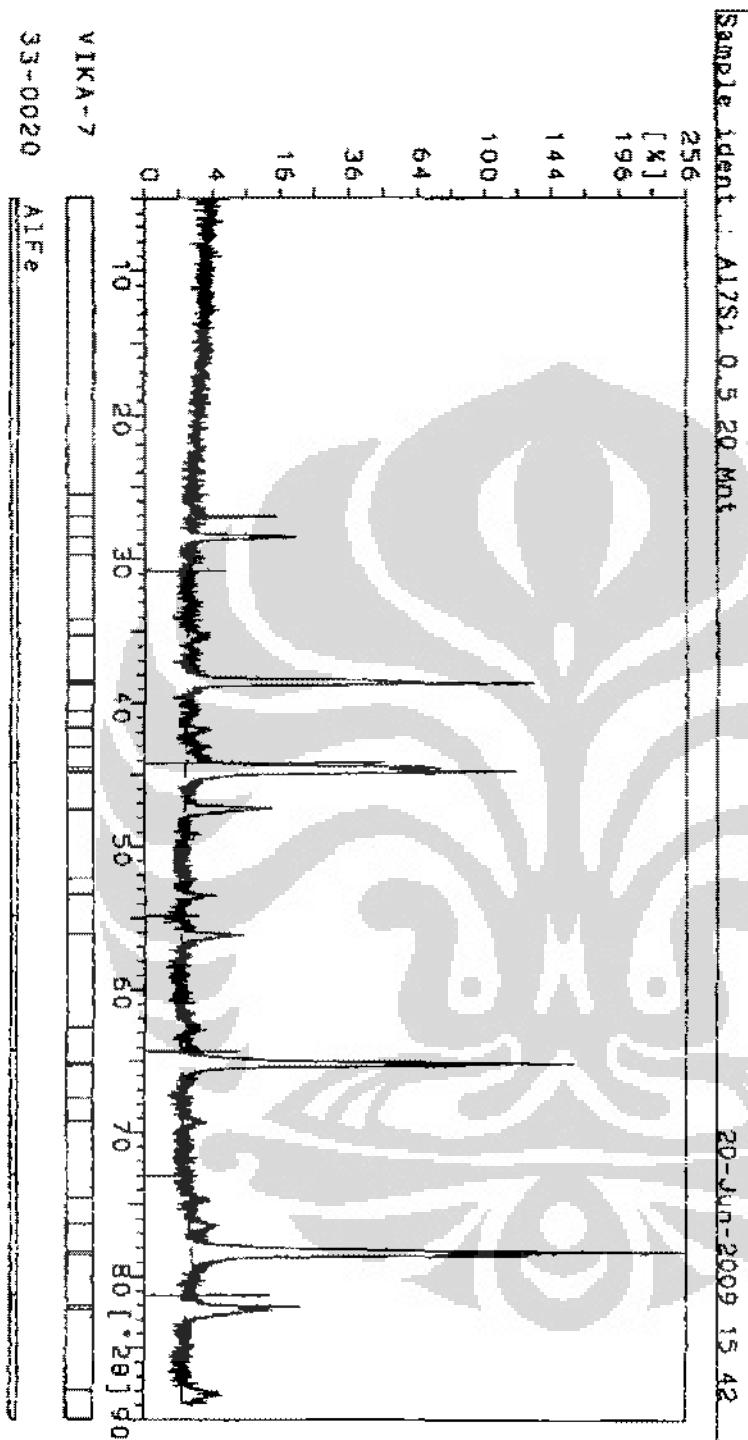
Lampiran. 3



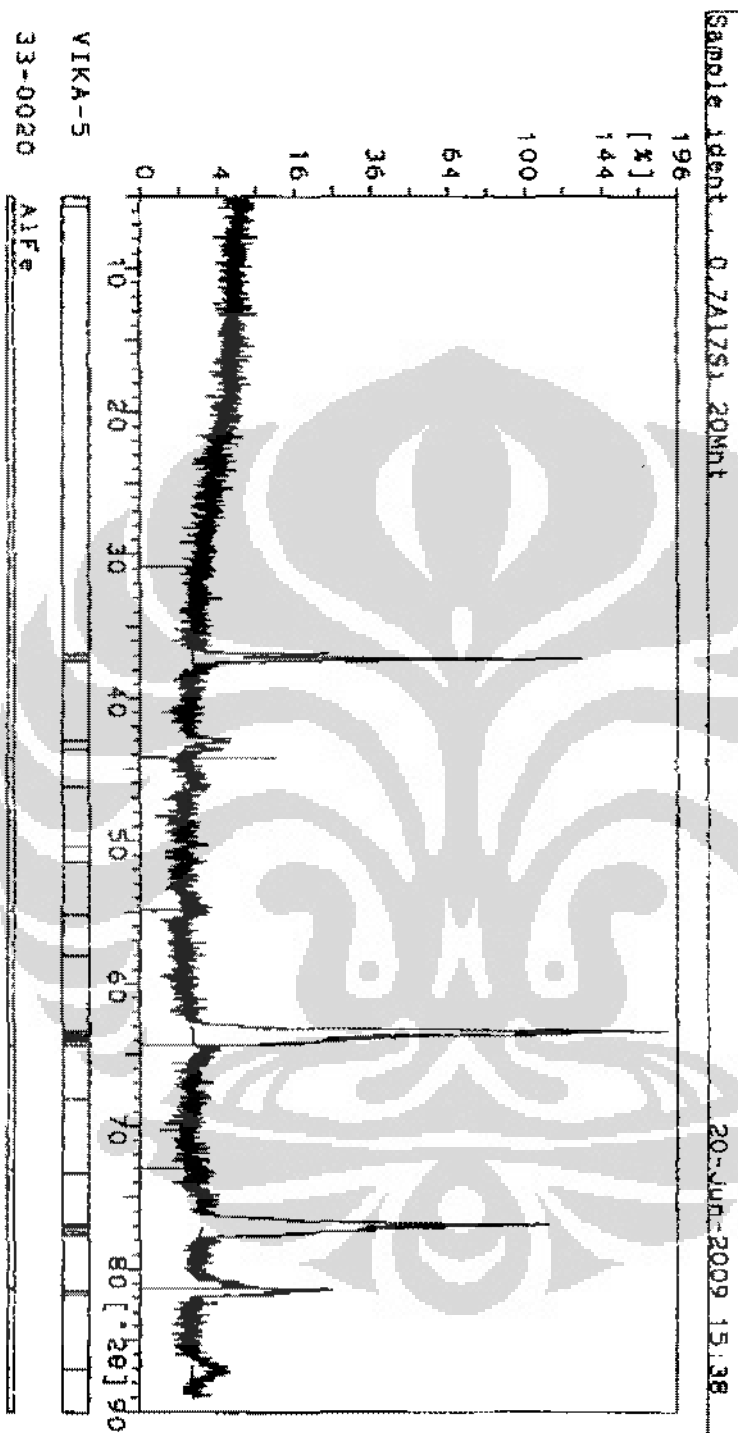
Gambar. 1 Hasil pengujian XRD sampel H13 yang dicelup dalam Al-7%Si dengan 0,1%Mn selama 20 menit



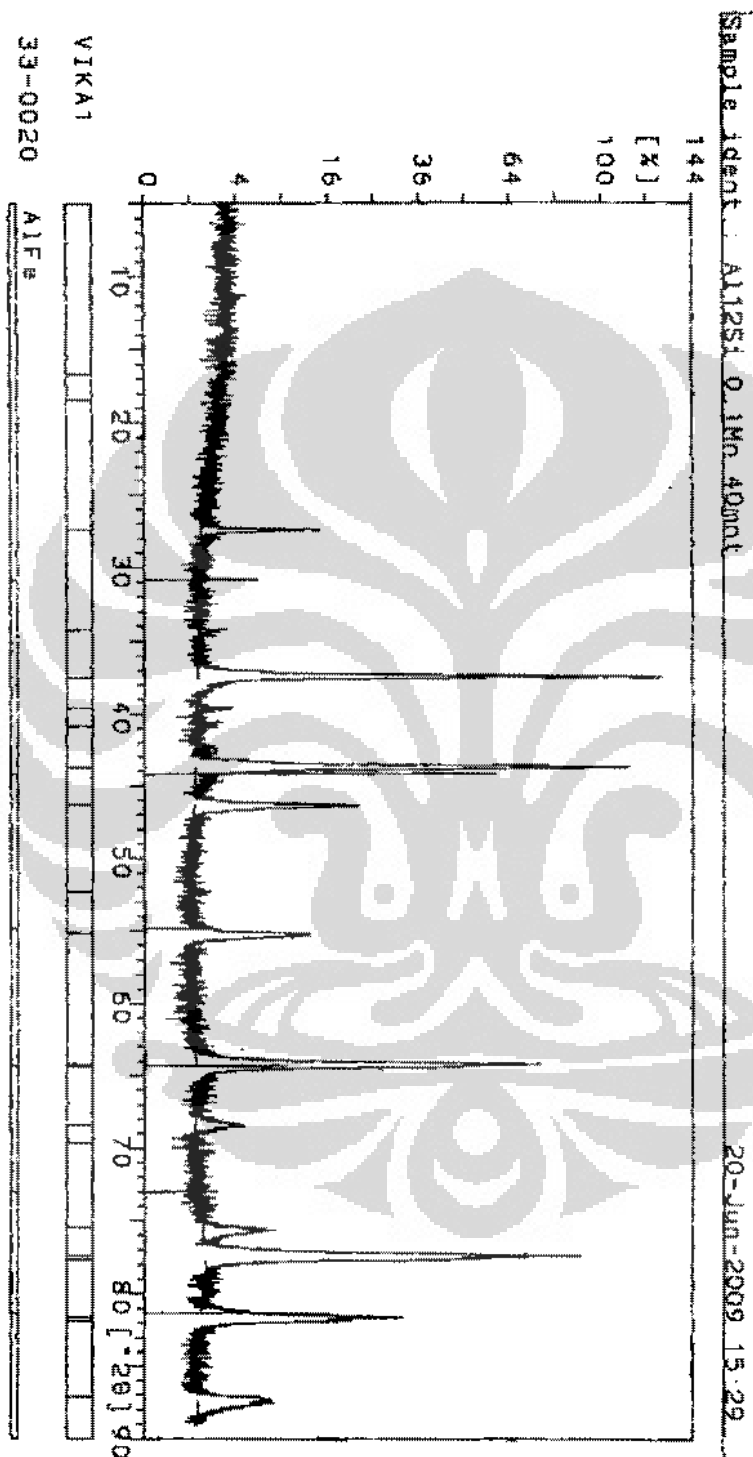
Gambar. 2 Hasil pengujian XRD sampel H13 yang dicelup dalam Al-7%Si dengan 0,3%Mn selama 20 menit



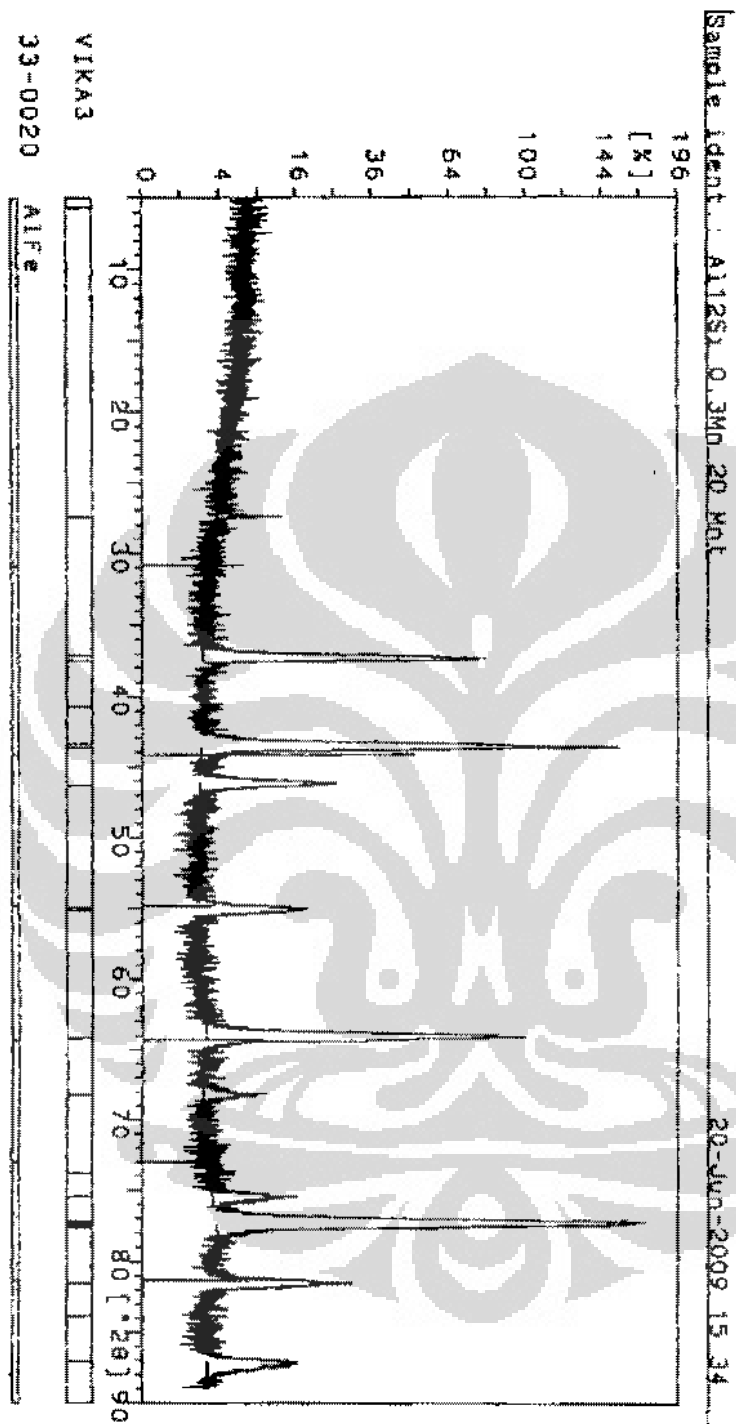
Gambar. 3 Hasil pengujian XRD sampel H13 yang dicelup dalam Al-7%Si dengan 0,5%Mn selama 20 menit



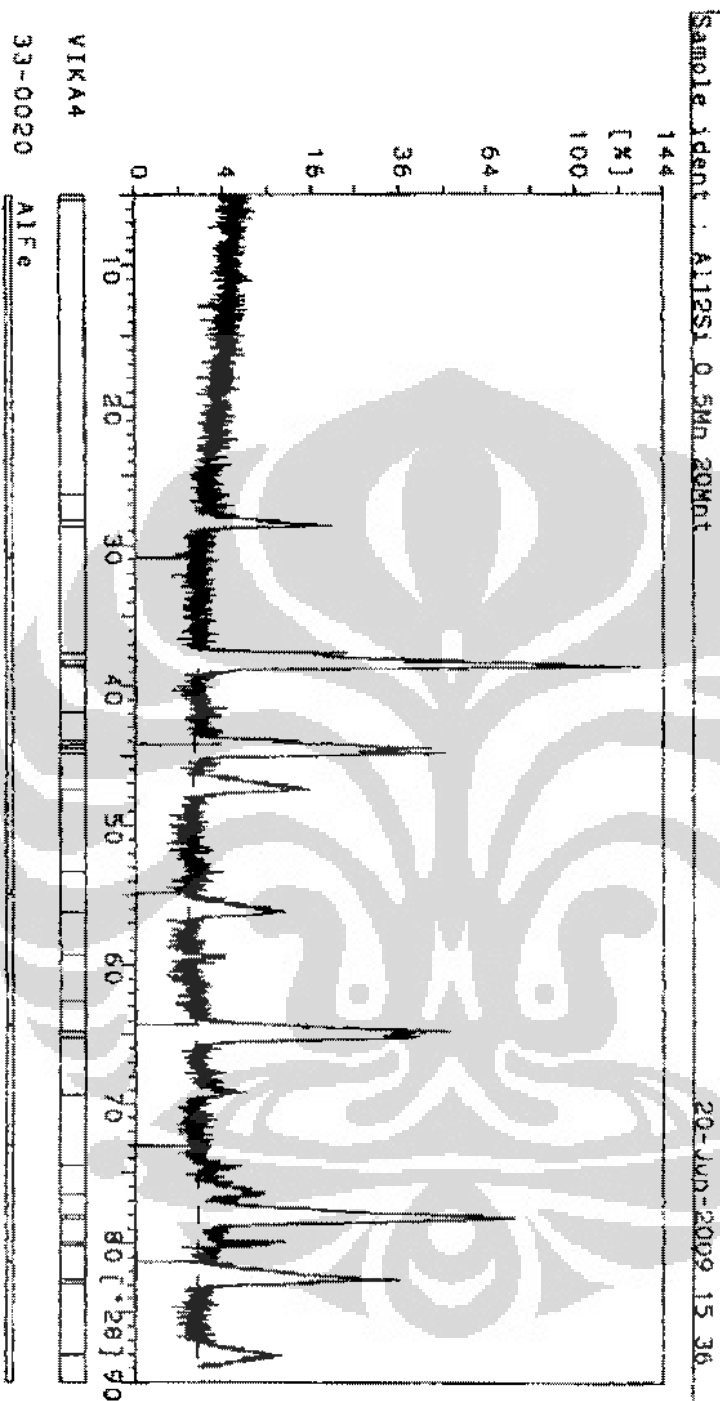
Gambar. 4 Hasil pengujian XRD sampel H13 yang dicelup dalam Al-7%Si dengan 0,7%Mn selama 20 menit



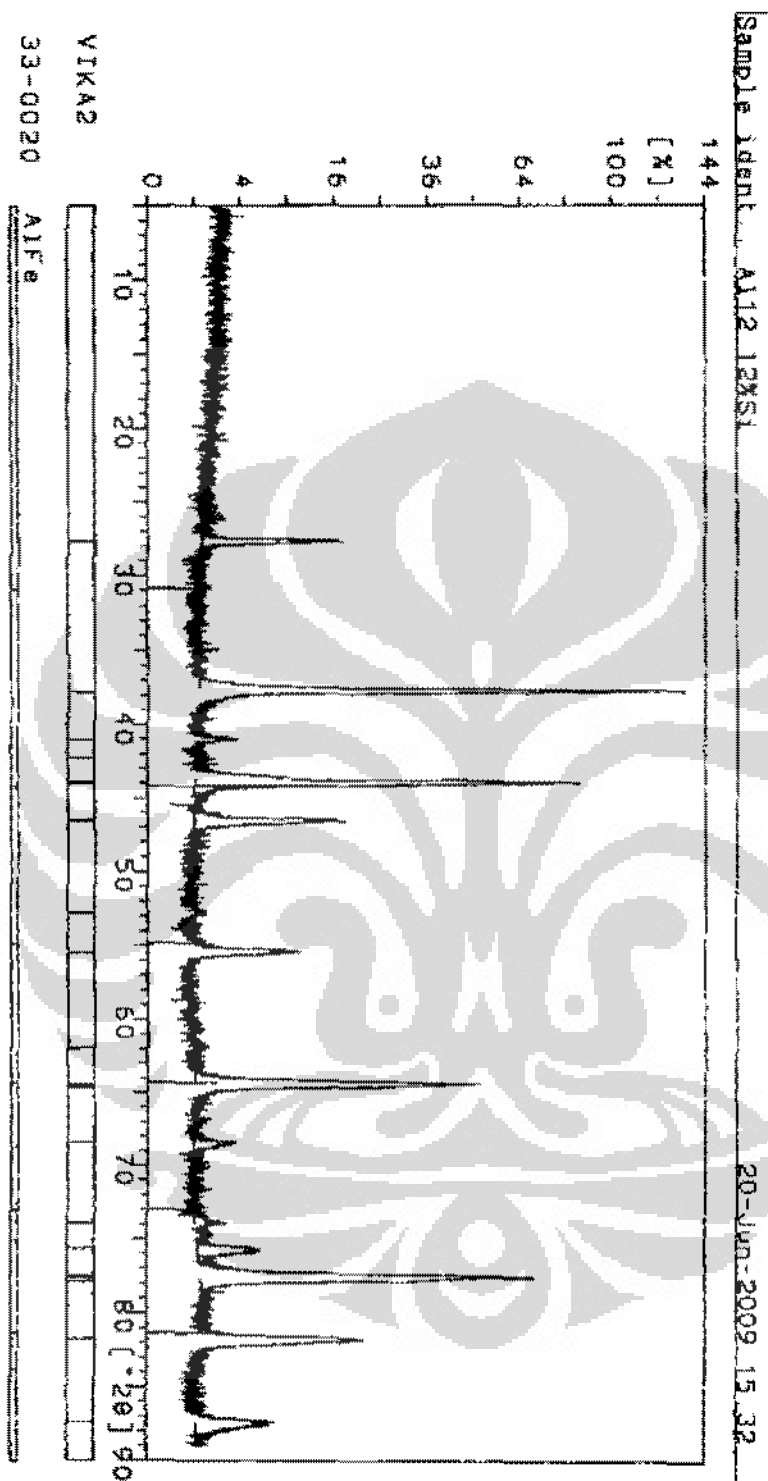
Gambar. 5 Hasil pengujian XRD sampel H13 yang dicelup dalam Al-12%Si dengan 0,1%Mn selama 20 menit



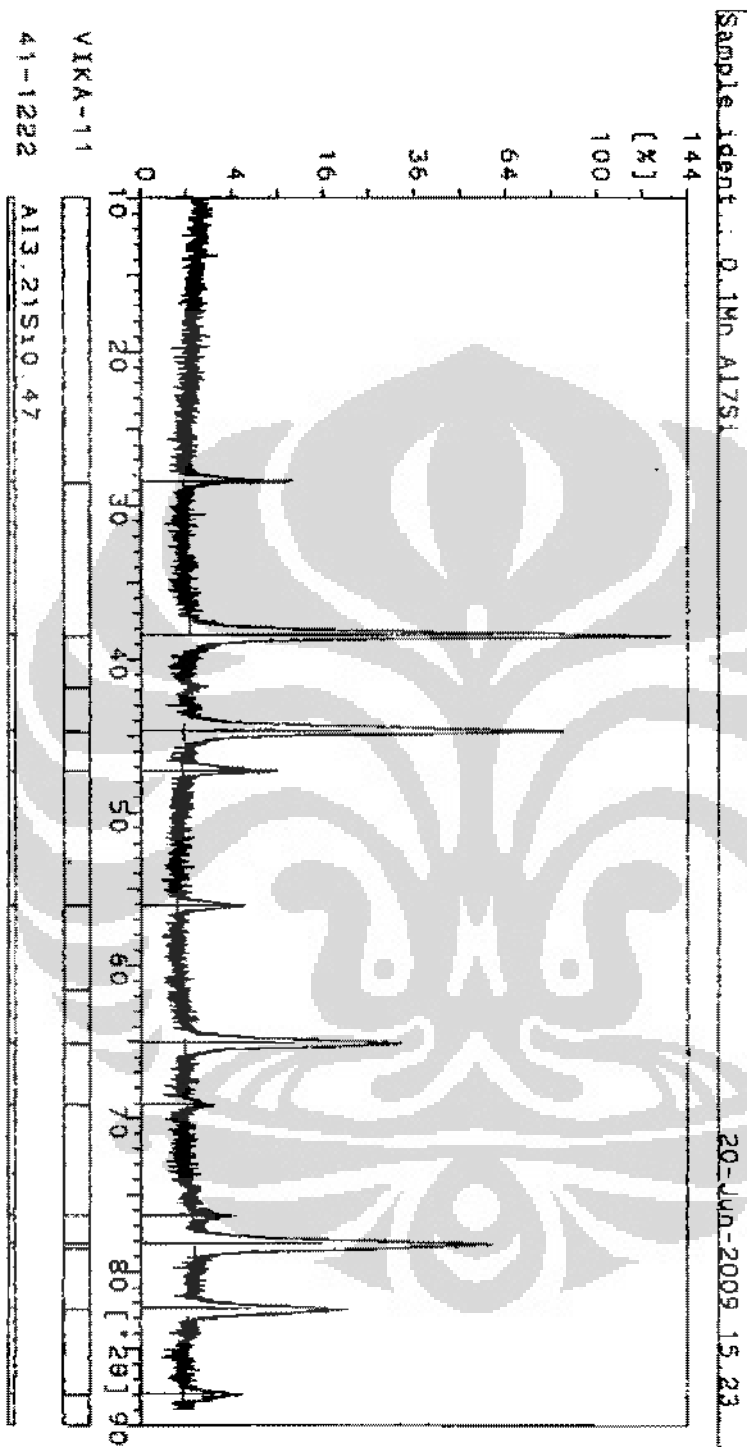
Gambar. 6 Hasil pengujian XRD sampel H13 yang dicelup dalam Al-12%Si dengan 0,3%Mn selama 20 menit



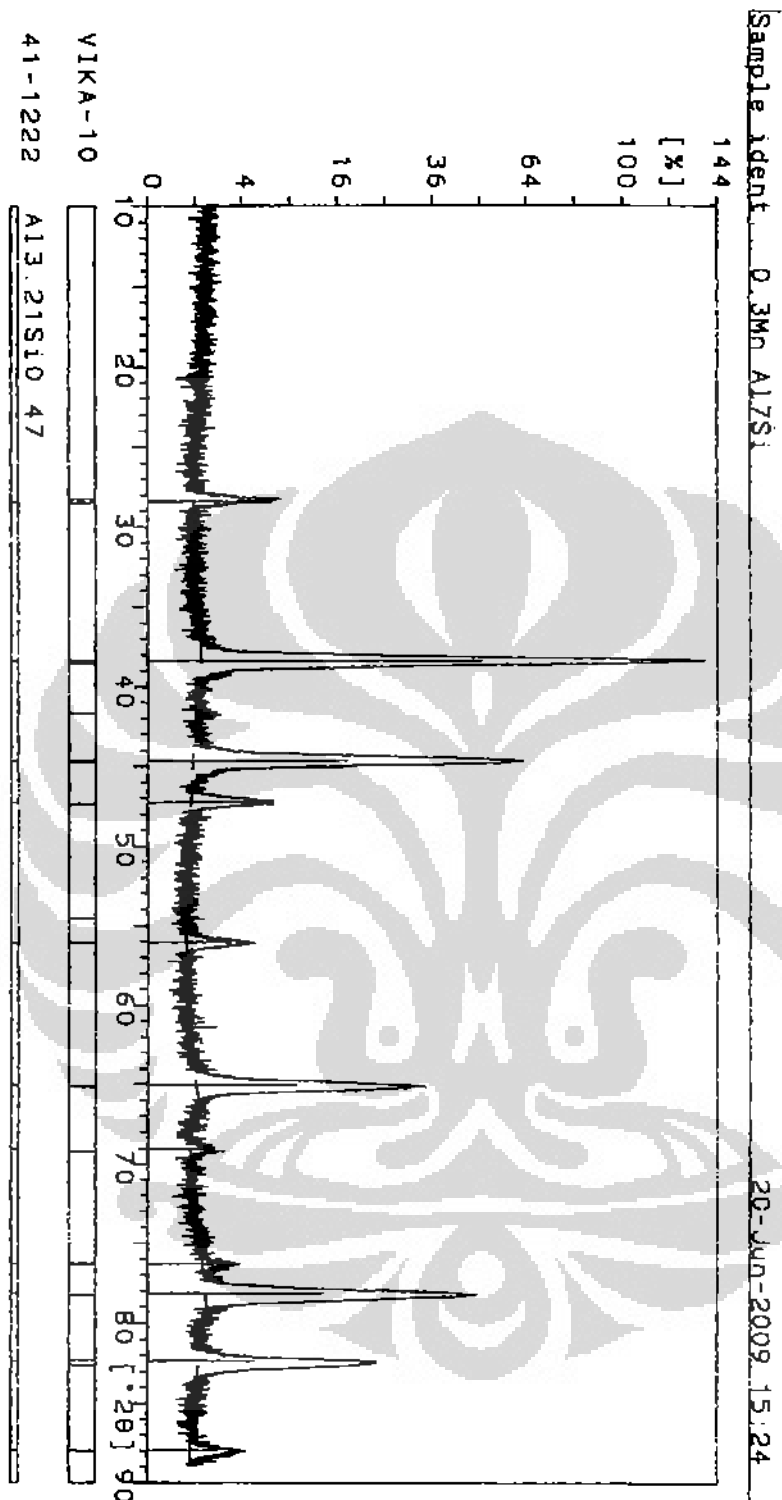
Gambar. 7 Hasil pengujian XRD sampel H13 yang dicelup dalam Al-12%Si dengan 0,5%Mn selama 20 menit



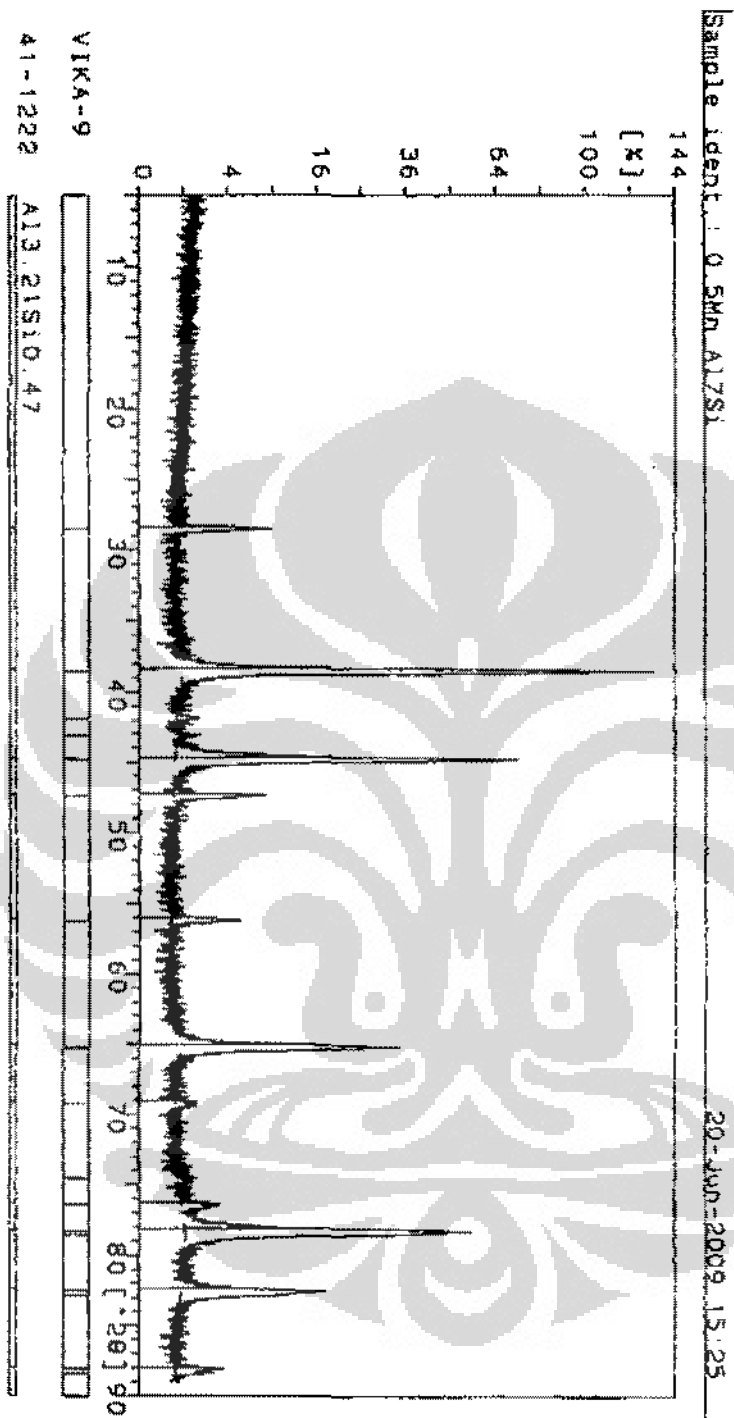
Gambar. 8 Hasil pengujian XRD sampel H13 yang dicelup dalam Al-12%Si dengan 0,7%Mn selama 20 menit



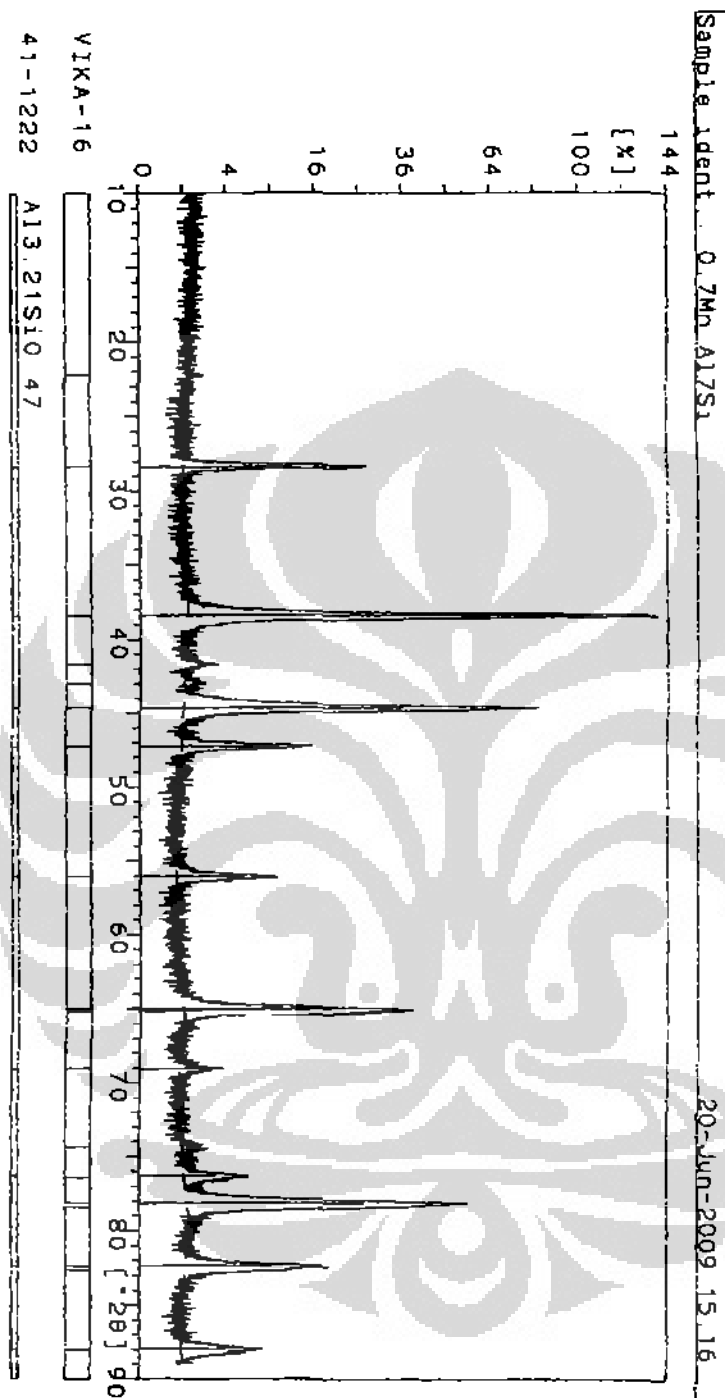
Gambar. 9 Hasil pengujian XRD *master alloy* Al-7%Si dengan 0,1%Mn



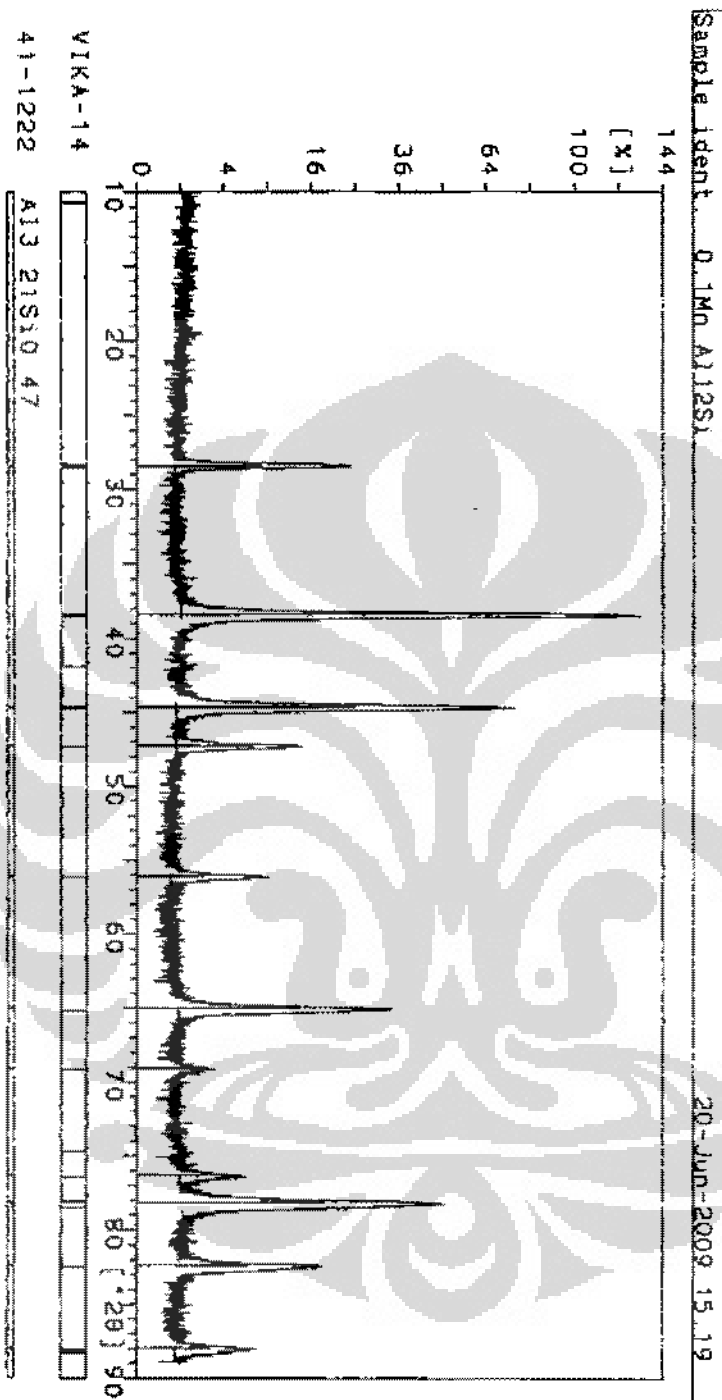
Gambar. 10 Hasil pengujian XRD *master alloy* Al-7%Si dengan 0,3%Mn



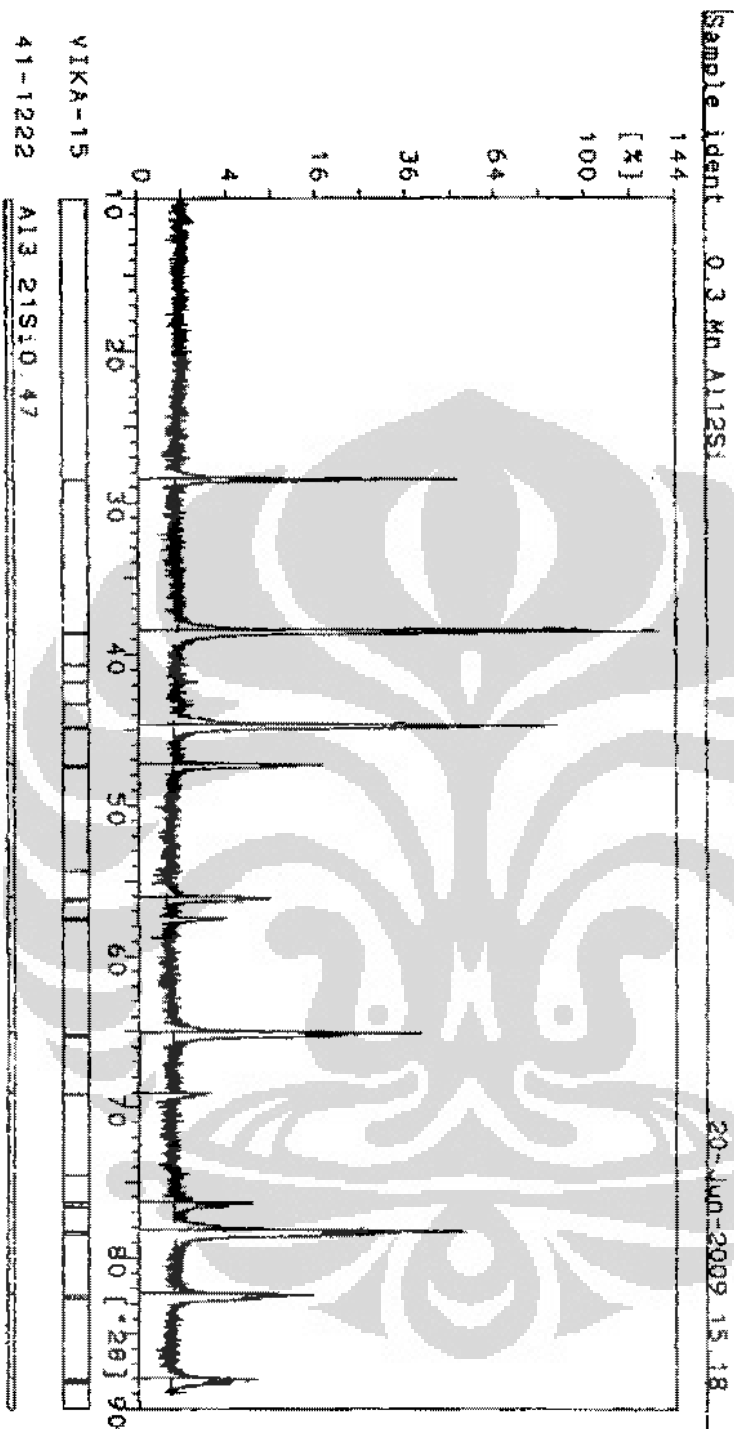
Gambar. 11 Hasil pengujian XRD *master alloy* Al-7%Si dengan 0,5%Mn



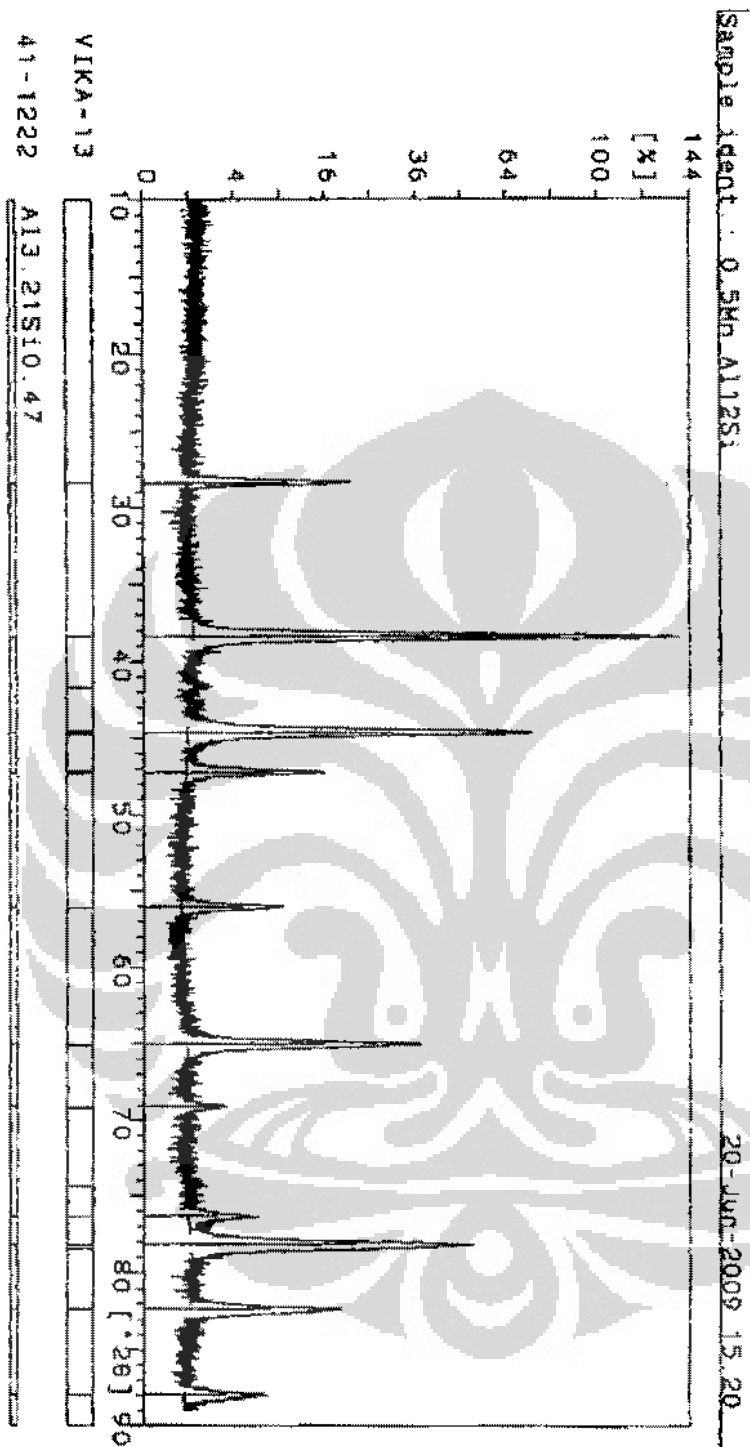
Gambar. 12 Hasil pengujian XRD *master alloy* Al-7%Si dengan 0,7%Mn



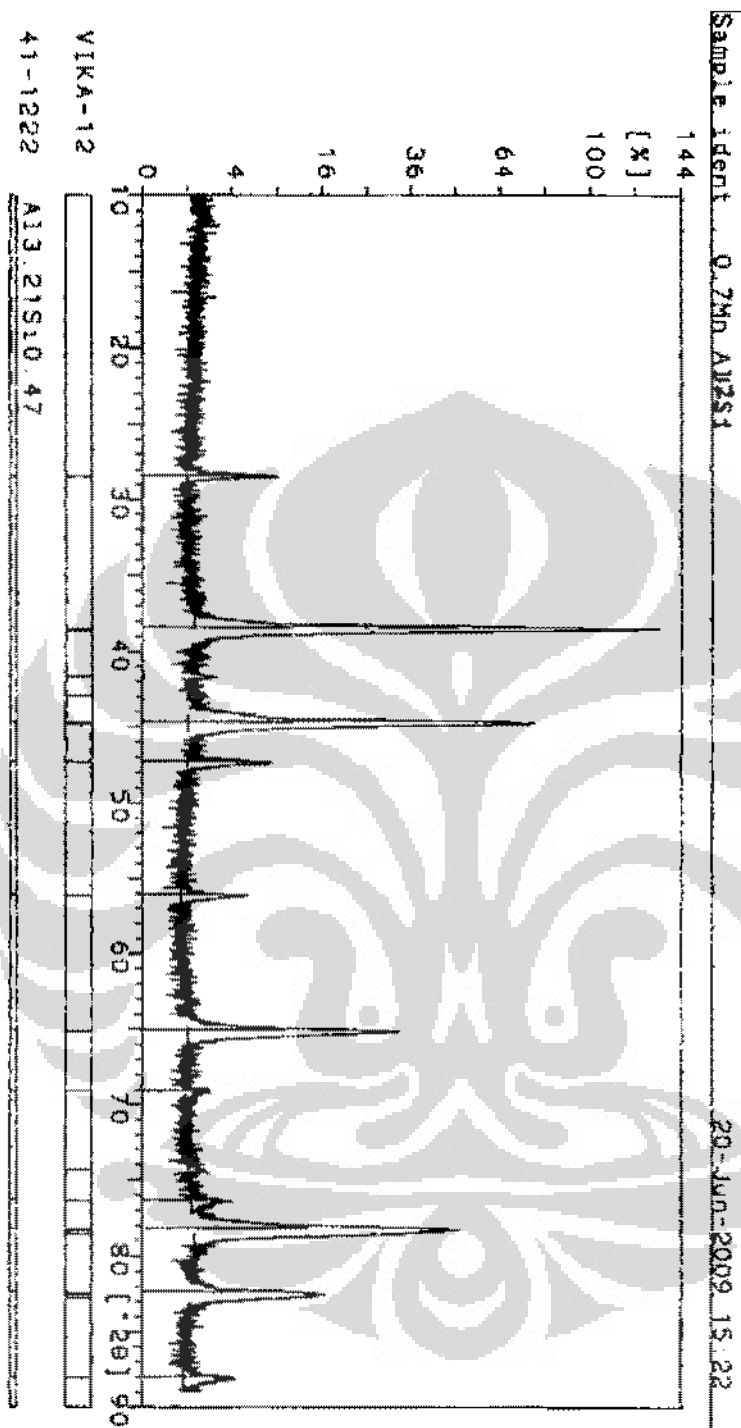
Gambar. 13 Hasil pengujian XRD *master alloy* Al-12%Si dengan 0,1%Mn



Gambar. 14 Hasil pengujian XRD *master alloy* Al-12%Si dengan 0,3%Mn



Gambar. 15 Hasil pengujian XRD *master alloy* Al-12%Si dengan 0,5%Mn



Gambar. 16 Hasil pengujian XRD *master alloy* Al-12%Si dengan 0,7%Mn

: Vika-8.01

19-Jun-2009 16:24

Philips Analytical X-Ray B.V.

Department of Metallurgy UI

Sample identification: Al7Si 0,1Mn 20Mn
 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 [$^{\circ}2\theta$]: 5.000
 End angle [$^{\circ}2\theta$]: 89.000
 Step size [$^{\circ}2\theta$]: 0.020
 Maximum intensity: 784.0000
 Time per step [s]: 0.800
 Type of scan: CONTINUOUS
 Intensities converted to: FIXED

Minimum peak tip width: 0.60
 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.
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	3.69
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	1.7256	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	1.3823	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. 17 Data 2 θ hasil pengujian XRD sampel H13 Al-7%Si dengan 0,1%Mn selama 20 menit

File: Vika-8.D1

19-Jun-2009 16:24

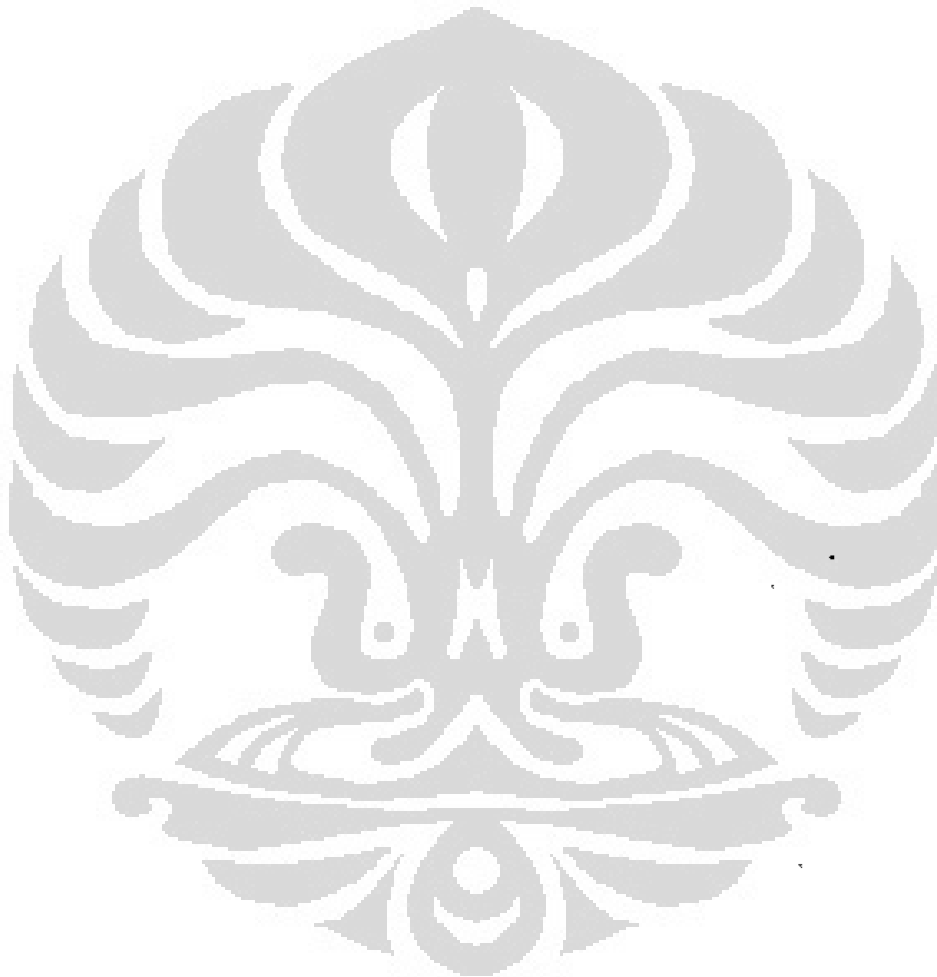
=====

=====

Philips Analytical X-Ray S.V.

Department of Metallurgy UI

Angle [2θ]	d-value a_1 [Å]	d-value a_2 [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	168	7	13.6	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. 18 Data 2θ hasil pengujian XRD sampel H13 Al-7%Si dengan 0,1%Mn selama 20 menit (lanjutan)

: Vika-6.D1

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

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: 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 α1 [Å]	d-value α2 [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

: Vika-6.D1

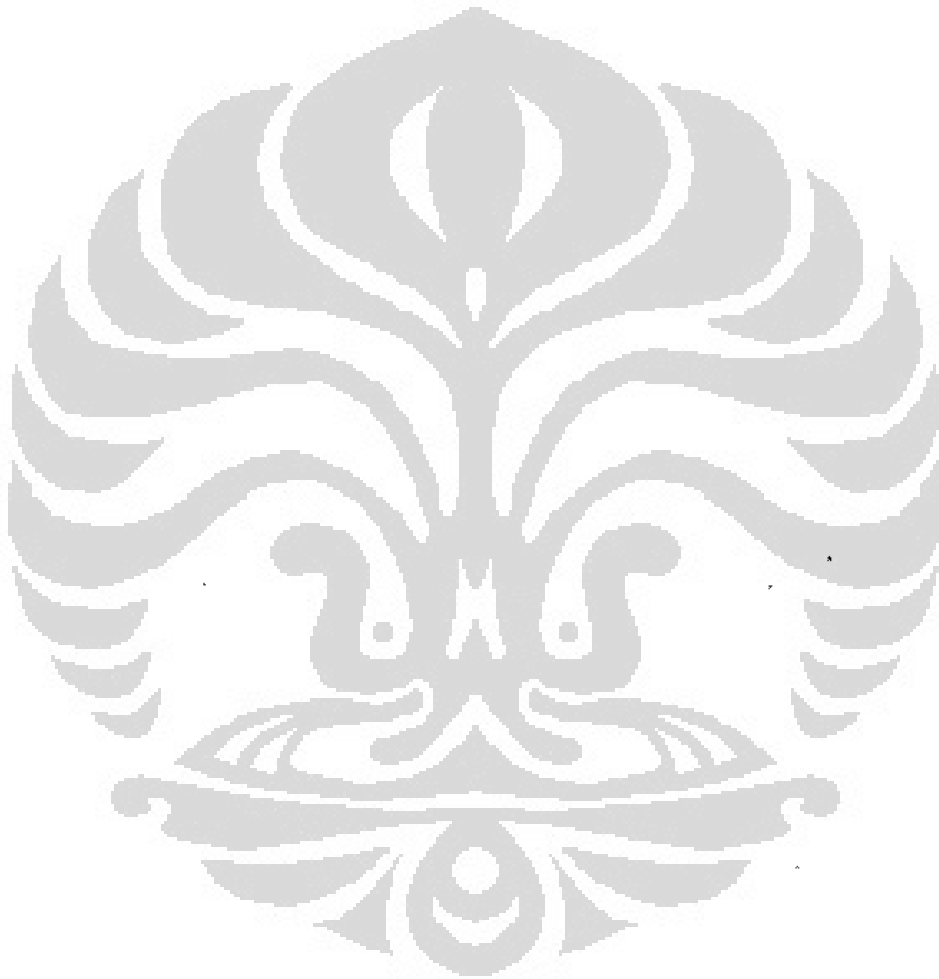
Gambar. 19 Data 2θ hasil pengujian XRD sampel H13 Al-7%Si dengan 0,3%Mn selama 20 menit

F 19-Jun-2009 13:50

=====

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

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.
82.810	1.1647	1.1676	0.080	49	9	0.4	0.02
88.275	1.1061	1.1069	0.400	18	7	0.1	2.58



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

: Vika-7.D1

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

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: 1225.000
Time per step [s]: 0.800
Type of scan: CONTINUOUS
Intensities converted to: FIXED

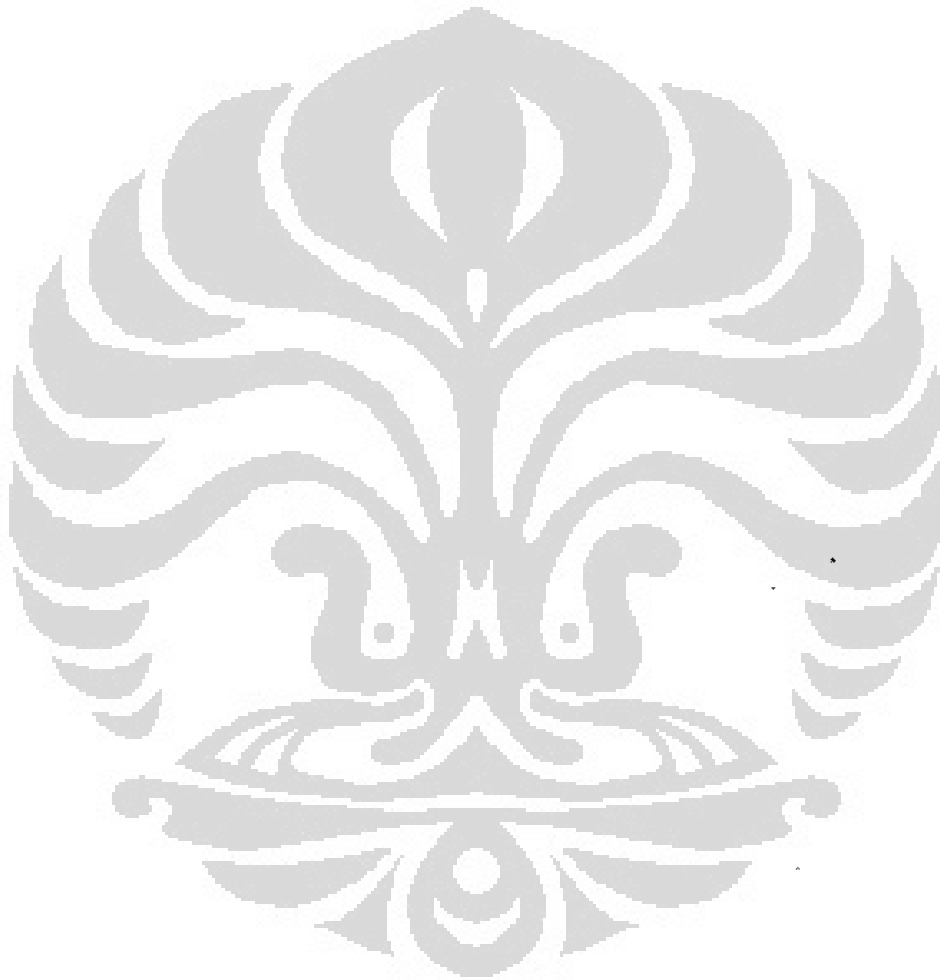
Minimum peak tip width: 0.00
Maximum peak tip width: 1.00
Peak base width: 2.00
Minimum significance: 0.75
Number of peaks: 31

Angle [°2θ]	d-value α1 [Å]	d-value α2 [Å]	Peak width [°2θ]	Peak int [counts]	Back. int [counts]	Rel. int [%]	Signif.
25.545	3.4842	3.4928	0.050	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	0.52
35.370	2.5356	2.5419	0.640	12	15	1.0	1.86
38.390	2.3428	2.3486	0.050	320	14	25.2	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. 21 Data 2θ hasil pengujian XRD sampel H13 Al-7%Si dengan 0,5%Mn selama 20 menit

File: Vika-7.D1 19-Jun-2009 13:04
 Philips Analytical X-Ray B.V. Department of Metallurgy UI

Angle [$^{\circ}2\theta$]	d-value d_1 [Å]	d-value d_2 [Å]	Peak width [$^{\circ}2\theta$]	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	0.190	83	7	5.8	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. 22 Data 2θ hasil pengujian XRD sampel H13 Al-7%Si dengan 0,5%Mn selama 20 menit (lanjutan)

Vika-5.01 19-Jun-2009 11:04
 Philips Analytical X-Ray B.V. Department of Metallurgy UI

Sample identification: 0,7Al7Si 2DMnt
 Data measured at: 19-Jun-2009 10:07:00

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: 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

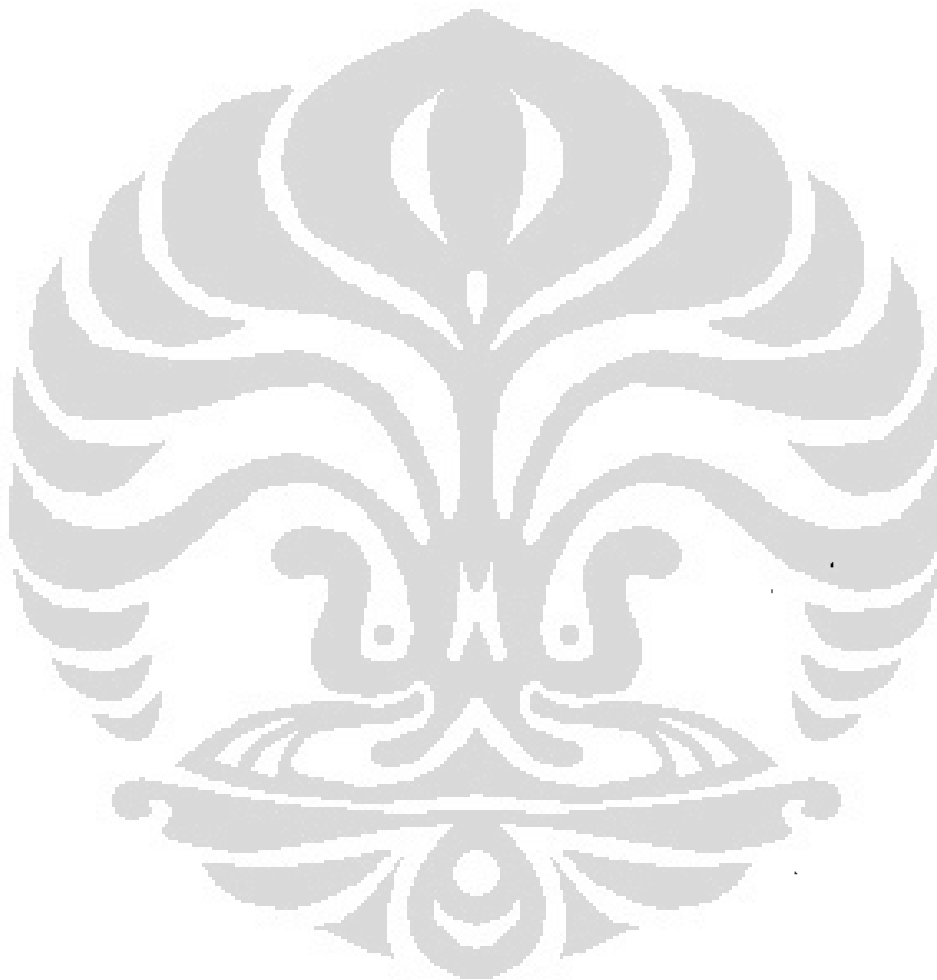
Angle [°2θ]	d-value a1 [Å]	d-value a2 [Å]	Peak width [°2θ]	Peak int [counts]	Back. int [counts]	Rel. int [%]	Signif.
5.675	15.5601	15.5988	0.960	27	222	3.8	0.81
36.850	2.4371	2.4432	0.040	121	29	17.1	5.26
36.965	2.4298	2.4358	0.040	106	10	15.0	1.60
37.200	2.4150	2.4210	0.060	708	10	100.0	3.22
37.315	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	1.2358	1.2390	0.080	174	7	24.6	2.34

Gambar. 23 Data 2θ hasil pengujian XRD sampel H13 Al-7%Si dengan 0,7%Mn selama 20 menit

File: Vika-5.D1 APR09-2009 11:11

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

Angle [$^{\circ}2\theta$]	d-value α_1 [Å]	d-value α_2 [Å]	Peak width [$^{\circ}2\theta$]	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. 24 Data 20 hasil pengujian XRD sampel H13 Al-7%Si dengan 0,7%Mn selama 20 menit (lanjutan)

: Vikal.DI

18-Jun-2009 10:01

Philips Analytical X-Ray B.V.

Department of Metallurgy UI

Sample identification: Al12Si 0,1Mn 40mnt
 Data measured at: 18-Jun-2009 9:04:00

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: 1376.410
 Time per step [s]: 0.800
 Type of scan: CONTINUOUS
 Intensities converted to: FIXED

Minimum peak tip width: 0.60
 Maximum peak tip width: 1.00
 Peak base width: 2.00
 Minimum significance: 0.75
 Number of peaks: 22

Angle [°2θ]	d-value a1 [Å]	d-value a2 [Å]	Peak width [°2θ]	Peak int [counts]	Back. int [counts]	Rel. int [%]	Signif.
16.645	5.3216	5.3349	0.960	13	62	0.9	1.19
16.445	4.8062	4.8181	0.160	16	53	1.2	0.77
27.425	3.2494	3.2575	0.080	190	23	13.8	1.03
34.250	2.6159	2.6224	0.120	13	17	0.9	1.22
37.460	2.3986	2.4048	0.120	1376	14	100.0	9.61
37.560	2.3927	2.3986	0.060	864	14	62.8	4.08
39.600	2.2740	2.2796	0.120	12	13	0.9	1.86
40.910	2.2041	2.2096	0.160	5	13	0.6	0.79
43.750	2.0674	2.0725	0.200	1037	12	75.3	24.83
46.290	1.9597	1.9646	0.100	359	11	11.5	1.32
52.275	1.7485	1.7529	0.060	8	7	0.6	0.75
55.175	1.6633	1.6674	0.100	72	7	5.2	0.80
64.200	1.4495	1.4531	0.180	467	8	33.9	12.84
64.380	1.4459	1.4495	0.080	292	9	21.2	1.44
68.380	1.3706	1.3742	0.400	17	8	1.2	3.22
69.625	1.3493	1.3526	0.240	2	7	0.1	0.75
75.480	1.2505	1.2516	0.320	19	9	1.4	3.13
77.390	1.2321	1.2352	0.140	467	10	33.9	8.41
77.645	1.2287	1.2317	0.120	250	10	18.1	3.84
81.625	1.1785	1.1815	0.120	161	8	11.7	4.36
81.865	1.1757	1.1786	0.080	94	8	6.8	0.86
87.155	1.1174	1.1202	0.160	22	6	1.6	1.03

Gambar. 25 Data 2θ hasil pengujian XRD sampel H13 Al-12%Si dengan 0,1%Mn selama 20 menit

```

: Vika3.D1                               18-Jun-2009 14:18
=====
Philips Analytical X-Ray B.V.             Department of Metallurgy UI

Sample identification: Al12Si 0,3Mn 20 Mnt
Data measured at: 18-Jun-2009 13:22:00

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: 580.8100
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: 20

Angle  d-value  d-value  Peak width  Peak Int  Back. int  Rel. int  Signif.
[°2θ]  a1 [Å]    a2 [Å]    [°2θ]      [counts]  [counts]   [%]
-----
 5.855  15.6151   15.6539   0.960      25        210        4.3      1.12
27.410  3.2512    3.2593   0.060      44         23        7.5      1.22
37.100  2.4213    2.4273   0.120     159         12       27.3     1.01
37.425  2.4010    2.4069   0.140     320         12       55.2     4.54
40.725  2.2137    2.2192   0.480       3         10         0.6     0.91
43.410  2.0828    2.0890   0.080     259         10       44.6     2.38
43.675  2.0708    2.0759   0.140     581          9      100.0     7.97
46.320  1.9585    1.9634   0.400      64          6       11.0    10.95
54.925  1.6703    1.6744   0.200      40          6         6.8     1.32
55.165  1.6636    1.6677   0.160      45          6         7.7     0.76
64.170  1.4501    1.4537   0.120     228          8       39.3     3.24
68.205  1.3738    1.3773   0.400      13          6         2.2     2.93
73.840  1.2823    1.2855   0.400       2          7         0.3     0.79
75.470  1.2586    1.2617   0.120      26          8         4.5     0.78
77.210  1.2345    1.2376   0.100     380          8       65.5     2.19
77.405  1.2319    1.2350   0.100     350          8       60.2     1.27
77.610  1.2292    1.2322   0.080     135          8       23.2     1.57
81.515  1.1799    1.1828   0.080      55          7         9.4     1.03
83.865  1.1527    1.1555   0.060       5          6         0.8     0.79
87.090  1.1181    1.1209   0.240      23          6         4.0     1.55

```

Gambar. 26 Data 2θ hasil pengujian XRD sampel H13 Al-12%Si dengan 0,3%Mn selama 20 menit

```

: vika4.DI
=====
Philips Analytical X-Ray B.V.
Department of Metallurgy UI

Sample identification: Al12Si 0,5Mn 20Met
Data measured at: 18-Jun-2009 15:08:00

Diffractometer type: PW1710 BASED
Tuba 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: 846.8100
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: 30

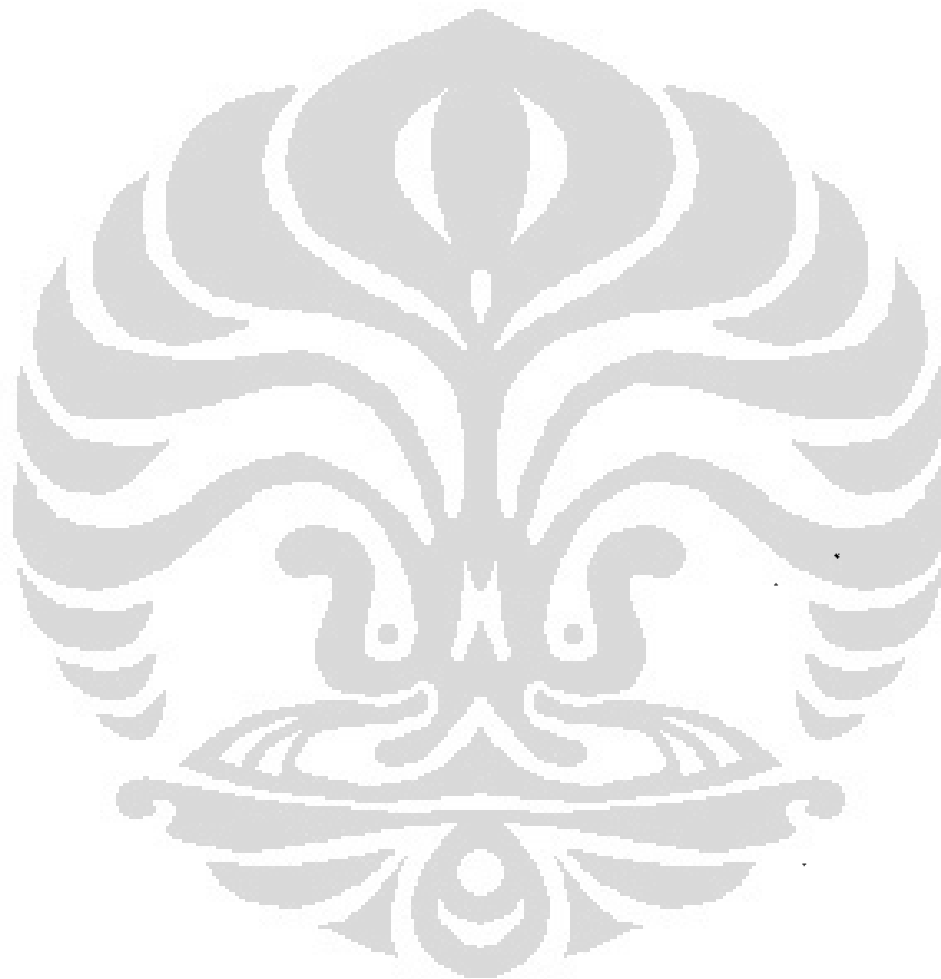
```

Angle [°2θ]	d-value a1 [Å]	d-value a2 [Å]	Peak width [°2θ]	Peak int [counts]	Back. int [counts]	Rel. int [%]	Signif.
5.345	16.5201	16.5611	0.480	11	222	1.3	1.05
26.305	3.3852	3.3936	0.240	6	23	0.7	0.96
28.135	3.1690	3.1769	0.120	50	20	6.0	0.93
28.610	3.1175	3.1252	0.080	151	19	17.9	1.20
37.685	2.3662	2.3922	0.060	139	14	16.4	1.98
38.165	2.3561	2.3620	0.100	306	13	36.2	1.90
38.435	2.3402	2.3460	0.060	529	13	62.5	3.91
38.665	2.3268	2.3326	0.060	847	13	100.0	1.43
41.905	2.1541	2.1594	0.480	5	12	0.6	2.06
43.900	2.0607	2.0658	0.160	55	10	6.5	1.19
44.225	2.0463	2.0514	0.080	135	10	15.9	0.90
44.480	2.0352	2.0402	0.100	237	10	28.0	1.68
44.835	2.0199	2.0249	0.140	256	10	30.2	5.79
47.430	1.9152	1.9200	0.240	69	9	8.1	3.62
53.310	1.7170	1.7213	0.480	4	7	0.5	1.33
56.235	1.6344	1.6385	0.200	41	7	4.8	1.27
59.315	1.5567	1.5606	0.120	12	6	1.4	1.02
62.560	1.4835	1.4872	0.280	2	7	0.3	0.96
64.790	1.4378	1.4413	0.080	161	7	19.0	2.01
65.220	1.4293	1.4329	0.280	139	7	16.4	6.60
69.310	1.3546	1.3580	0.400	7	7	0.9	1.53
74.465	1.2732	1.2764	0.060	14	7	1.6	0.89

Gambar. 27 Data 2θ hasil pengujian XRD sampel H13 Al-12%Si dengan 0,5%Mn selama 20 menit

File: vika4.D1 16-Jun-2009 16:04
 =====
 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.
76.575	1.2432	1.2463	0.320	16	7	1.9	2.04
78.015	1.2238	1.2260	0.100	202	7	23.8	2.19
78.290	1.2202	1.2232	0.080	234	7	27.6	0.79
79.925	1.1993	1.2023	0.100	29	7	3.4	2.48
80.165	1.1963	1.1993	0.060	24	7	2.8	2.23
82.625	1.1660	1.1697	0.080	110	6	13.0	1.14
82.880	1.1639	1.1667	0.120	42	6	5.0	0.97
88.010	1.1088	1.1115	0.560	21	6	2.5	5.05



Gambar. 28 Data 2 θ hasil pengujian XRD sampel H13 Al-12%Si dengan 0,5%Mn selama 20 menit (lanjutan)


```

: Vika2.D1
=====
Philips Analytical X-Ray B.V.
Department of Metallurgy UI

Sample identification: Al12 12%Si
Data measured at: 18-Jun-2009 11:45:00

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: 1705.690
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: 21

```

Angle [°2θ]	d-value α1 [Å]	d-value α2 [Å]	Peak width [°2θ]	Peak int [counts]	Back. int [counts]	Rel. int [%]	Signif.
27.650	3.2235	3.2315	0.140	262	25	15.4	3.95
37.775	2.3795	2.3854	0.180	1706	17	100.0	26.50
40.995	2.1998	2.2052	0.240	26	13	1.5	2.81
42.275	2.1361	2.1414	0.240	6	13	0.5	0.89
43.890	2.0611	2.0663	0.100	870	12	51.0	3.32
44.615	2.0556	2.0607	0.080	967	12	56.7	1.99
46.465	1.9519	1.9568	0.060	132	12	7.6	0.89
46.505	1.9472	1.9520	0.060	195	11	10.8	1.18
52.765	1.7335	1.7378	0.480	5	8	0.3	2.05
55.430	1.6563	1.6604	0.120	92	7	5.4	1.31
61.950	1.4967	1.5004	0.480	3	8	0.2	1.28
64.415	1.4452	1.4488	0.160	384	9	22.5	7.45
64.635	1.4408	1.4444	0.080	166	9	9.8	0.85
68.415	1.3701	1.3735	0.240	18	8	1.0	1.72
73.920	1.2811	1.2843	0.320	8	8	0.5	0.99
75.615	1.2566	1.2597	0.320	26	8	1.5	3.40
77.490	1.2308	1.2338	0.100	342	9	20.1	5.91
77.610	1.2292	1.2322	0.140	458	9	26.8	6.07
77.840	1.2261	1.2292	0.120	222	10	13.0	2.91
81.715	1.1775	1.1804	0.140	121	9	7.1	2.46
87.395	1.1150	1.1177	0.240	37	7	2.2	1.88

Gambar. 29 Data 2θ hasil pengujian XRD sampel H13 Al-12%Si dengan 0,7%Mn selama 20 menit

```

: Vika-11.D1                               20-Jun-2009 12:04
=====
Philips Analytical X-Ray B.V.              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 [2θ]	d-value a1 [Å]	d-value a2 [Å]	Peak width [2θ]	Peak int [counts]	Back. int [counts]	Rel. int [%]	Signif.
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	0.02
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. 30 Data 2θ hasil pengujian XRD sampel *master alloy* Al-7%Si dengan 0,1%Mn

```

: Vika-10.D1
=====
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 [°2θ] d-value a1 [Å] d-value a2 [Å] Peak width [°2θ] Peak int [counts] Back. int [counts] Rel. int [%] Signif.
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 2.1706 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 1.3596 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. 31 Data 2θ hasil pengujian XRD sampel *master alloy* Al-7%Si dengan 0,3%Mn

```

: vika-9.D1                               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 [°2θ]: 5.000
End angle [°2θ]: 89.000
Step size [°2θ]: 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 d-value d-value Peak width Peak int Back. int Rel. int Signif.
[°2θ] a1 [Å] a2 [Å] [°2θ] [counts] [counts] [%]
28.510 3.1282 3.1360 0.080 139 12 7.9 1.85
38.570 2.3321 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
69.230 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 1.25
76.395 1.2457 1.2488 0.160 13 7 0.7 0.89
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. 32 Data 2θ hasil pengujian XRD sampel *master alloy* Al-7%Si dengan 0,5%Mn

Vika-12.Df 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

Diffractometer type: PW1710 BASED
 Tube anoda: 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 [$^{\circ}2\theta$]: 10.000
 End angle [$^{\circ}2\theta$]: 89.000
 Step size [$^{\circ}2\theta$]: 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 [$^{\circ}2\theta$]	d-value d1 [Å]	d-value d2 [Å]	Peak width [$^{\circ}2\theta$]	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	2.3363	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	697	10	49.7	1.55
44.845	2.0194	2.0243	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	1.6	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	0.86
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	6.87
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. 33 Data 2 θ hasil pengujian XRD sampel master alloy Al-7%Si dengan 0,7%Mn

: Vika-14.D1

20-Jun-2009 13:55

Philips Analytical X-Ray S.V.

Department of Metallurgy UI

Sample identification: 0,1Mn Al12Si
Date measured at: 20-Jun-2009 13:22:00

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: 1730.560
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: 20

Angle [°2θ]	d-value α1 [Å]	d-value α2 [Å]	Peak width [°2θ]	Peak int [counts]	Back. int [counts]	Rel. int [%]	Signif.
10.740	0.2306	0.2511	0.800	14	62	0.8	1.10
28.280	3.1531	3.1610	0.100	276	14	15.9	0.77
28.395	3.1406	3.1484	0.060	376	13	21.7	0.78
28.515	3.1277	3.1354	0.100	289	13	16.7	1.41
38.375	2.3437	2.3495	0.100	1490	14	86.1	2.48
38.490	2.3370	2.3428	0.140	1731	14	100.0	7.26
41.895	2.1546	2.1599	0.320	5	11	0.3	0.85
44.635	2.0284	2.0335	0.080	734	10	42.4	1.25
44.765	2.0229	2.0279	0.160	751	10	43.4	6.46
47.340	1.9187	1.9234	0.140	142	8	8.2	2.66
56.105	1.6379	1.6420	0.320	69	5	4.0	9.91
65.155	1.4306	1.4341	0.220	253	7	14.6	9.85
69.170	1.3570	1.3604	0.240	15	6	0.9	1.62
74.770	1.2686	1.2718	0.480	2	6	0.1	0.80
76.405	1.2455	1.2486	0.240	29	7	1.7	2.79
78.130	1.2223	1.2253	0.240	269	7	15.5	14.85
78.480	1.2177	1.2207	0.160	172	7	9.9	1.30
82.450	1.1608	1.1717	0.240	106	6	6.1	6.00
88.055	1.1083	1.1111	0.140	36	5	2.1	1.84
88.300	1.1059	1.1086	0.160	20	5	1.2	0.87

Gambar. 34 Data 2θ hasil pengujian XRD sampel master alloy Al-12%Si dengan 0,1%Mn

: Vika-15.D1

20-Jun-2009 14:37

Philips Analytical X-Ray B.V.

Department of Metallurgy UI

Sample identification: 0,3 Mn Al12Si
 Data measured at: 20-Jun-2009 14:04:00

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: 2500.000
 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: 27

Angle [°2θ]	d-value a1 [Å]	d-value a2 [Å]	Peak width [°2θ]	Peak int [counts]	Back. int [counts]	Rel. int [%]	Signif.
28.495	3.1298	3.1376	0.140	1303	18	52.1	19.41
38.515	2.3355	2.3413	0.080	2500	14	100.0	9.09
38.630	2.3286	2.3346	0.040	1190	14	47.6	10.48
40.710	2.2145	2.2200	0.100	4	12	0.2	0.77
41.790	2.1597	2.1651	0.160	12	12	0.5	0.86
43.290	2.0883	2.0935	0.320	6	11	0.3	0.58
44.765	2.0229	2.0279	0.060	1452	10	58.1	3.33
44.895	2.0173	2.0223	0.060	729	10	29.2	1.67
47.340	1.9187	1.9234	0.080	259	10	10.4	3.09
47.475	1.9135	1.9183	0.060	135	10	5.4	0.81
54.350	1.6866	1.6908	0.100	0	6	0.0	0.79
56.150	1.6367	1.6408	0.100	112	5	4.5	2.84
56.320	1.6322	1.6362	0.060	69	5	2.8	2.12
57.450	1.6027	1.6067	0.080	45	6	1.8	1.74
57.630	1.5981	1.6021	0.040	37	6	1.5	1.95
65.135	1.4310	1.4345	0.100	437	7	17.5	7.31
65.320	1.4274	1.4309	0.080	234	7	9.4	2.86
69.140	1.3575	1.3609	0.100	14	6	0.5	0.80
74.555	1.2716	1.2749	0.480	3	6	0.1	1.57
76.390	1.2457	1.2488	0.080	56	6	2.2	1.95
76.640	1.2423	1.2454	0.080	35	6	1.4	0.85
78.265	1.2205	1.2235	0.120	534	7	21.3	12.03

Gambar. 35 Data 2θ hasil pengujian XRD sampel *master alloy* Al-12%Si dengan 0,3%Mn

File: Vika-15.D1

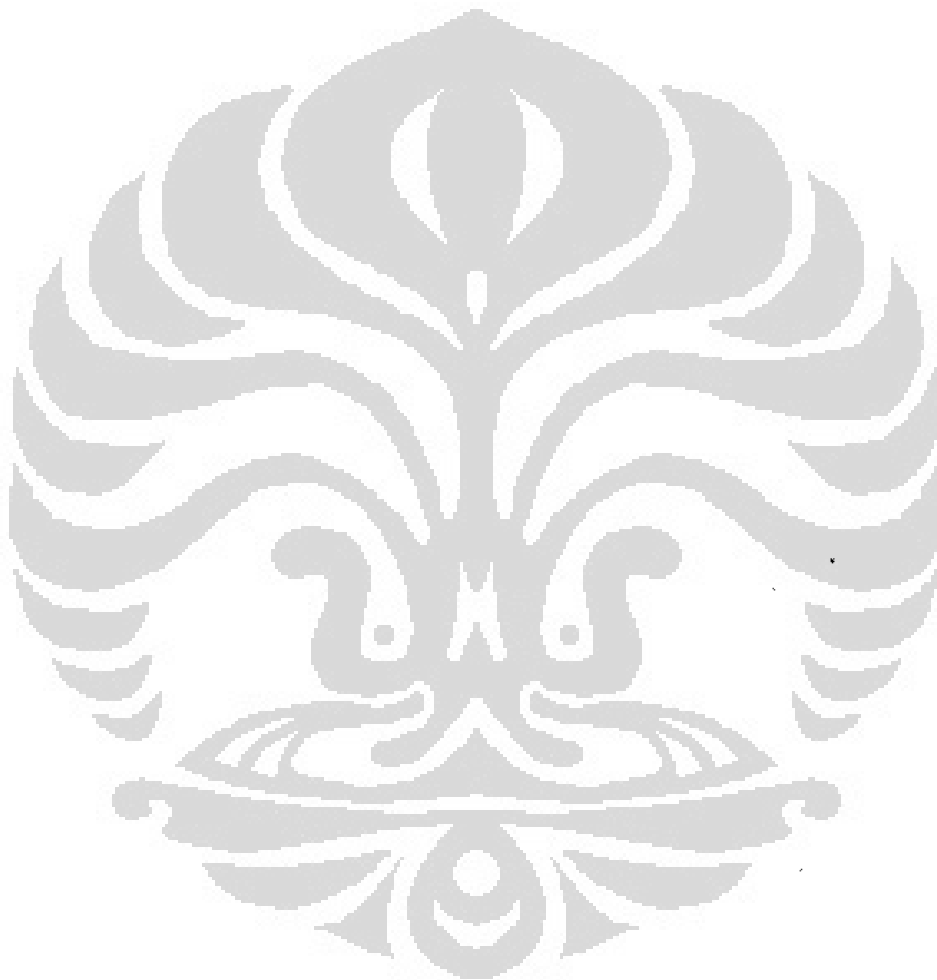
20-Jun-2009 14:37

=====

Philips Analytical X-Ray S.V.

Department of Metallurgy UI

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.
78.495	1.2175	1.2205	0.120	272	7	10.9	7.38
82.485	1.1884	1.1713	0.128	130	6	5.2	5.69
82.725	1.1656	1.1685	0.100	66	6	2.6	1.86
88.050	1.1084	1.1111	0.100	58	5	2.3	2.23
88.300	1.1059	1.1086	0.100	32	5	1.3	1.60



Gambar. 36 Data 2θ hasil pengujian XRD sampel *master alloy* Al-12%Si dengan 0,3%Mn
(lanjutan)

: Vika-13.D1

20-Jun-2009 13:14

=====

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

Sample identification: 0,5Mn Al12Si
 Date measured at: 20-Jun-2009 12:41:00

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: 1640.250
 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 [°2θ]	d-value α1 [Å]	d-value α2 [Å]	Peak width [°2θ]	Peak int [counts]	Back. int [counts]	Rel. int [%]	Signif.
28.350	3.1455	3.1533	0.120	324	16	19.6	2.26
38.370	2.3440	2.3498	0.200	1640	15	100.0	19.12
41.675	2.1654	2.1708	0.100	12	12	0.7	0.88
44.555	2.0319	2.0370	0.060	600	10	36.6	0.80
44.665	2.0272	2.0322	0.080	767	10	46.8	1.05
44.765	2.0229	2.0279	0.080	501	10	35.4	0.77
47.160	1.9256	1.9303	0.080	137	9	8.3	0.89
47.285	1.9208	1.9255	0.080	156	9	9.5	0.87
56.090	1.6383	1.6424	0.120	69	6	4.2	0.77
65.080	1.4320	1.4356	0.180	279	7	17.0	6.40
69.155	1.3573	1.3606	0.120	16	6	1.0	0.99
74.335	1.2750	1.2782	0.460	3	6	0.2	1.26
76.335	1.2465	1.2496	0.200	31	7	1.9	2.13
78.190	1.2215	1.2245	0.160	328	7	20.0	5.21
78.450	1.2181	1.2211	0.100	164	7	10.0	0.87
82.385	1.1696	1.1725	0.320	102	7	6.2	9.24
87.980	1.1091	1.1118	0.280	34	5	2.1	3.55

Gambar. 37 Data 2θ hasil pengujian XRD sampel *master alloy* Al-12%Si dengan 0,5%Mn

: Vika-16.D1

20-Jun-2009 15:12

Philips Analytical X-Ray B.V.

Department of Metallurgy UI

Sample identification: 0,7Ma Al2Si
 Data measured at: 20-Jun-2009 14:39:00

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: 18

Angle [°2θ]	d-value a1 [Å]	d-value a2 [Å]	Peak width [°2θ]	Peak Int [counts]	Back. Int [counts]	Rel. Int [%]	Signif.
22.205	4.0001	4.0101	0.480	7	23	0.5	1.21
28.340	3.1466	3.1544	0.100	353	15	24.0	1.79
38.425	2.3408	2.3466	0.220	1475	14	100.0	24.06
41.655	2.1664	2.1718	0.320	14	11	0.9	1.41
42.975	2.1029	2.1081	0.320	10	10	0.7	1.14
44.630	2.0287	2.0337	0.240	795	10	53.9	21.06
47.225	1.9231	1.9278	0.100	132	8	9.0	1.38
56.030	1.6399	1.6440	0.320	62	5	4.2	0.38
64.970	1.4342	1.4378	0.100	222	7	15.1	1.32
65.150	1.4307	1.4342	0.100	216	7	14.7	0.98
69.030	1.3594	1.3628	0.120	15	5	1.0	1.08
74.345	1.2748	1.2780	0.560	5	6	0.3	2.52
76.405	1.2455	1.2486	0.320	27	7	1.8	4.20
78.145	1.2221	1.2251	0.120	320	7	21.7	1.93
78.415	1.2185	1.2216	0.160	180	7	12.2	1.27
82.370	1.1698	1.1727	0.240	92	6	6.2	4.83
82.615	1.1669	1.1698	0.160	59	6	4.0	0.95
87.975	1.1091	1.1119	0.160	35	5	2.4	1.35

Gambar. 38 Data 2θ hasil pengujian XRD sampel master alloy Al-12%Si dengan 0,7%Mo