



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH PENAMBAHAN UNSUR MANGAN 0,1%, 0,3%,  
0,5%, DAN 0,7% DALAM PADUAN Al-7%Si DAN Al-12%Si  
TERHADAP PEMBENTUKAN LAPISAN INTERMETALIK  
PADA BAJA H13 HASIL PERLAKUAN PANAS *NORMAL*  
*TEMPERING***

SKRIPSI

**HABIB MUNTADZAR**

**0606074924**

**FAKULTAS TEKNIK**

**PROGRAM STUDI TEKNIK METALURGI DAN MATERIAL**

**DEPOK**

**JULI 2010**



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH PENAMBAHAN UNSUR MANGAN 0,1%, 0,3%,  
0,5%, DAN 0,7% DALAM PADUAN Al-7%Si DAN Al-12%Si  
TERHADAP PEMBENTUKAN LAPISAN INTERMETALIK  
PADA BAJA H13 HASIL PERLAKUAN PANAS *NORMAL*  
*TEMPERING***

SKRIPSI

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana**

**HABIB MUNTADZAR**

**0606074924**

**FAKULTAS TEKNIK**

**PROGRAM STUDI TEKNIK METALURGI DAN MATERIAL**

**DEPOK**

**JULI 2010**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

**Nama : Habib Muntadzar**

**NPM : 0606074924**

**Tanda Tangan :**

**Tanggal : 7 Juli 2010**

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :  
Nama : Habib Muntadzar  
NPM : 0606074924  
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material  
Judul Skripsi : Pengaruh Penambahan Unsur Mangan 0,1%, 0,3%, 0,5%, dan 0,7% dalam Paduan Al-7%Si dan Al-12%Si Terhadap Pembentukan Lapisan Intermetalik pada Baja H13 Hasil Perlakuan Panas *Normal Tempering*.

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

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Prof. Dr. Ing. Ir Bambang Suharno ( )  
Penguji 1 : Ir. Abdul Hay, MT ( )  
Penguji 2 : Ir. Sri Harjanto, Ph.D ( )

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 7 Juli 2010

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT, karena berkat rahmat dan kehendak-Nya, penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Kepada-Nya penulis menyerahkan segala urusan dalam penyelesaian skripsi yang berjudul “Pengaruh Penambahan Unsur Mangan 0,1%, 0,3%, 0,5%, dan 0,7% dalam Paduan Al-7%Si dan Al-12%Si Terhadap Pembentukan Lapisan Intermetalik pada Baja H13 Hasil Perlakuan Panas *Normal Tempering*”, yang dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Metalurgi dan Material Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Penulis menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi penulis untuk dapat menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Ing. Ir Bambang Suharno selaku pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan penulis dalam penyusunan skripsi ini;
2. Pak Abdul Hay selaku mahasiswa S3 yang telah membimbing dan membantu penulis dalam proses penyusunan skripsi ini;
3. Bapak Eko dan Mamat, dari Departemen Metalurgi dan Material yang telah membantu penulis selama penelitian;
4. Terisitimewa kami ucapkan terimakasih kepada Orang tua, kakak, dan adik yang telah mendoakan dan mendukung penulis baik secara moril maupun materil dan kakak serta adik ;
5. Antonius Hutasoit selaku rekan penulis selama penelitian;

6. Vika Rizkia dan Adi Hersuni yang telah memberikan wawasan dan ilmu yang bermanfaat untuk penulis;
7. Teman-teman Metal 2006, yang banyak membantu dalam perkuliahan dan penelitian penulis;
8. Pihak-pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu. Kepada mereka penulis mengucapkan terima kasih yang setulusnya.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih banyak kekurangan dan jauh dari kesempurnaan. Dan sesuai pribahasa “ *Tak Ada gading Yang Tak Retak*”. Oleh Karena itu, penulis selalu mengharapakan saran serta kritik yang membangun yang dapat digunakan untuk memperbaiki skripsi ini demi hasil yang lebih baik di kemudian hari. Dan kami berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis khususnya dan pihak-pihak yang memerlukannya secara umum.

Jakarta, 7 Juli 2010

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

---

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

Nama : Habib Muntadzar

NPM : 0606074924

Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material

Departemen : Metalurgi dan Material

Fakultas : Teknik

Jenis karya : Skripsi

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

**Pengaruh Penambahan Unsur Mangan 0,1%, 0,3%, 0,5%, dan 0,7% dalam Paduan Al-7%Si dan Al-12%Si Terhadap Pembentukan Lapisan Intermetalik pada Baja H13 Hasil Perlakuan Panas *Normal Tempering***

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Jakarta

Pada tanggal : 07 Juli 2010

Yang menyatakan

(Habib Muntadzar)

## ABSTRAK

Nama : Habib Muntadzar  
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material  
Judul : Pengaruh Penambahan Unsur Mangan 0,1%, 0,3%, 0,5%, dan 0,7% dalam Paduan Al-7%Si dan Al-12%Si Terhadap Pembentukan Lapisan Intermetalik pada Baja H13 Hasil Perlakuan Panas *Normal Tempering*.

*Die soldering* merupakan hasil dari reaksi permukaan antara aluminium cair dengan material cetakan. Untuk mencegah terjadinya *die soldering*, maka diupayakan meminimalisir pembentukan lapisan intermetalik pada permukaan cetakan. Mangan merupakan unsur yang dapat meningkatkan kekuatan produk pengecoran dan dapat mengurangi pengaruh buruk Fe dengan membentuk suatu fasa kesetimbangan. Sampel dalam penelitian ini adalah baja H13 hasil perlakuan panas *normal tempering* 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 30 dan 50 menit pada temperatur 700°C. Dimana nilai kekerasan baja H13 hasil perlakuan panas *normal tempering* lebih tinggi dibandingkan baja H13 dalam kondisi *as anneal*, yaitu 421 HVN dan 188 HVN berturut-turut. Dalam penelitian ini menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) sehingga terlihat 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 30 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 30 menit. Ketebalan *broken layer* lima kali lebih tebal dari ketebalan *compact layer*. Kekerasan pada *compact layer* lebih tinggi dibandingkan *broken layer* dengan nilai kekerasan rata-rata 70 HVN untuk *compact layer* dan 25 HVN untuk *broken layer*. Penambahan unsur Mn pada Al-7%Si dan Al-12%Si tidak berpengaruh terhadap kekerasan kedua lapisan intermetalik yang terbentuk.

Kata Kunci :

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



## ABSTRACT

Name : Habib Muntadzar  
Study Program : Teknik Metalurgi dan Material  
Title : Effect of Addition Elements Manganese 0,1%, 0,3%, 0,5% and 0,7% in Alloy Al-7% Si and Al-12% Si on Intermetallic Layer Formation on H13 Steel Heat Treatment Normal Tempering.

Die soldering is the result of surface reaction between molten aluminum mold material. To prevent die soldering, we must minimize the formation of intermetallic layer on the surface of the mold. Mangan is an element which increase the strength of cast product and reduce the detrimental effect of Fe by form of equilibrium phase. The sample in this study is the result of heat treatment of H13 steel tempering are normally immersed in the alloy Al-7% Si and Al-12% Si containing 0,1%, 0,3%, 0,5% and 0,7% Mn with a contact time of 30 and 50 minutes on temperature of 700°C. Where the value of H13 steel hardness result of normal tempering heat treatment is higher than H13 steel in the as annealed condition, namely 421 HVN and 188 HVN row. In this research using a Scanning Electron Microscope (SEM) so it looks like the formation of two intermetallic layer on the surface of H13 steel, the compact layer which is a solid phase, and broken layers, which is a semi-solid phase.

The result showed that the most effective condition in order to mitigate die soldering tendention is minimizing the form of compact layer by addition of 0.3%Mn into Al-7%Si alloy in dip time around 30 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 30 minute. The thickness of the broken layer five times thicker than the thickness of the compact layer. Violence in the compact layer is higher than the broken layer with an average hardness value of 70 HVN for the compact layer and 25 HVN for the broken layer. Addition of Mn element in Al-7% Si and Al-12% Si did not affect the second hardness intermetallic layer is formed.

Key Words :

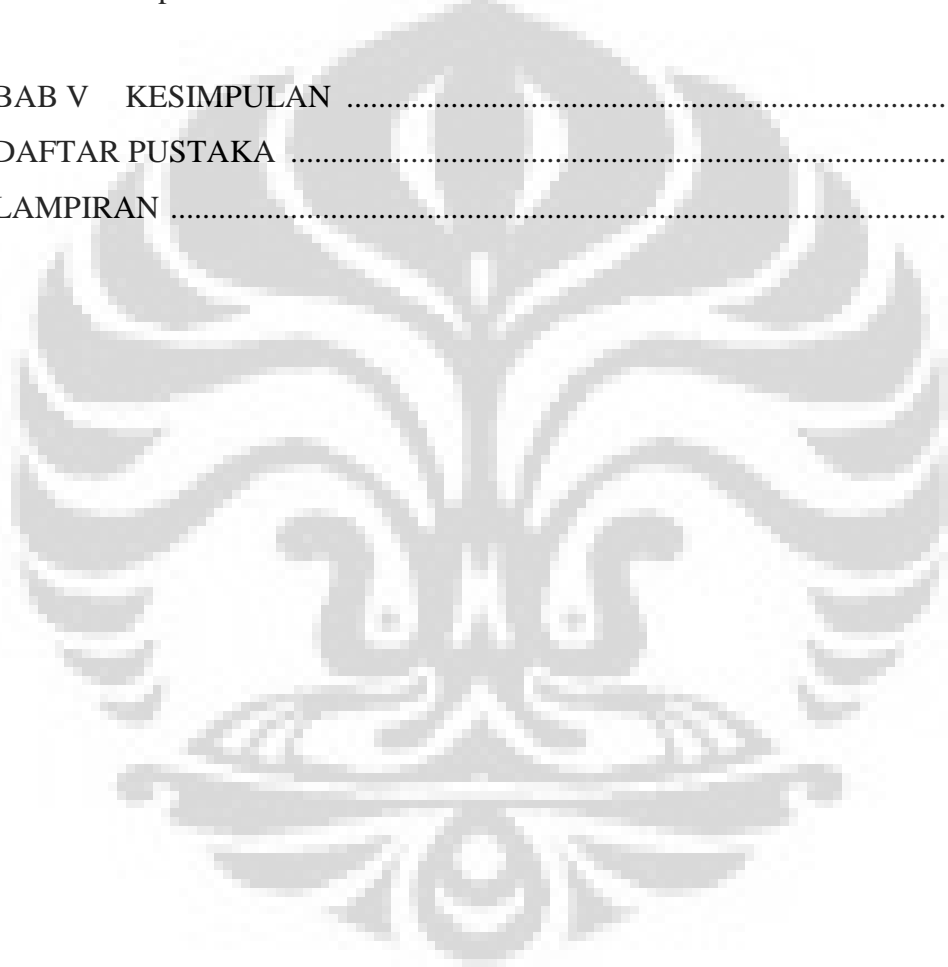
H13, normal tempering, die soldering, intermetallic layer, influence of Mn addition, Al-7%Si, Al-12%Si

## DAFTAR ISI

JUDUL TUGAS AKHIR .....	i
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI .....	ii
LEMBAR PENGESAHAN .....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH .....	vi
ABSTRAK .....	vii
ABSTRACT .....	viii
DAFTAR ISI .....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	xii
DAFTAR TABEL .....	xiv
DAFTAR GRAFIK .....	xv
DAFTAR LAMPIRAN .....	xvi
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Ruang Lingkup Penelitian .....	3
1.2.1. Material.....	3
1.2.2. Parameter Penelitian.....	4
1.2.3. Pengujian .....	4
1.3. Tujuan Penelitian .....	4
1.4. Manfaat Penelitian .....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	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 .....	16
2.4. Pengaruh Unsur Mangan Terhadap Pembentukan Lapisan Intermetalik.....	17

2.5.	Model Pelarutan dan <i>Mass Loss</i> pada Cetakan Baja dalam Aluminium Cair .....	20
2.6.	Baja Perkakas H13 .....	22
2.6.1.	Karakteristik Baja Perkakas H13.....	22
2.6.2.	Annealing Baja Perkakas H13.....	23
2.6.3.	Pembentukan Senyawa Intermetalik Selama Pembekuan .....	24
2.6.4.	Proses Perlakuan Panas Normal Tempering pada Baja Perkakas H13 .....	24
2.7.	Faktor-faktor Yang Mempengaruhi <i>Die Soldering</i> .....	26
BAB III	METODOLOGI PENELITIAN .....	28
3.1.	Diagram Alir.....	28
3.2.	Peralatan dan Bahan .....	29
3.2.1.	Peralatan .....	29
3.2.2.	Bahan .....	31
3.3.	Prosedur Penelitian .....	31
3.3.1.	Pemotongan Sampel Material H13.....	31
3.3.2.	Perlakuan Panas <i>Normal Tempering</i> Sampel Material H13.....	32
3.3.3.	Pengamplasan Sampel Material .....	32
3.3.4.	Peleburan Al-7%Si dan Al-12%Si Untuk Pembuatan Master Alloy .....	32
3.3.5.	Peleburan Master Alloy.....	33
3.3.6.	Pencelupan Material H13 pada Master Alloy .....	34
3.3.7.	Preparasi Metalografi Sampel .....	34
3.3.8.	Pengamatan Mikrostruktur .....	35
3.3.9.	Pengujian Kekerasan Lapisan Intermetalik .....	36
BAB IV	HASIL ANALISA DAN PEMBAHASAN .....	37
4.1.	Hasil Pengujian Kekerasan Awal Baja H13 .....	37
4.2.	Hasil Pengamatan Mikrostruktur Baja H13 .....	38

4.3.	Morfologi dan Karakteristik Lapisan Intermetalik .....	39
4.4.	Pengaruh Unsur Mangan dan Waktu Kontak Terhadap Fasa Intermetalik yang Terbentuk .....	40
4.5.	Pengaruh Unsur Mangan dan Waktu Kontak Terhadap Ketebalan Lapisan Intermetalik pada Lapisan <i>Compact Layer</i> dan <i>Broken Layer</i> .....	45
4.6	Pengaruh Unsur Mangan Terhadap Sifat Mekanis Lapisan Intermetalik .....	50
BAB V KESIMPULAN .....		53
DAFTAR PUSTAKA .....		54
LAMPIRAN .....		57



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1	Skematis fenomena <i>die soldering</i> .....	7
Gambar 2. 2	Mekanisme <i>Die Soldering</i> .....	8
Gambar 2. 3	Daerah intergranular yang disebabkan oleh erosi aluminium cair pada batas butir sekitar permukaan cetakan .....	9
Gambar 2. 4	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 .....	10
Gambar 2. 5	Pitting awal dan terbentuknya fasa intermetalik biner .....	10
Gambar 2. 6	Lapisan intermetalik berbentuk piramid ditemukan pada permukaan cetakan .....	11
Gambar 2. 7	Pertumbuhan awal lapisan intermetalik berbentuk piramid .....	11
Gambar 2. 8	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 .....	12
Gambar 2. 9	Diagram Fasa Fe-Al .....	14
Gambar 2. 10	Lapisan intermetalik yang terbentuk pada baja H13 yang dicelup ke dalam paduan aluminium cair A380 selama 2 jam pada temperatur 680°C .....	16
Gambar 2.11	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 .....	17
Gambar 2. 12	Perubahan diagram fasa AlFeSi akibat adanya pengaruh Mn a)0%Mn, b)0.1%Mn, c)0.2%Mn, d)0.3%Mn .....	19
Gambar 2. 13	Pengaruh unsur utama dalam fenomena <i>die soldering</i> .....	19
Gambar 2. 14	Fasa jarum $\beta$ -AlFeSi vs cubic $\alpha$ -AlFeMnSi (a) 200 $\mu$ m dan (b) 20 $\mu$ m .....	20

Gambar 2. 15	Pertumbuhan dan pelarutan lapisan intermetalik .....	22
Gambar 2.16	Hubungan antara suhu tempering dengan sifat-sifat baja .....	25
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian .....	28
Gambar 3. 2	Penampang dapur holding .....	29
Gambar 3. 3	Gergaji mesin .....	29
Gambar 3. 4	Alat uji kekerasan mikrovickers .....	30
Gambar 3. 5	SEM yang dilengkapi dengan EDS .....	31
Gambar 3. 6	Tahapan pemotongan material H13 .....	31
Gambar 3. 7	Penampang dapur holding .....	34
Gambar 3. 8	Tahapan pemotongan material H13 hasil pencelupan ke dalam aluminium cair .....	35
Gambar 3. 9	Mounting sampel .....	35
Gambar 4.1	Hasil Foto Mikrostruktur Baja H13 <i>as annealed</i> (kiri) dan <i>normal tempering</i> (kanan) dengan perbesaran 200X dan etsa Nital 3% .....	38
Gambar 4. 2	Foto mikro hasil pengujian Scanning Electron Microscope dengan perbesaran 500X. Lapisan intermetalik yang terbentuk hasil pencelupan baja H13 ke dalam paduan Al7Si dengan kandungan 0,1%Mn selama 50 menit pada temperatur 700 °C .....	39

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1	Struktur Kristal dan rentang stabilitas yang terbentuk dalam system biner Fe-Al pada temperatur ruang .....	15
Tabel 2. 2	Konstanta termodinamik fasa intermetalik dalam system fasa biner .....	15
Tabel 2. 3	Pengaruh beberapa elemen terhadap ketebalan lapisan <i>intermediate</i> .....	18
Tabel 2.4	Komposisi kimia tool steel pada umumnya .....	22
Tabel 2.5	Sifat Mekanis H13 pada Temperatur Ruang .....	23
Tabel 4.1	Hasil pengujian kekerasan awal pada baja H13 ( <i>as annealing</i> ) .....	37
Tabel 4.2	Hasil pengujian kekerasan pada baja H13 dengan perlakuan <i>normal tempering</i> .....	37
Tabel 4. 3	Unsur yang terkandung di dalam lapisan intermetalik paduan Al-7%Si .....	41
Tabel 4. 4	Unsur yang terkandung di dalam lapisan intermetalik paduan Al-12%Si .....	42

## DAFTAR GRAFIK

Grafik 4. 1	Grafik kadar Aluminium pada lapisan intermetalik paduan Al-7%Si .....	43
Grafik 4. 2	Grafik kadar Besi pada lapisan intermetalik paduan Al-7%Si .....	43
Grafik 4. 3	Grafik kadar Aluminium pada lapisan intermetalik paduan Al-12Si .....	44
Grafik 4. 4	Grafik kadar besi pada lapisan intermetalik paduan Al-12Si .....	44
Grafik 4. 5	Data hasil penelitian pengaruh unsur Mn terhadap ketebalan <i>compact layer</i> pada paduan Al-7%Si dalam fungsi waktu .....	46
Grafik 4. 6	Data hasil penelitian pengaruh unsur Mn terhadap ketebalan <i>broken layer</i> pada paduan Al-7%Si dalam fungsi waktu .....	47
Grafik 4. 7	Data hasil penelitian pengaruh unsur Mn terhadap ketebalan <i>compact layer</i> pada paduan Al-12%Si dalam fungsi waktu .....	48
Grafik 4. 8	Data hasil penelitian pengaruh unsur Mn terhadap ketebalan <i>broken layer</i> pada paduan Al-12%Si dalam fungsi waktu .....	49
Grafik 4. 9	Data hasil penelitian pengaruh waktu kontak terhadap kekerasan lapisan intermetalik pada paduan Al-7%Si .....	50
Grafik 4. 10	Data hasil penelitian pengaruh waktu kontak terhadap kekerasan lapisan intermetalik pada paduan Al-12%Si .....	51
Grafik 4. 11	Data hasil penelitian pengaruh %Mn terhadap kekerasan lapisan intermetalik pada paduan Al-7%Si .....	51
Grafik 4. 12	Data hasil penelitian pengaruh %Mn terhadap kekerasan lapisan intermetalik pada paduan Al-12%Si .....	52



## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Tabel ketebalan <i>Compact layer</i> dan <i>Broken layer</i> hasil pencelupan baja H13 pada paduan Al-7%Si dengan penambahan 0.1%, 0.3%, 0.5%, dan 0.7% Mn selama 30 dan 50 menit .....	57
Lampiran 2. Tabel ketebalan <i>Compact layer</i> dan <i>Broken layer</i> hasil pencelupan baja H13 pada paduan Al-12%Si dengan penambahan 0.1%, 0.3%, 0.5%, dan 0.7% Mn selama 30 dan 50 menit .....	57
Lampiran 3. Tabel kekerasan <i>Compact layer</i> dan <i>Broken layer</i> hasil pencelupan baja H13 pada paduan Al-7%Si dengan penambahan 0.1%, 0.3%, 0.5%, dan 0.7% Mn selama 30 dan 50 menit .....	58
Lampiran. 4 Tabel kekerasan <i>Compact layer</i> dan <i>Broken layer</i> hasil pencelupan baja H13 pada paduan Al-12%Si dengan penambahan 0.1%, 0.3%, 0.5%, dan 0.7% Mn selama 30 dan 50 menit .....	59

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Pada dunia industri, aluminium merupakan material logam yang sangat penting. Telah diketahui bersama bahwa penggunaan aluminium sekarang ini sudah sangat meluas, hal ini dikarenakan oleh karakteristik yang menguntungkan dari aluminium itu sendiri seperti ringan, tahan korosi, konduktivitas listrik yang baik dan mudah difabrikasi itulah yang membawa aluminium menjadi kompetitor dalam aplikasi keteknikan. Teknik pengaplikasian dari aluminium itu sendiri yang cukup menyita perhatian adalah penggunaan dari material aluminium dalam proses *die casting* di industri otomotif. Dengan berbagai keuntungannya, seperti proses yang relatif mudah, murah serta produknya memiliki sifat mekanis yang baik, membuat pemakaian material aluminium lebih digunakan dalam proses *die casting* di dunia industri. Semakin banyak komponen yang dapat diproduksi dengan menggunakan sebuah cetakan, maka biaya produksi akan semakin rendah. Oleh karena itu, umur pakai sebuah cetakan merupakan faktor penting dalam proses *die casting*. Namun disisi lain adanya kendala mengenai biaya dari cetakan *die casting* yang relatif tinggi yaitu mencapai 20% dari biaya produksi total pada industri aluminium *die casting*. Disamping itu adanya suatu kendala lain di dalam cetakan *die casting* yang dapat menurunkan produktivitas yaitu adanya kerusakan cetakan yang disebabkan oleh *die soldering* yang penyebabnya adalah kontak langsung permukaan cetakan dengan logam cair.

Untuk meminimalisir terjadinya fenomena *die soldering*, diperlukan pengetahuan dan pemahaman mengenai mekanisme proses dan penyebab penempelan aluminium cair pada material cetakan. Pengertian dari *Die soldering* itu sendiri adalah hasil dari reaksi permukaan antara aluminium cair dengan material cetakan, dimana aluminium cair menempel pada cetakan yang terbuat dari baja perkakas kemudian tertinggal pada permukaan cetakan setelah pelepasan hasil pengecoran.

Mekanisme dari proses terjadinya *die soldering* bergantung pada difusi dan reaksi kimia dari unsur yang terdapat pada cetakan logam cair. Sedangkan akar penyebab terjadinya fenomena *die soldering* adalah reaksi kinetik yang tinggi antara besi dan aluminium, karena besi memiliki afinitas yang sangat tinggi terhadap aluminium. Ketika aluminium mengalami kontak dengan material baja cetakan, atom aluminium dan atom besi saling berdifusi menghasilkan pembentukan fasa intermetalik pada permukaan material cetakan. Oleh karena itulah industri dapat menghemat bahan baku apabila efisiensi dari proses pengecoran dapat ditingkatkan dengan cara meminimalisir efek dari *die soldering*.

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.

Aluminium menunjukkan kecenderungan yang tinggi terhadap terjadinya penempelan dengan Fe<sup>[1]</sup>. Hal tersebut terlihat dengan keberadaan lapisan intermetalik yang terdiri dari senyawa intermetalik seperti fasa Fe<sub>2</sub>Al<sub>5</sub>, Fe<sub>3</sub>Al and FeAl<sub>3</sub>. 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. 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)*<sup>[2]</sup>. Q Han, dkk 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<sup>[3]</sup>.

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 menunjukkan bahwa kemampuan cairan logam lepas dari cetakan akan meningkat dengan penambahan Mn pada batas minimal 0,4%<sup>[4]</sup>. Dalam penelitian Shankar menghasilkan kandungan Mn sebesar 1-3% dalam paduan aluminium tipe 380, meningkatkan ketebalan intermetalik sekitar 50% pada 720-730°C<sup>[5]</sup>. Penambahan unsur Mn pada aluminium menunjukkan kemiringan positif yang mengindikasikan bahwa penambahan unsur tersebut akan membantu menghindari terjadinya *die soldering*<sup>[6]</sup>. Kemudian penelitian Bambang Suharno et al, menunjukkan bahwa semakin tinggi kadar Fe dalam paduan Al-7%Si dan Al-12%Si, akan menurunkan total ketebalan lapisan intermetalik yang terbentuk<sup>[7]</sup>.

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  $\alpha\text{AlMnFeSi}$  <sup>[8]</sup>. Dari penelitian sebelumnya mengenai pengaruh penambahan unsur mangan terhadap pembentukan lapisan intermetalik dengan baja H13 *as anneal* yang menghasilkan ketebalan minimum lapisan intermetalik pada kadar mangan 0,3% dan 0,7% untuk paduan Al-7%Si dan Al-12%Si berturut-turut<sup>[9]</sup>. Namun, belum ada korelasi yang menunjukkan pengaruh dari perlakuan panas baja H13 terhadap pembentukan lapisan intermetalik. Oleh karena itu, penulis memutuskan untuk melakukan penelitian lebih lanjut untuk melihat pengaruh dari baja H13 yang telah dilakukan perlakuan panas dalam hal ini *normal tempering* 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. Bahan baku yang digunakan adalah *Master Alloy* Al-7% Si dan Al-12% Si

2. Material yang diuji adalah Baja Perkakas H13 dengan perlakuan normal tempering
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 tahan : 30 dan 50 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)*.

## 1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk:

- a. Mengetahui waktu yang paling efektif untuk mengurangi ketebalan lapisan intermetalik pada paduan Al-7% Si dan Al-12% Si yang mengandung 0,1% ; 0,3% ; 0,5% ; 0,7% Mn.

- b. Mengetahui morfologi lapisan intermetalik yang terbentuk selama soldering akibat penambahan 0,1% ; 0,3% ; 0,5% ;0,7% Mn dalam paduan Al-7% Si dan Al-12% Si.
- c. Mengetahui pengaruh kandungan unsur mangan (Mn) terhadap kekerasan dan ketebalan lapisan intermetalik pada paduan Al-7% Si dan Al-12% Si yang mengandung 0,1% ; 0,3% ; 0,5% ;0,7% Mn.
- d. Mengetahui material cetakan H13 yang paling baik sifat mekanisnya dengan mengukur nilai kekerasan antara yang mengalami perlakuan panas (*normal tempering*) atau yang tidak mengalami perlakuan panas (hanya *annealing*).

#### 1.4 Manfaat Penelitian

Kegunaan dari penelitian ini yaitu data mengenai pengaruh unsur tambahan pada aluminium terhadap ketebalan lapisan intermetalik pada baja H13 hasil perlakuan panas *normal tempering* serta waktu yang efektif untuk mengurangi ketebalan lapisan intermetalik dalam fenomena *die soldering*. Dan dapat digunakan sebagai informasi dan acuan untuk meminimalisir cacat die soldering guna meningkatkan produktivitas benda cetak dan umur pakai dari cetakan di industri pengecoran serta dapat digunakan sebagai referensi mengenai pengaruh unsur tambahan pada paduan aluminium terhadap ketebalan lapisan intermetalik serta waktu yang efektif untuk mengurangi ketebalan lapisan intermetalik dalam fenomena die soldering.

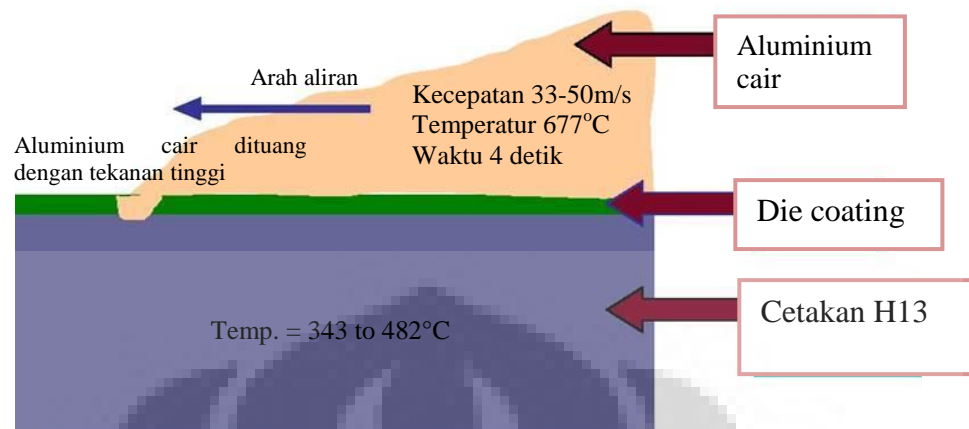
## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Definisi *Die Soldering*

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

*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<sup>[10]</sup>. Fenomena ini dikarakterisasikan dengan pembentukan fasa intermetalik pada interface antarabaja cetakan dan aluminium cair. *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<sup>[11]</sup>.

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<sup>[12]</sup>.



Gambar 2. 1 Skematis fenomena *die soldering* <sup>[13]</sup>

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<sup>[13]</sup>. Oleh sebab itu, aluminium cair akan kontak langsung pada permukaan cetakan. Selanjutnya besi yang terkandung pada cetakan larut ke dalam aluminium cair dan membentuk lapisan intermetalik. Pada *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<sup>[14]</sup>.

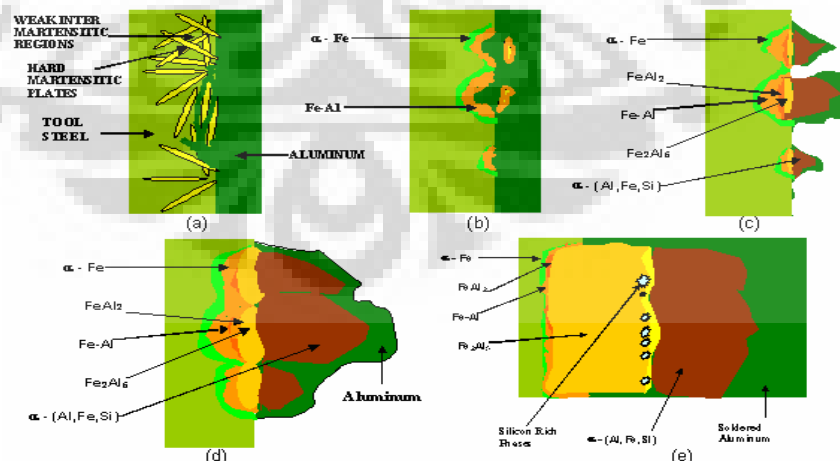
Awalnya, besi dan aluminium saling bereaksi membentuk fasa intermetalik biner Fe-Al. Kemudian, fasa tersebut bereaksi dengan aluminium cair untuk selanjutnya membentuk fasa intermetalik terner FeAlSi (Shankar, Sumanth. Diran Apelian, 2002). Saat lapisan fasa intermetalik biner dan terner terbentuk pada 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<sup>[13]</sup>.



Lapisan senyawa intermetalik FeAl yang terbentuk pada kondisi tersebut diatas umumnya FeAl<sub>3</sub> dan Fe<sub>2</sub>Al<sub>5</sub>. Awalnya terbentuk lapisan FeAl<sub>3</sub> pada interface antara substrat aluminium dan baja dengan cara difusi atom besi menuju aluminium, kemudian lapisan Fe<sub>2</sub>Al<sub>5</sub> terbentuk pada interface antara lapisan FeAl<sub>3</sub> dan baja. Telah diteliti sebelumnya bahwa pertumbuhan lapisan Fe<sub>2</sub>Al<sub>5</sub> merupakan proses difusi dengan energi aktivasi untuk pertumbuhannya adalah 155 kJ mol<sup>-1</sup> 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<sup>[15]</sup>.

## 2.2 Mekanisme Die Soldering

Mekanisme terjadinya *soldering* bergantung pada difusi dan reaksi kimia dari unsur yang terdapat pada cetakan dan logam cair<sup>[1]</sup>. *Die soldering* merupakan reaksi difusi besi yang terkandung pada cetakan, masuk ke dalam aluminium cair, bereaksi membentuk lapisan intermetalik<sup>[11]</sup>.

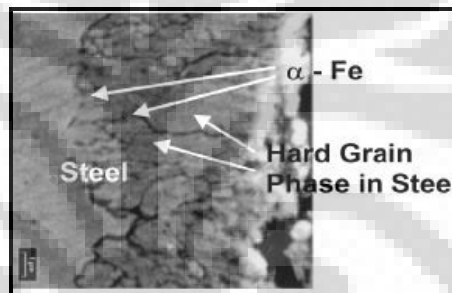


Gambar 2. 2 Mekanisme Die Soldering<sup>[11]</sup>

Gambar 2.2 diatas menjelaskan reaksi yang terjadi antara aluminium dan cetakan. Reaksi tersebut terdiri dari 5 tahapan<sup>[11]</sup>, yaitu :

1. Pengikisan batas butir pada permukaan cetakan

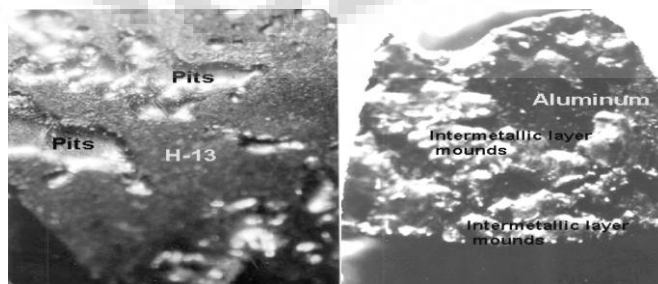
Cetakan yang terbuat dari baja perkakas umumnya dilakukan perlakuan panas *double tempering* hingga kekerasan sekitar Rc48–Rc50. Selama siklus proses pengecoran, aluminium cair menyerang secara berulang bagian yang lunak pada permukaan cetakan, yaitu daerah antara plat martensitik dan partikel karbida yang merupakan daerah intergranular. Ketika aluminium mengerosi daerah lunak pada permukaan cetakan, menghasilkan terbentuknya *Fe-solid solution* ( $\alpha$ -Fe) pada aluminium cair seperti yang terlihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2. 3 Daerah intergranular yang disebabkan oleh erosi aluminium cair pada batas butir sekitar permukaan cetakan<sup>[11]</sup>

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

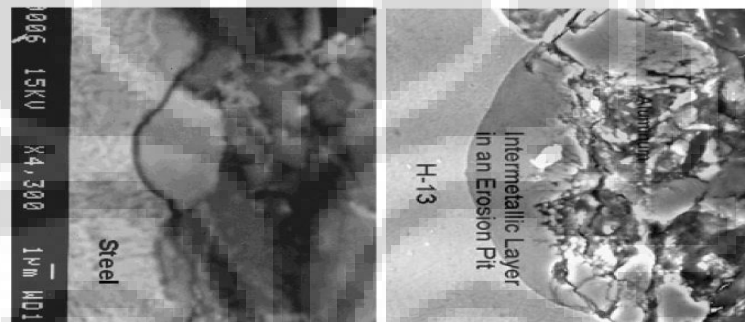
Ketika batas butir dan fasa yang lemah pada permukaan cetakan mengalami penyerangan, terbentuk pit *hemispherical* seperti yang terlihat pada Gambar 2.4.



**Gambar 2. 4** 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<sup>[11]</sup>

### 3. Pembentukan senyawa intermetalik biner Fe-Al dan struktur piramid

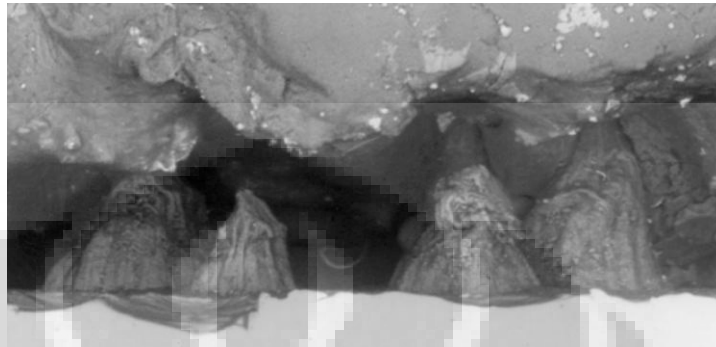
Selanjutnya, pada permukaan pit tersebut, fasa biner seperti FeAl, FeAl<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>Al<sub>5</sub>, dan FeAl<sub>3</sub> terbentuk. Pembentukan berturut-turut lapisan biner tersebut merupakan akibat dari reaksi tiap fasa yang terbentuk dengan aluminium cair baru yang terus berlanjut. Hal ini ditunjukkan pada Gambar 2.5.



**Gambar 2. 5** Pitting awal dan terbentuknya fasa intermetalik biner<sup>[11]</sup>

Dalam tahap selanjutnya, fasa FeAl<sub>3</sub> bereaksi dengan aluminium dan silikon dalam paduan aluminium cair untuk membentuk fasa terner  $\alpha$ -(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 Fe<sub>2</sub>Al<sub>5</sub>. Selain itu, presipitat silikon juga ditemukan pada batas antara fasa biner dan terner.

Gambar 2.6 yang menunjukkan pembentukan piramid pada permukaan cetakan juga menunjukkan pit terbentuk dibawah piramid dan pola pertumbuhan radial senyawa intermetalik muncul dari pit.



**Gambar 2. 6 Lapisan intermetalik berbentuk piramid ditemukan pada permukaan cetakan <sup>[11]</sup>**

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

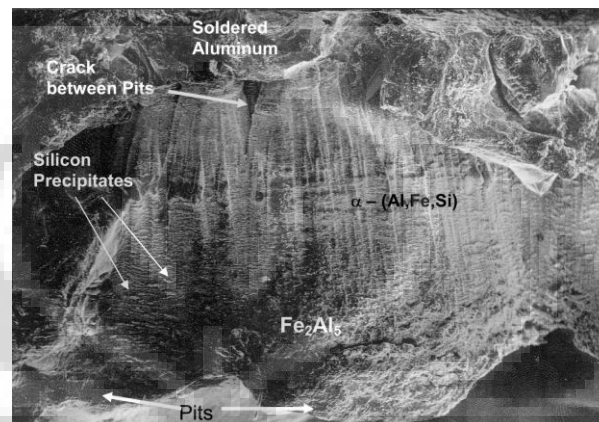
Produk reaksi terakhir antara besi dan paduan aluminium cair adalah pembentukan fasa  $\alpha$ -(Al,Fe,Si). Sesaat setelah lapisan intermetalik piramid terbentuk pada permukaan cetakan, aluminium berlebih menempel pada piramid, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.7.



**Gambar 2. 7 Pertumbuhan awal lapisan intermetalik berbentuk piramid <sup>[11]</sup>**

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 2.8.



**Gambar 2. 8 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<sup>[11]</sup>**

##### 5. 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 (tahapan I hingga tahapan 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 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<sup>[5]</sup>. 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<sup>[16]</sup>.

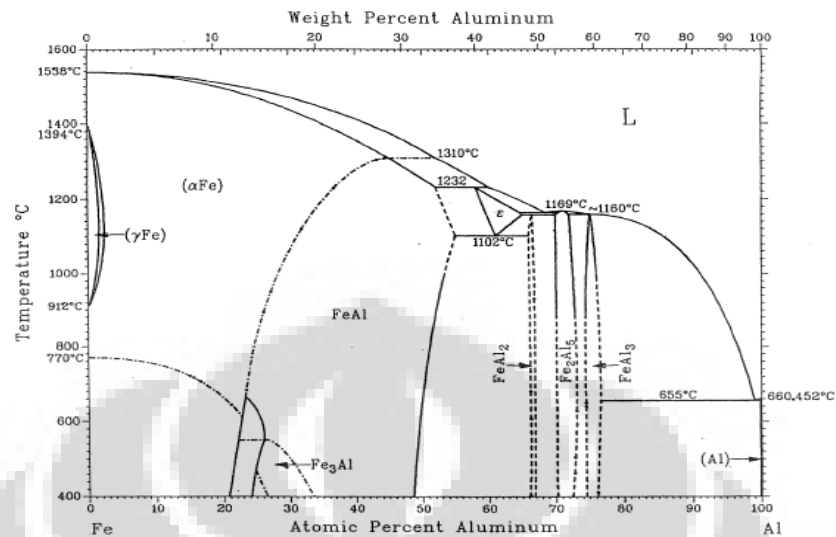
Sesaat setelah pit pertama kali terbentuk pada baja cetakan, lapisan intermetalik pun ikut terbentuk, kemudian aluminium cair secara instan menempel pada lapisan intermetalik tersebut. Tebalnya lapisan intermetalik pertama yang menempel pada permukaan baja cetakan menunjukkan seberapa besar kecenderungan terjadinya cacat *die soldering* pada baja cetakan tersebut<sup>[12]</sup>.

## **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<sup>[17]</sup>. 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<sup>[17]</sup>.

Dalam proses *die casting*, lapisan intermetalik (FeAl<sub>3</sub>) 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<sup>[18]</sup>.



Gambar 2.9 Diagram Fasa Fe-Al<sup>[19]</sup>

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  $FeAl_3$ <sup>[19]</sup>.

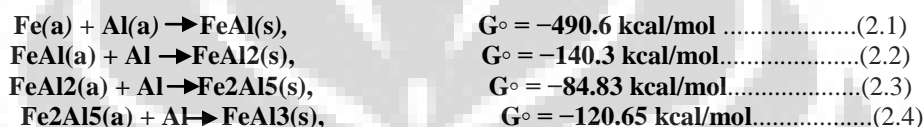
Dalam penelitiannya, Shahverdi et al menyatakan bahwa awal pertumbuhan lapisan intermetalik menuju aluminium kemungkinan bertujuan untuk mengurangi terjadinya proses difusi atom besi dari *die* menuju aluminium cair. Setelah lapisan intermetalik pertama terbentuk ( $Fe_2Al_5$ ), pertumbuhan berikutnya 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 · mol<sup>-1</sup>. Oleh karena itu akan lebih mudah bagi aluminium untuk berdifusi dan membentuk lapisan intermetalik yang bertumbuh ke arah bagian yang kaya akan unsur besi<sup>[20]</sup>.

Eggeler et al 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<sup>[21]</sup>.

Sedangkan Heumann dan Dittrich (1998) mengidentifikasi lapisan intermetalik Fe<sub>2</sub>Al<sub>5</sub> 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<sup>[22]</sup>.

Berdasarkan diagram fasa Fe-Al, kemungkinan urutan pembentukan lapisan fasa intermetalik pada 680°C beserta energi bebasnya adalah sebagai berikut<sup>[20]</sup> :



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<sup>[20]</sup>**

Fasa	Struktur Kristal	Rentang Stabilitas (wt%)	Berat Jenis (Mg/mm <sup>3</sup> )
Fe solid solution	BCC	0-45	7.8
γ-Fe	FCC	0-1.3	7.8
FeAl (β2)	BCC (order)	23-55.5	5.58
Fe <sub>3</sub> Al (β1)	Do3	23-34	6.72
Fe <sub>2</sub> Al <sub>3</sub> (ε)	Cubic (complex)	58-65	-
FeAl <sub>2</sub> (ζ)	Triclinic	66-66.9	4.36
Fe <sub>2</sub> Al <sub>5</sub> (η)	Orthorombic	70-73	4.11
FeAl <sub>3</sub> (θ)	Monoclinic	74.5-76.5	3.9
Al Solid solution	FCC	99.998-100	2.69

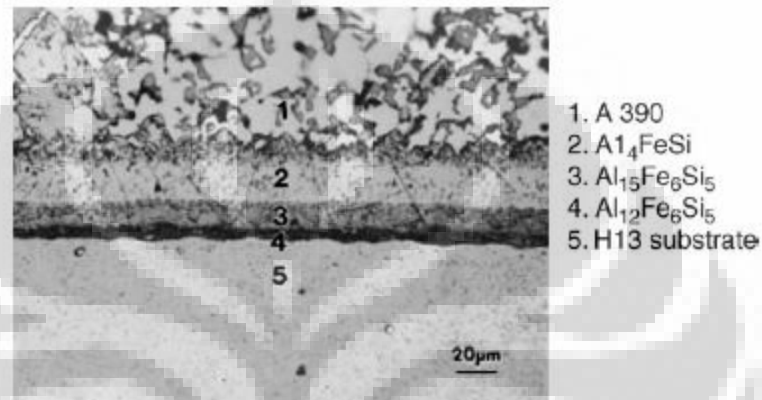
**Tabel 2. 2 Konstanta termodinamik fasa intermetalik dalam system fasa biner<sup>[20]</sup>**

Fasa	ΔH <sub>298</sub> (J/mol)	ΔS <sub>298</sub> (K-1mol-1)	ΔG <sub>973</sub> (J/mol)
FeAl <sub>3</sub> (θ)	-112560	95.6	-22869
Fe <sub>2</sub> Al <sub>5</sub> (η)	-194040	166.7	-19636



$\text{FeAl}_2 (\zeta)$	-81900	73.3	-16999
$\text{FeAl} (\beta_2)$	-51240	51	-11090
$\text{Fe}_3\text{Al} (\beta_1)$	-57372	28	-4827

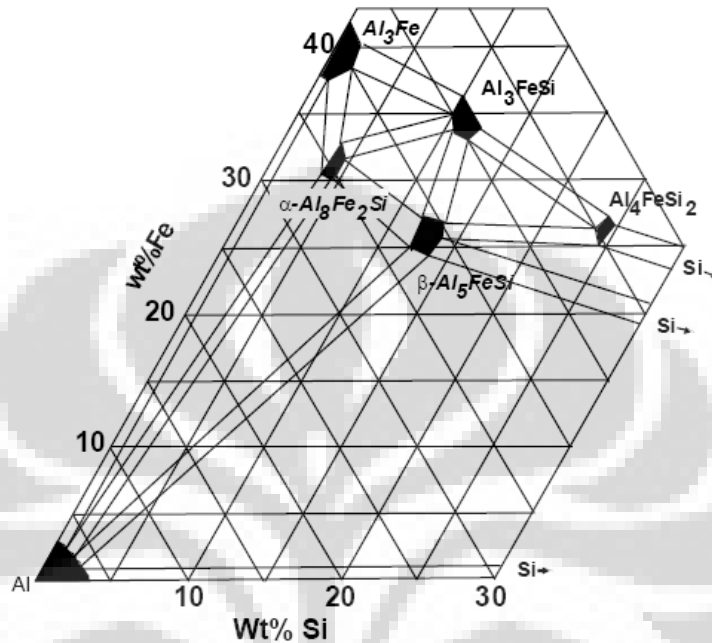
### 2.3.2 Lapisan Intermetalik Terner



**Gambar 2. 10** Lapisan intermetalik yang terbentuk pada baja H13 yang dicelup ke dalam paduan aluminium cair A380 selama 2 jam pada temperatur  $680^\circ\text{C}^{[18]}$

Gambar 2.10 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<sup>[18]</sup>.



Gambar 2. 11 Diagram Fasa Al-Fe-Si<sup>[23]</sup>

Gambar 2.11 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<sup>[23]</sup>.

#### 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. Pengaruh dari komposisi paduan dalam fenomena *die soldering* untuk paduan aluminium tipe 380 dan mengukur pengaruh dari beberapa

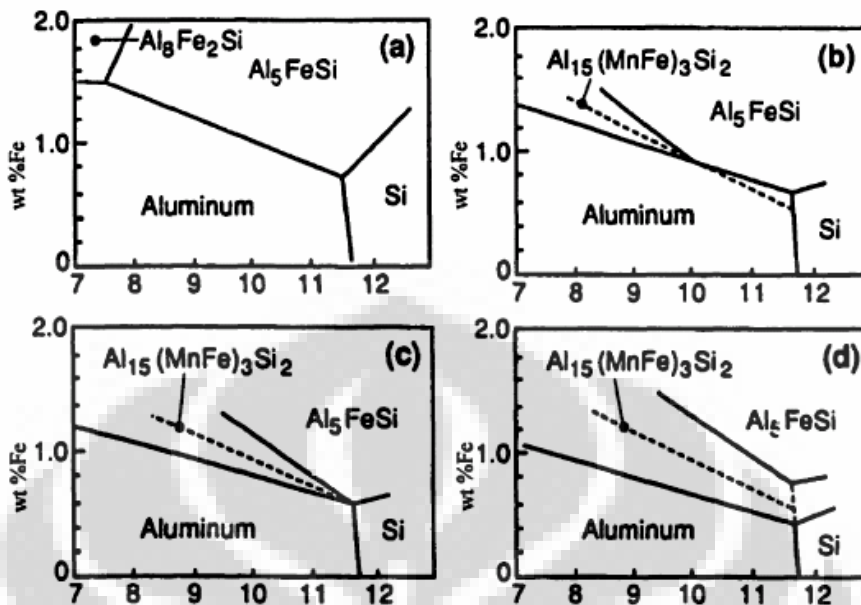
unsur pada pertumbuhan dari lapisan antara (*intermediate*) yang ada pada permukaan baja perkakas (cetakan) dan aluminium yang tersolder<sup>[5]</sup>.

**Tabel 2. 3 Pengaruh beberapa elemen terhadap ketebalan lapisan *intermediate* <sup>[13]</sup>**

Unsur	Jumlah	Pengaruh
Nikel	0,5 %	Ketebalan meningkat sekitar 50% pada 720-730 <sup>0</sup> C
Mangan	1-3%	Ketebalan meningkat sekitar 50% pada 720-730 <sup>0</sup> 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%

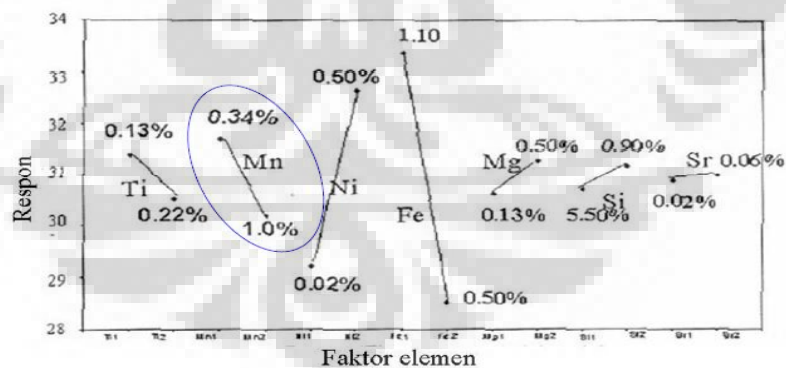
Mangan adalah salah satu unsur paduan yang sering dipergunakan dalam pengecoran aluminium. Kelarutan mangan pada aluminium, sebesar 1.82% wt pada temperatur 658°C. Penambahan mangan pada aluminium, meningkatkan kekuatan, kekerasan, ketahanan temp tinggi dan ketahanan korosi. Penambahan mangan juga membantu mengurangi daya adhesi dari logam cair ke cetakan. Tanpa adanya mangan pada aluminium, cairan akan lebih lengket dengan cetakan meskipun cetakan mempunyai bentuk sederhana. Berdasarkan penelitian, kemampuan cairan logam lepas dari cetakan akan meningkat dengan penambahan Mn pada batas minimal 0.4%<sup>[5]</sup>.

Penambahan mangan menurunkan afinitas Al-Si terhadap Fe, terlihat pada diagram fasa Al-Fe-Si dengan penambahan Mn pada Gambar 2.12. 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. 12 Perubahan diagram fasa AlFeSi akibat adanya pengaruh Mn a)0%Mn, b)0.1%Mn, c)0.2%Mn, d)0.3%Mn<sup>[13]</sup>

Shankar Sumanth dan Apelian Diran, memberikan suatu penjelasan mengenai pengaruh unsur paduan dalam aluminium cair terhadap kecenderungan terjadinya fenomena die soldering<sup>[5]</sup>. Seperti yang terlihat pada Gambar 2.13.

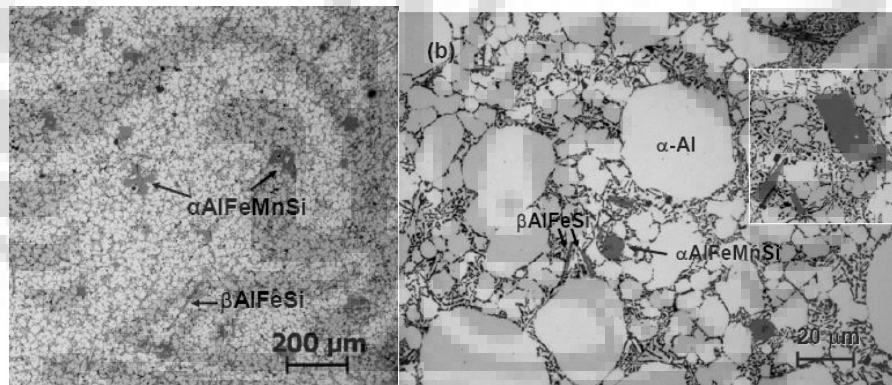


Gambar 2. 13 Pengaruh unsur utama dalam fenomena die soldering<sup>[5]</sup>

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, peningkatan kadar mangan membantu menghindari terjadinya fenomena *die soldering*<sup>[5]</sup>.

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 kesetimbangan, *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*  $\alpha AlFeMnSi$ <sup>[13]</sup>.



Gambar 2. 14 Fasa jarum  $\beta-AlFeSi$  vs cubic  $\alpha-AlFeMnSi$  (a)  $200\mu m$  dan (b)  $20\mu m$  <sup>[13]</sup>

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

Pembentukan dan perkembangan lapisan intermetalik pada die casting dapat dijelaskan sebagai berikut<sup>[20]</sup>:

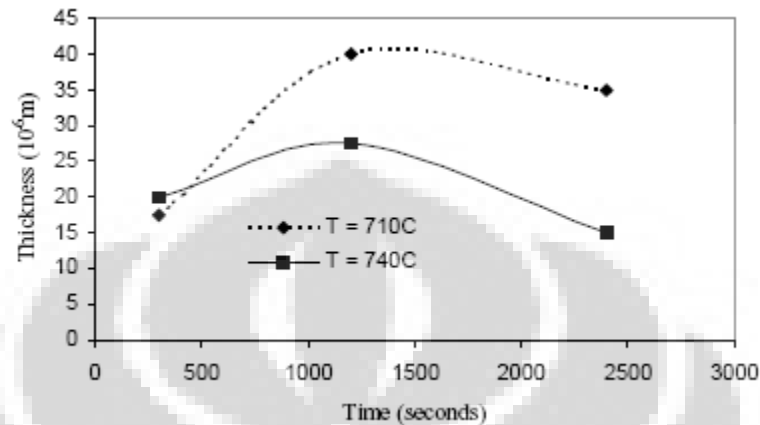
- Tahap 1: Selama injeksi aluminium cair dan pembekuan, terjadi difusi atom aluminium dan Fe menuju interface untuk membentuk fasa intermetalik

$Fe_xAl_ySi_z$  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  $Fe_xAl_ySi_z$  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  $Fe_xAl_y$  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 2.15 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. 15 Pertumbuhan dan pelarutan lapisan intermetalik<sup>[20]</sup>

## 2.6. Baja Perkakas H13

### 2.6.1 Karakteristik Baja Perkakas H13

Tool steel AISI H13 merupakan *chromium hot-work tool steel*. Komposisi kimia material ini didesain untuk tahan terhadap temperatur, tekanan, abrasi, dan siklus panas dalam proses aplikasinya, seperti *die casting*. Baja ini memiliki kandungan karbon rendah (0.4 wt%) untuk mendapatkan ketangguhan, kadar kromium yang medium (5 wt%) untuk mendapatkan ketahanan yang baik terhadap pelunakan temperatur tinggi, 1wt% Si untuk meningkatkan ketahanan oksidasi temperatur tinggi, dan penambahan molybdenum dan vanadium ( $\pm 1\%$ ) untuk membentuk karbida stabil guna meningkatkan ketahanan aus<sup>[18]</sup>. Komposisi dan sifat mekanis baja H13 dapat dilihat pada Tabel 2.4 dan 2.5.

Tabel 2.4 Komposisi kimia tool steel pada umumnya<sup>[24]</sup>

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

Tabel 2.5 Sifat Mekanis H13 pada Temperatur Ruang <sup>[24]</sup>

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

### 2.6.2 *Annealing* Baja Perkakas H13

Setelah proses *anealling* baja H13 terdapat kandungan karbida paduan sekitar 3.5%, yang terdiri dari karbida jenis M6C (unsur utama Mo), M7C3 (unsur utama Cr), MC (unsur utama V). Karbida ini terdistribusi pada matrix ferrit. Hingga temperatur austenisasi 1100oC, karbida krom dan molybdenum larut dalam larutan padat., hanya karbida vanadium yang tidak terlarut. Setelah didinginkan hingga temperatur kamar akan dihasilkan struktur matrix berupa martensit, austenit sisa dan mungkin bainit, pada mikrostruktur akan terdapat karbida yang berasal dari karbida primer sisa maupun hasil proses autotemper. Dengan melakukan temper sebanyak dua kali austenit sisa akan berubah menjadi martensit temper, pada temper pertama austenit berubah menjadi martensit atau disebut tahap kondisional, pada temper kedua baru berubah menjadi martensit temper. Karenanya pada baja ini diperlukan temper ganda untuk mendapatkan stabilitas dimensi yang maksimum. Setelah ditemper struktur matriks akan berubah menjadi martensit temper dengan endapan karbida paduan maupun sementit yang tersebar diseluruh matriks atau pada batas butir.



### 2.6.3 Pembentukan Senyawa Intermetalik Selama Pembekuan

Fe merupakan pengotor alami yang timbul selama proses manufaktur aluminium pada proses *Bayer* yang mengubah bauksit (bijih aluminium) menjadi alumina maupun pada proses *Hall-Hérout electrolytic reduction* yang mengubah alumina menjadi aluminium cair ( $>900^{\circ}\text{C}$ ) dengan konsumsi listrik dan karbon. Bergantung pada kualitas bijih dan pengontrolan parameter proses serta material mentah lainnya, aluminium cair primer biasanya mengandung 0.03 – 0.15 wt.% Fe, dengan rata-rata  $\sim 0.07 - 0.10\%$ . Kehadiran unsur Fe tersebut tidaklah disukai dalam industri pengecoran, khususnya pada keluarga paduan Al-Si. Hal ini disebabkan unsur tersebut dapat mengakibatkan kerusakan pada produk akhir pengecoran. Hingga saat ini belum ada cara ekonomis yang dapat menghilangkan unsure Fe dari aluminium. Sehingga, kadar Fe pada aluminium primer merupakan kandungan Fe paling rendah yang dapat terkandung dalam aluminium, dan proses peleburan lebih lanjut hanya akan meningkatkan kandungan Fe dalam aluminium. Unsur Fe dapat masuk kedalam *melt* selama proses peleburan melalui dua mekanisme dasar :

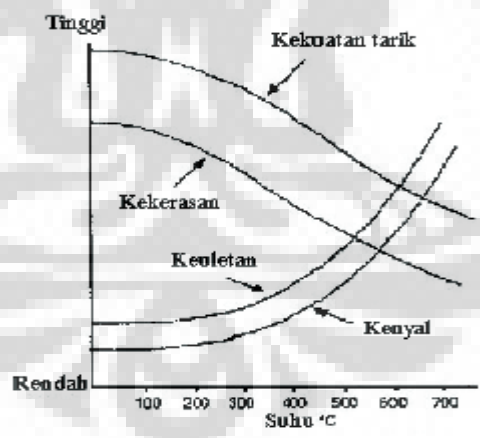
1. Fe dapat larut dalam aluminium cair dari tool steel yang tidak diproteksi dan pelatitan tungku, dan dengan waktu yang lama, kandungan Fe akan mencapai 2 wt% pada temperatur lebur  $\sim 700^{\circ}\text{C}$ . Untuk proses peleburan pada temperatur  $800^{\circ}\text{C}$ , kandungan Fe dapat mencapai lebih dari 5%. Diagram fasa Al-Fe dapat dilihat pada Gambar 2.9.

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

### 2.6.4 Proses Perlakuan Panas *Normal Tempering* pada Baja Perkakas H13

Baja perkakas AISI H13 merupakan baja perkakas pengerjaan panas dengan kandungan karbon yang relatif rendah 0,3-0,4% dan kromium mencapai

4.75-5.5%. Baja ini umumnya digunakan untuk membuat perkakas seperti *die*, *mould*, dan alat potong. Baja AISI H13 biasanya dijual di pasaran dalam kondisi annealed. Baja yang berada pada kondisi annealed bersifat lunak sehingga tidak sesuai dengan aplikasinya yang membutuhkan kombinasi ketahanan aus, kekerasan, dan ketangguhan yang baik. Untuk mendapatkan baja dengan sifat-sifat mekanik yang baik tersebut maka perlu dilakukan modifikasi struktur mikro baja. Salah satu caranya adalah dengan memberikan perlakuan panas hardening dan tempering<sup>[30]</sup>. Hardening dan tempering merupakan suatu siklus perlakuan panas dengan cara memanaskan baja sampai temperatur austenitisasi kemudian didinginkan cepat agar diperoleh struktur keras martensit lalu dipanaskan kembali dibawah temperatur rekristalisasinya. Tujuannya adalah agar diperoleh kombinasi kekerasan dan ketangguhan yang bagus. Variabel-variabel hardening dan tempering yang bisa mempengaruhi ketangguhan dan kekerasan baja antara lain laju pendinginan, temperatur dan waktu tahan hardening (austenitisasi), temperatur, waktu tahan, dan jumlah tempering.



Gambar 2.16 Hubungan antara suhu tempering dengan sifat-sifat baja <sup>[25]</sup>

Pada Gambar 2.16 terlihat bahwa semakin tinggi suhu tempering maka akan menurunkan kekerasan baja tetapi meningkatkan keuletan dari baja. Penulis melakukan perlakuan panas pada baja perkakas H13 untuk meningkatkan sifat

mekanismenya dengan harapan dapat meminimalisir lapisan intermetalik yang terbentuk.

## 2.7 Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi *Die Soldering*

Fenomena *Die Soldering* ini dipengaruhi oleh berbagai factor, antara lain:

### 1. Temperatur antara logam cair dan cetakan

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

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

Berdasarkan literatur, dapat disimpulkan bahwa pembentukan lapisan intermetalik murni berdasarkan difusi dan reaksi kimia dari elemen yang ada pada cetakan dan logam cair. Setiap jenis paduan aluminium memiliki kecenderungan berbeda terhadap *soldering*. Aluminium menunjukkan kecenderungan yang kuat untuk melekat pada besi. Pada penelitiannya, dia menunjukkan adanya lapisan antara (*intermediate*) yang terdiri dari zona-zona senyawa intermetalik seperti  $Fe_2Al_5$  (prevalent),  $Fe_3Al$  and  $FeAl_3$ . Bagaimanapun, adanya elemen paduan lain seperti Si, Cu, Mg, dll, menghasilkan pembentukan sejumlah senyawa intermetalik kompleks pada lapisan antara (*intermediate*)<sup>[1]</sup>. Kecenderungan terjadinya *soldering*

pada aluminium primer adalah yang paling mungkin terjadi, diikuti oleh paduan Al-Mg, paduan hipoeutektik Al-Si, Al-Si-Cu, dan eutektik Al-Si, yang paling kecil kemungkinan mengalami soldering. Hal ini terjadi karena adanya silikon dalam jumlah yang banyak dalam aluminium yang dapat menurunkan laju lapisan intermetalik<sup>[1]</sup>.

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

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

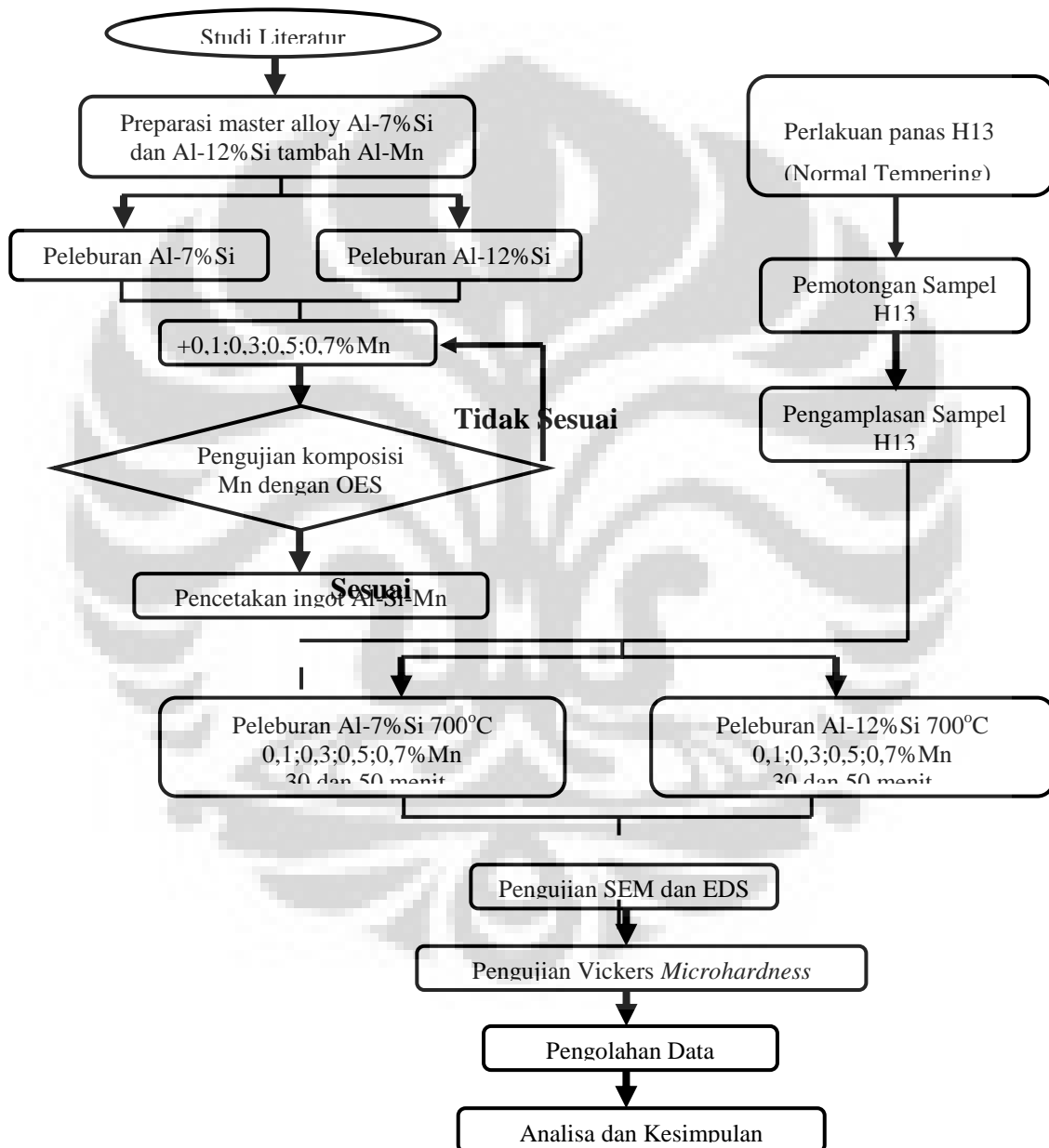
### 4. Karakteristik cetakan dan parameter operasi

Bagian yang tebal pada cetakan merupakan daerah potensial untuk terjadinya *die soldering*. Penggunaan molybdenum, selain baja H13, membantu mengurangi *soldering*, namun molybdenum lebih mahal dan lebih lunak dibandingkan baja H13 sehingga umur pakainya lebih singkat. Pembentukan lapisan tipis *soldering* akan memperkasar daerah pada permukaan cetakan, dan kekasaran ini memicu *soldering* terjadi. Sekali *soldering* terjadi, pembentukan lapisan paduan aluminium di atas lapisan tersolder terjadi secara cepat. Hal ini disebabkan konduktivitas termal yang buruk dan kekerasan dari daerah yang tersolder pada cetakan. Lapisan ini dapat dicairkan kembali untuk mengurangi akumulasi *soldering*. *Undercut* pada operasi *die casting* juga dapat memfasilitasi terjadinya *soldering*<sup>[26]</sup>.

# BAB III

## METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1. Diagram Alir



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

### 3.2. Peralatan dan Bahan

#### 3.2.1. Peralatan

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



Gambar 3. 2 Penampang dapur holding

3. Mesin Potong Gerinda
4. Gergaji Mesin



Gambar 3. 3 Gergaji mesin

5. *Medium Speed Diamond Saw*
6. Dapur *Carbolyte*
7. Kertas Amplas grid 240 – 1500

8. Mesin Amplas & Poles
9. Kowi (kapasitas 1000 dan 1500 gr aluminium)
10. *Thermocouple*
11. Stopwatch
12. Cetakan ingot
13. Plunger, tang penjepit, dan sendok besi
14. Plastik dan label nama
15. Peralatan keselamatan (masker dan sarung tangan)
16. Timbangan digital
17. *Vickers Microhardness Tester*



**Gambar 3. 4** Alat uji kekerasan mikrovickers

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



Gambar 3. 5 SEM yang dilengkapi dengan EDS

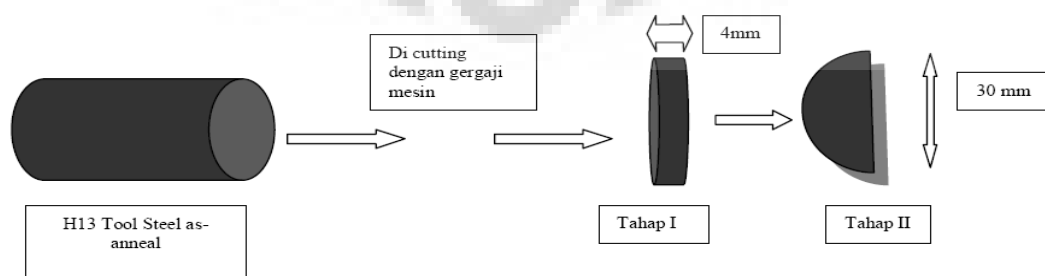
### 3.2.2. Bahan

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. 6 Tahapan pemotongan material H13



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

### **3.3.2. Perlakuan Panas *Normal Tempering* Sampel Material H13**

Material uji *tool steel* H13 diperlakukan panas menggunakan dapur *Carbolyte*. Dapur *Carbolyte* ini diatur sesuai dengan proses perlakuan panas dimulai dengan preheating pada temperatur  $650^{\circ}\text{C}$  selama 30 menit. Setelah itu temperatur dinaikkan hingga  $1040^{\circ}\text{C}$  selama satu jam. Kemudian material H13 didinginkan lambat dengan media *quench* udara selama satu jam. Setelah itu material H13 kembali dimasukkan ke dalam Dapur *Carbolyte* untuk proses tempering dengan temperatur  $550^{\circ}\text{C}$  (normal tempering) selama satu jam.

### **3.3.3. 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.

### **3.3.4. 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 :

$$\frac{\% \text{ Kadar Mn X Kapasitas Kowi}}{\% \text{ Kadar Mn didalam Al-Mn X Efisiensi Mn}} \dots\dots\dots(3.1)$$

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.

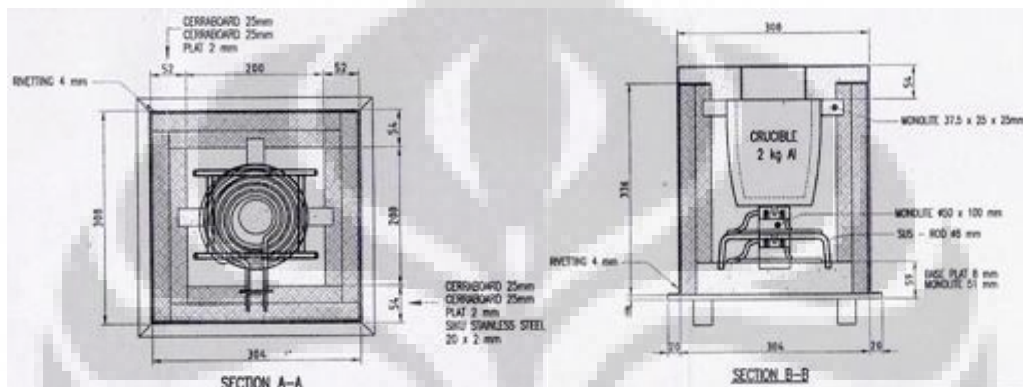
### 3.3.5. Peleburan *Master Alloy*

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.

### 3.3.6. 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.



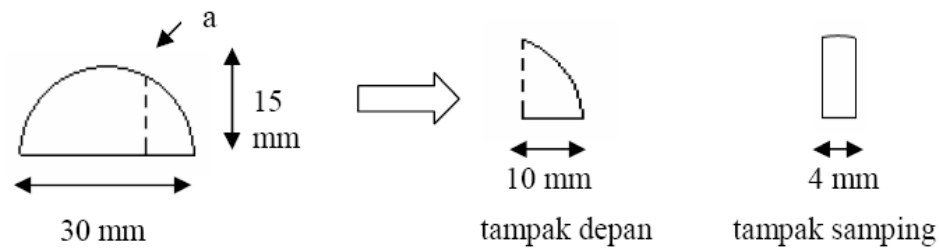
Gambar 3. 7 Penampang dapur holding

Setelah temperatur krusibel konstan, dilakukan proses pencelupan H13 kedalam aluminum cair. Pencelupan sampel dilakukan selama 30 dan 50 menit. Setelah selesai pencelupan, aluminum cair dituang kedalam cetakan ingot. Ketika sudah membeku, ingot diberi kode penelitian.

### 3.3.7. 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. 8 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. 9 Mounting sampel**

3. Pengamplasan dengan menggunakan kertas amplas SiC dari grid 1000-1500
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 menunjukkan batas butir antara H13 tool steel dan aluminium. Proses etsa yang dilakukan merupakan etsa kimia dengan menggunakan larutan Nital 3-4% untuk H13

### **3.3.8. 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.

### 3.3.9. Pengujian Kekerasan Lapisan Intermetalik

Pengujian *Microhardness* dilakukan dengan menggunakan metode *vickers microhardness* dengan beban indentasi 25 gf untuk penjejakan pada lapisan intermetalik. Bentuk indenter 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.

$$VHN = \frac{2P \sin(\theta / 2)}{L^2} = \frac{1,854P}{D^2} \quad (3.2)$$

Dimana:

P = beban yang digunakan (Kg)

L = panjang diagonal rata-rata (mm)

$\theta$  = sudut antara permukaan intan yang berlawanan ( $136^\circ$ )

## BAB IV HASIL ANALISA DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Hasil Pengujian Kekerasan Awal Baja H13

Pengujian kekerasan awal pada *tool steel* H13 menggunakan metode *microhardness vickers*. Penjejukan dilakukan di tiga titik dengan waktu penjejukan 15 detik dan beban penjejukan 500 gf. Dari pengujian didapat data jejak indentasi yang kemudian dihitung kekerasannya dengan menggunakan rumus persamaan :

**Tabel 4.1 Hasil pengujian kekerasan awal pada baja H13 (*as annealing*)**

No indentasi	Jejak (µm)			VHN (kg/mm)	VHN <sub>avg</sub>
	x	y	d <sub>avg</sub>		
1	69,5	70	69,75	190	188
2	72,5	73,5	73	174	
3	68	68,5	68,25	199	

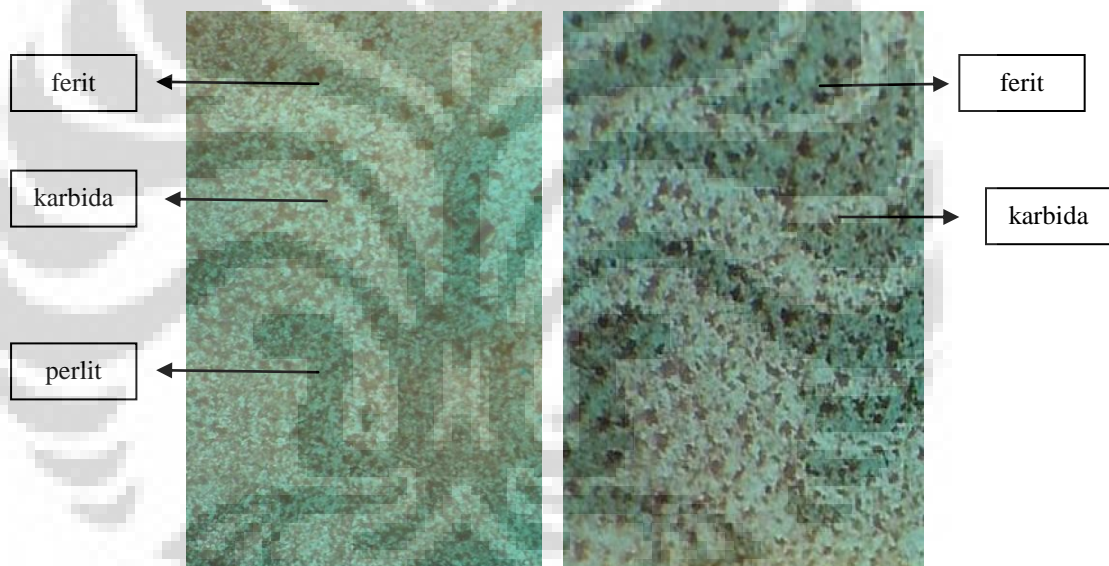
**Tabel 4.2 Hasil pengujian kekerasan pada baja H13 dengan perlakuan *normal tempering***

No indentasi	Jejak (µm)			VHN (kg/mm)	VHN <sub>avg</sub>
	x	y	d <sub>avg</sub>		
1	47,5	47,5	47,5	411	421
2	46,5	47,5	47	420	
3	46	46,5	46,25	433	

Baja AISI H13 biasanya dijual di pasaran dalam kondisi annealed. Baja yang berada pada kondisi annealed bersifat lunak sehingga tidak sesuai dengan aplikasinya yang membutuhkan kombinasi ketahanan aus, kekerasan, dan ketangguhan yang baik. Untuk mendapatkan baja dengan sifat-sifat mekanik yang baik tersebut maka perlu dilakukan modifikasi struktur mikro baja. Salah satu caranya adalah dengan memberikan perlakuan panas hardening dan tempering.

Berdasarkan hasil pengujian kekerasan pada H13, maka dapat dibandingkan bahwa material H13 yang memiliki kekerasan paling tinggi yaitu pada material H13 yang mengalami perlakuan panas *normal tempering* pada temperatur 550 °C. edangkan yang paling lunak adalah material H13 yang tidak mengalami proses perlakuan panas yaitu H13 dalam kondisi *as annealing*. Hal ini menunjukkan bahwa baja H13 yang mengalami proses normal tempering telah mengalami modifikasi mikrostruktur yang menghasilkan struktur mikro matrik martensit temper dan karbida chrom sehingga mengalami peningkatan nilai kekerasan yang cukup tinggi.

#### 4.2 Hasil Pengamatan Foto Mikrostruktur Baja H13



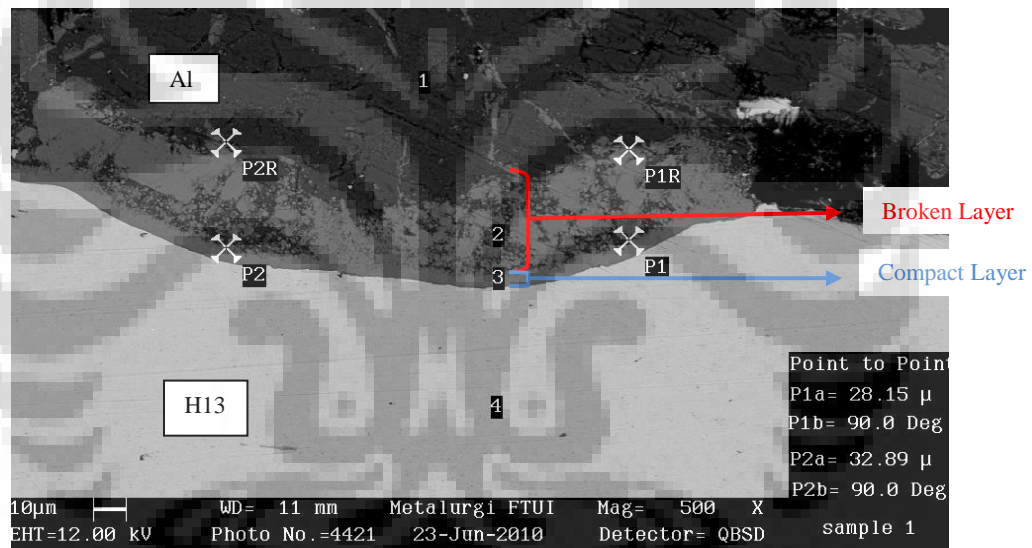
**Gambar 4.1 Hasil Foto Mikrostruktur Baja H13 *as annealed* (kiri) dan *normal tempering* (kanan) dengan perbesaran 200X dan etsa Nital 3%**

Berdasarkan hasil foto mikrostruktur baja H13, menunjukkan bahwa pada sampel *as annealed*, tanpa perlakuan panas : baja perkakas AISI H13 yang terlihat adalah ferit, perlit dan karbida sedangkan pada sampel *normal tempering* struktur mikronya berupa karbida dan ferit. Temperatur perlakuan panas akan menyebabkan bertambah banyak Karbida yang terbentuk. Akan tetapi semakin berkurang perlit yang terbentuk. Pada temperatur tempering 550°C difusi karbon akan semakin sulit

dan terjadi difusi unsur-unsur pembentuk karbida kuat yang akan membentuk partikel karbida, seperti : VC, Mo<sub>2</sub>C, Cr<sub>23</sub>C<sub>6</sub>, atau W<sub>2</sub>C yang dapat meningkatkan kekerasan.

### 4.3 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 30 dan 50 menit pada temperatur 700 °C menghasilkan dua jenis lapisan yang memiliki karakteristik berbeda dengan H13 maupun aluminium.



**Gambar 4. 2** Foto mikro hasil pengujian *Scanning Electron Microscope* dengan perbesaran 500X. Lapisan intermetalik yang terbentuk hasil pencelupan baja H13 ke dalam paduan Al7Si dengan kandungan 0,1%Mn selama 50 menit pada temperatur 700 °C

Berdasarkan Gambar 4.2, lapisan intermetalik yang terbentuk terbagi menjadi dua jenis. Lapisan intermetalik pertama, berbatasan dengan baja H13, merupakan lapisan intermetalik yang berbentuk solid selanjutnya disebut *compact layer* yang ditunjukkan dengan warna abu-abu terang. Sedangkan lapisan intermetalik kedua, berbatasan dengan *compact layer* dan aluminium, merupakan lapisan intermetalik



semi solid, selanjutnya disebut *broken layer* yang ditunjukkan dengan warna abu-abu gelap.

*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, FeAl<sub>2</sub>, FeAl<sub>3</sub> dan Fe<sub>2</sub>Al<sub>5</sub>. Selanjutnya fasa Fe<sub>2</sub>Al<sub>5</sub> bereaksi dengan Al dan Si pada aluminium cair sehingga terbentuk fasa ternary -(Al,Fe,Si) yaitu *broken layer*<sup>[2]</sup>.

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.

#### **4.4 Pengaruh Unsur Mangan dan Waktu Kontak Terhadap Fasa Intermetalik yang Terbentuk**

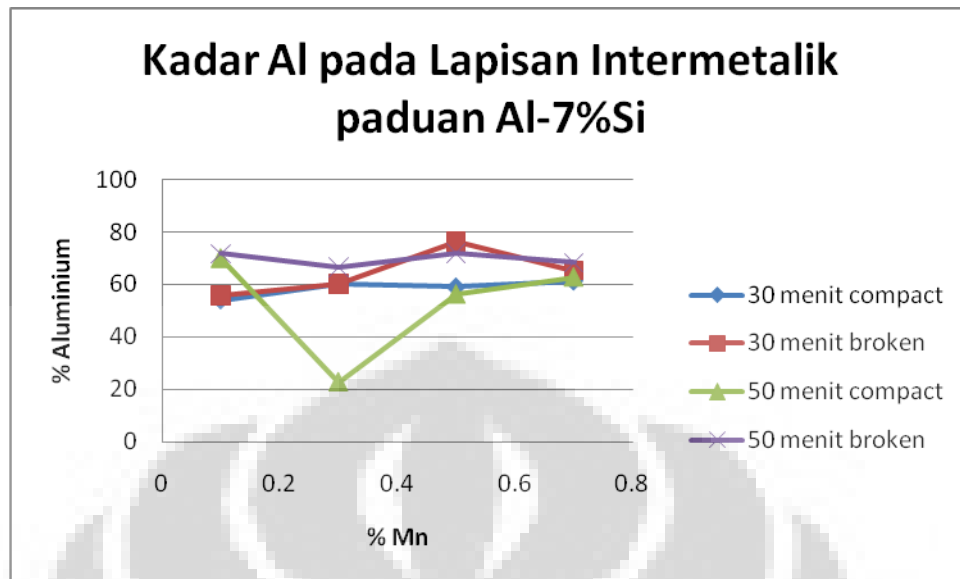
Setelah dilakukan pengujian Scanning Electron Microscope (SEM) untuk analisa morfologi lapisan intermetalik yang terbentuk, pada lapisan intermetalik tersebut dilakukan pengujian Energy Dispersive Spectrometer (EDS) untuk mengidentifikasi unsur-unsur yang terkandung didalamnya. Unsur-unsur yang didapat dari hasil pengujian Energy Dispersive Spectrometer (EDS), kemudian diplot ke dalam diagram fasa pada Gambar 2.9 untuk diperkirakan kemungkinan fasa lapisan intermetalik yang terbentuk. Ringkasan unsur-unsur yang terdapat pada lapisan intermetalik hasil percobaan dapat dilihat pada Tabel 4.3 dan Tabel 4.4.

Tabel 4. 3 Unsur yang terkandung di dalam lapisan intermetalik paduan Al-7%Si

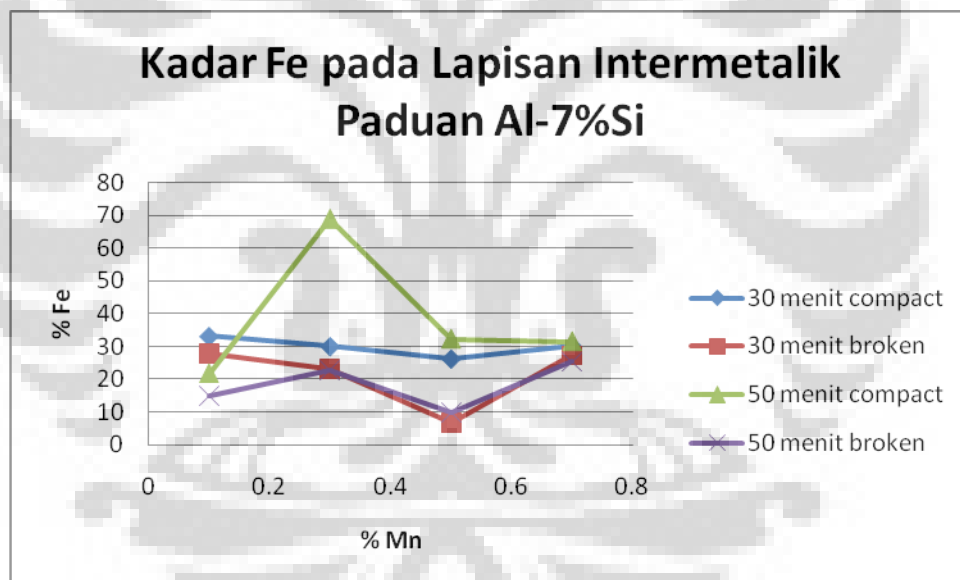
% Mn	Waktu	Lapisan	%Al	%Si	%Fe	Fasa yang terbentuk
0.1	30	compact	54.02	5.75	33.09	Fe <sub>2</sub> Al <sub>5</sub>
		broken	55.81	11.56	27.87	Al <sub>x</sub> FeySiz
	50	compact	69.93	4.75	21.72	FeAl <sub>3</sub>
		broken	71.7	3.31	14.96	Al <sub>x</sub> FeySiz
0.3	30	compact	60.1	5.88	29.97	FeAl <sub>3</sub>
		broken	60.05	4.44	23.06	Al <sub>x</sub> FeySiz
	50	compact	22.72	3.49	68.8	FeAl <sub>2</sub>
		broken	66.39	5	22.79	Al <sub>x</sub> FeySiz
0.5	30	compact	58.96	7.89	26.14	FeAl <sub>3</sub>
		broken	76.38	7.96	6.8	Al <sub>x</sub> FeySiz
	50	compact	56.26	7.73	32.23	Fe <sub>2</sub> Al <sub>5</sub>
		broken	71.88	10.82	9.74	Al <sub>x</sub> FeySiz
0.7	30	compact	61.33	6.21	30.12	FeAl <sub>3</sub>
		broken	65.23	7.43	27.3	Al <sub>x</sub> FeySiz
	50	compact	62.79	5.82	31.47	FeAl <sub>3</sub>
		broken	68.26	6.06	25.29	Al <sub>x</sub> FeySiz

Tabel 4. 4 Unsur yang terkandung di dalam lapisan intermetalik paduan Al-12%Si

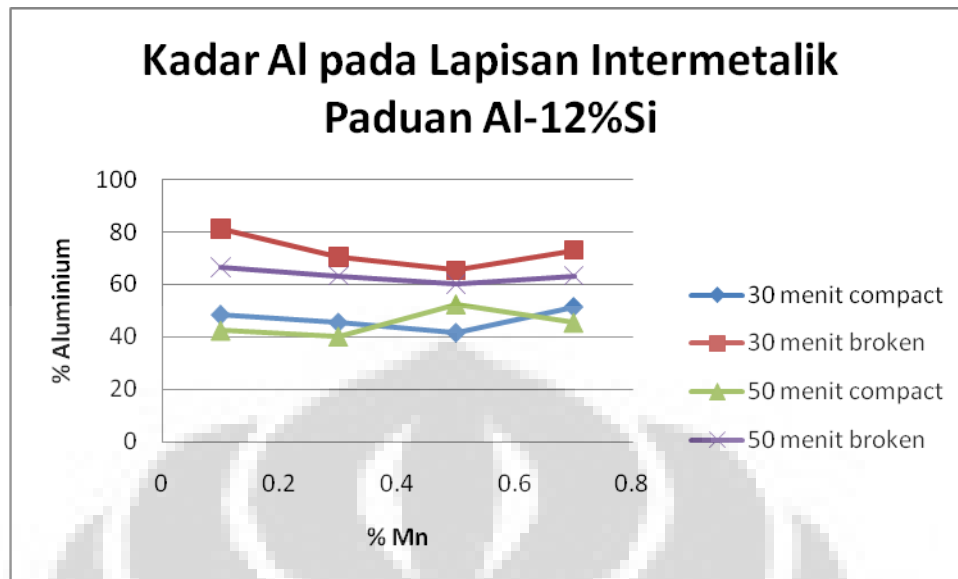
%Mn	Waktu	Lapisan	%Al	%Si	%Fe	Fasa yang terbentuk
0.1	30	compact	48.41	6.25	33.26	Fe <sub>2</sub> Al <sub>5</sub>
		broken	81.1	2.72	9.78	Al <sub>x</sub> FeySiz
	50	compact	42.45	5.74	46.82	FeAl <sub>2</sub>
		broken	66.53	12.42	5.12	Al <sub>x</sub> FeySiz
0.3	30	compact	45.47	3.05	39.6	Fe <sub>2</sub> Al <sub>5</sub>
		broken	70.32	11.82	6.31	Al <sub>x</sub> FeySiz
	50	compact	40.19	5.63	44.54	FeAl <sub>2</sub>
		broken	63.28	9.97	15.21	Al <sub>x</sub> FeySiz
0.5	30	compact	41.66	1.95	43.69	FeAl <sub>2</sub>
		broken	65.34	4.26	12.47	Al <sub>x</sub> FeySiz
	50	compact	52.3	4.38	37.23	Fe <sub>2</sub> Al <sub>5</sub>
		broken	60.15	7.29	14.76	Al <sub>x</sub> FeySiz
0.7	30	compact	51.34	6.21	29.52	Fe <sub>2</sub> Al <sub>5</sub>
		broken	73.09	5.74	7.99	Al <sub>x</sub> FeySiz
	50	compact	45.42	4.7	46.01	FeAl <sub>2</sub>
		broken	63.24	6.78	20.13	Al <sub>x</sub> FeySiz



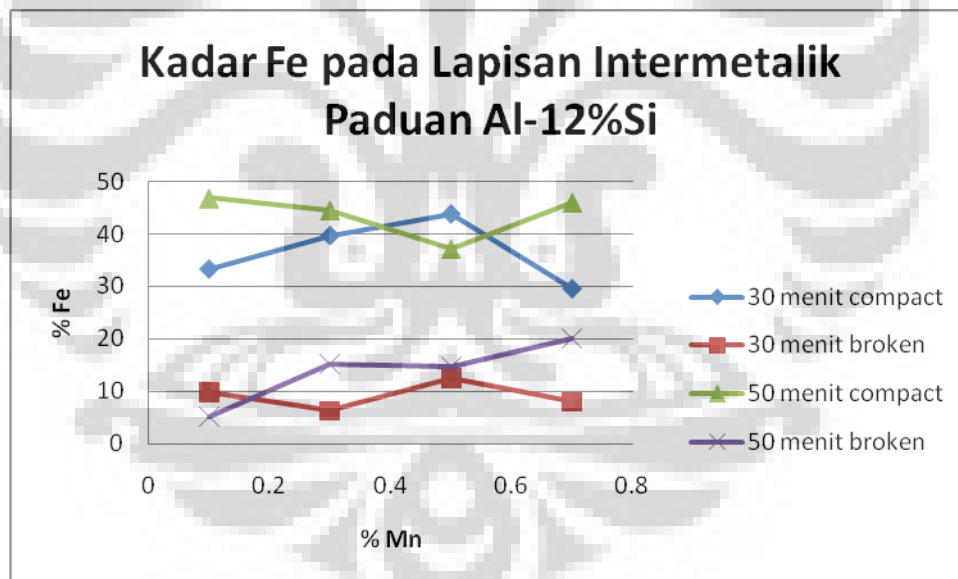
Grafik 4. 1 Grafik kadar Aluminium pada lapisan intermetalik paduan Al-7%Si



Grafik 4. 2 Grafik kadar Besi pada lapisan intermetalik paduan Al-7%Si



Grafik 4. 3 Grafik kadar Aluminium pada lapisan intermetalik paduan Al-12Si



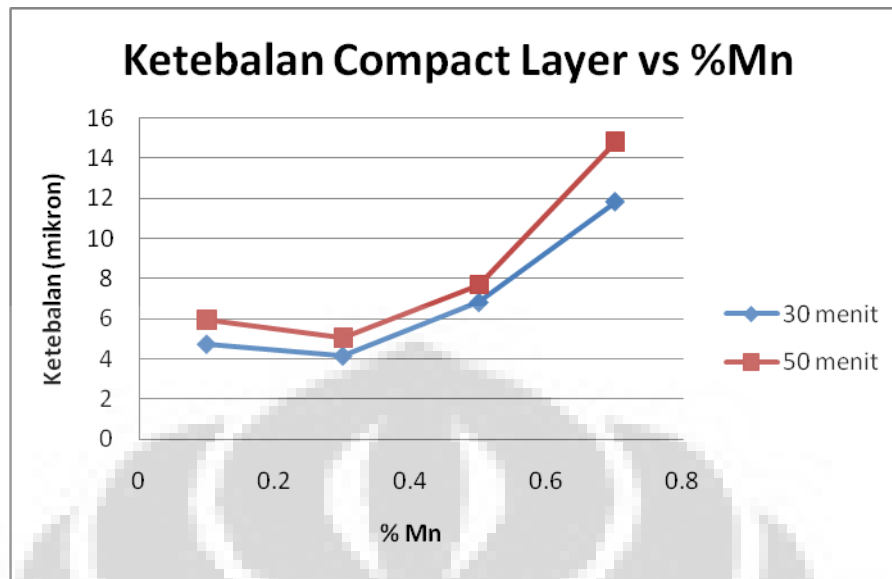
Grafik 4. 4 Grafik kadar besi pada lapisan intermetalik paduan Al-12Si

Berdasarkan Grafik 4.1 hingga Grafik 4.4 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,  $1.8 \times 10^{-4} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ <sup>[27]</sup>. 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  $\text{Fe}_2\text{Al}_5$ ) dan aluminium cair. Dimana energi aktivasi untuk difusi atom Fe pada fasa  $\text{Fe}_2\text{Al}_5$  adalah 107 kJ/mol sedangkan difusi atom Al adalah 171 kJ/mol<sup>[27]</sup> sehingga difusi Al dari aluminium cair menuju *compact layer* membentuk *broken layer* lebih mendominasi dibandingkan difusi Fe dari H13 melalui *compact layer*.

#### **4.5 Pengaruh Unsur Mangan dan Waktu Kontak Terhadap Ketebalan Lapisan Intermetalik pada Lapisan *Compact Layer* dan *Broken Layer***

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 table dalam Lampiran.

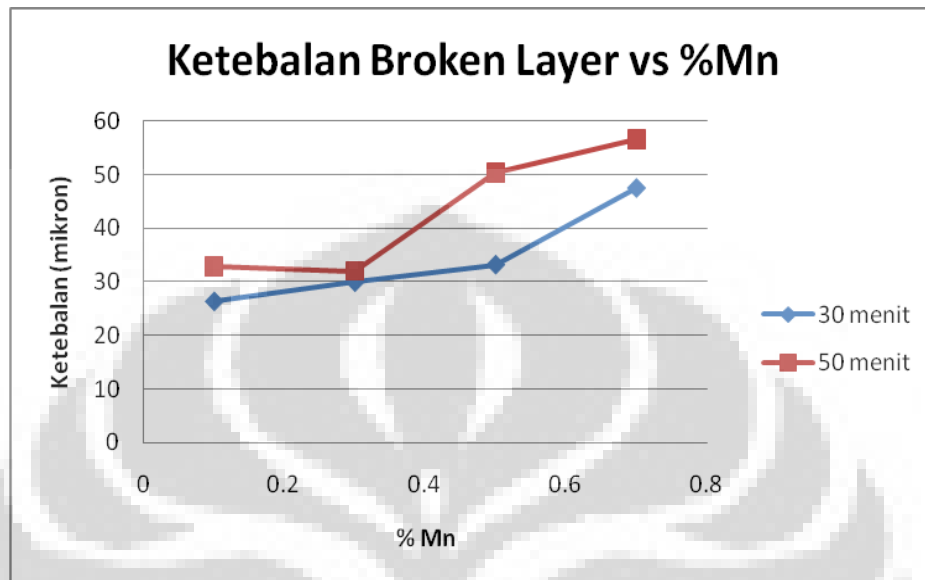


Grafik 4. 5 Data hasil penelitian pengaruh unsur Mn terhadap ketebalan *compact layer* pada paduan Al-7%Si dalam fungsi waktu

Pada Grafik 4.5 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, 4,15  $\mu\text{m}$  dan 5.06  $\mu\text{m}$  untuk waktu kontak 30 dan 50 menit berturut-turut . 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.

Berdasarkan hasil penelitian didapat kondisi efektif untuk mengurangi kecenderungan cacat *die soldering* dengan meminimalisir pembentukan *compact*

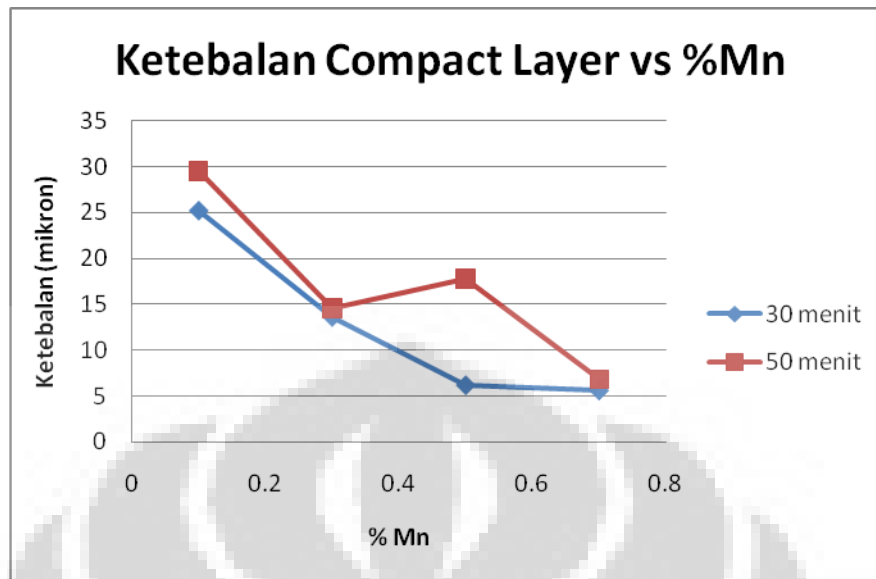
*layer* adalah pada kondisi penambahan 0.3% Mn dalam paduan Al-7%Si dengan waktu kontak 30 menit.



**Grafik 4. 6 Data hasil penelitian pengaruh unsur Mn terhadap ketebalan *broken layer* pada paduan Al-7%Si dalam fungsi waktu**

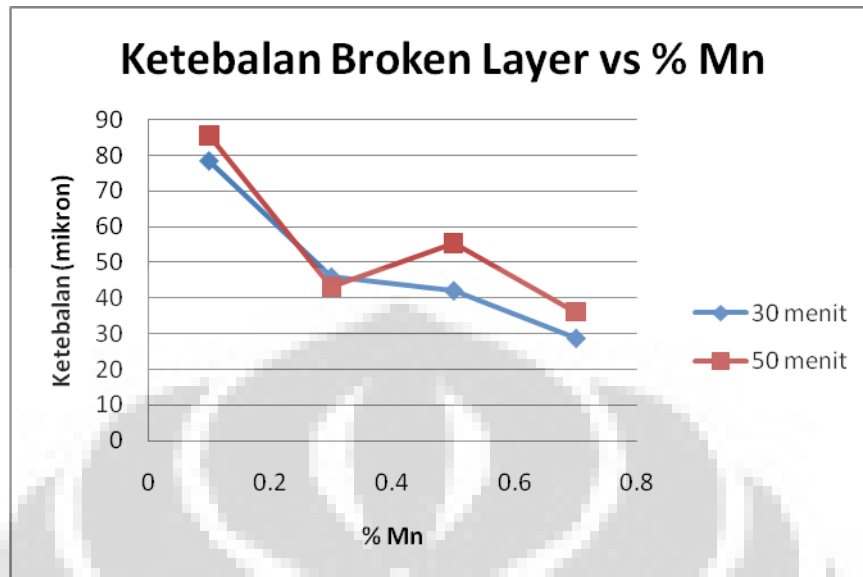
Grafik 4.6 memperlihatkan hubungan antara penambahan Mn dalam paduan Al-7%Si terhadap ketebalan *broken layer*. Seperti yang terlihat pada grafik di atas, data pada grafik tersebut cenderung meningkat seiring penambahan Mn. Tetapi, pada 0,1% dan 0,3% Mn ketebalan *broken* hampir sama. Grafik 4.6 juga memperlihatkan bahwa pada kadar 0,1, 0,3, 0,5, dan 0,7% Mn yang ditambahkan ke dalam paduan Al-7%Si, pertumbuhan *broken layer* pada permukaan H13 juga dipengaruhi oleh waktu kontak. Di mana pada waktu kontak selama 30 menit ketebalan *broken layer* lebih tipis dibanding dengan waktu kontak selama 50 menit. Hal ini sesuai dengan ketebalan *compact layer* yang menunjukkan bahwa waktu kontak selama 50 menit akan menghasilkan lapisan intermetalik yang lebih tebal.





**Grafik 4.7** Data hasil penelitian pengaruh unsur Mn terhadap ketebalan *compact layer* pada paduan Al-12%Si dalam fungsi waktu

Grafik 4.7 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. 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*. Pada Grafik 4.7 juga terdapat penyimpangan pada penambahan 0,5%Mn pada waktu kontak 50 menit. Hal ini menunjukkan bahwa pada waktu kontak 50 menit mengalami pertumbuhan lapisan intermetalik.



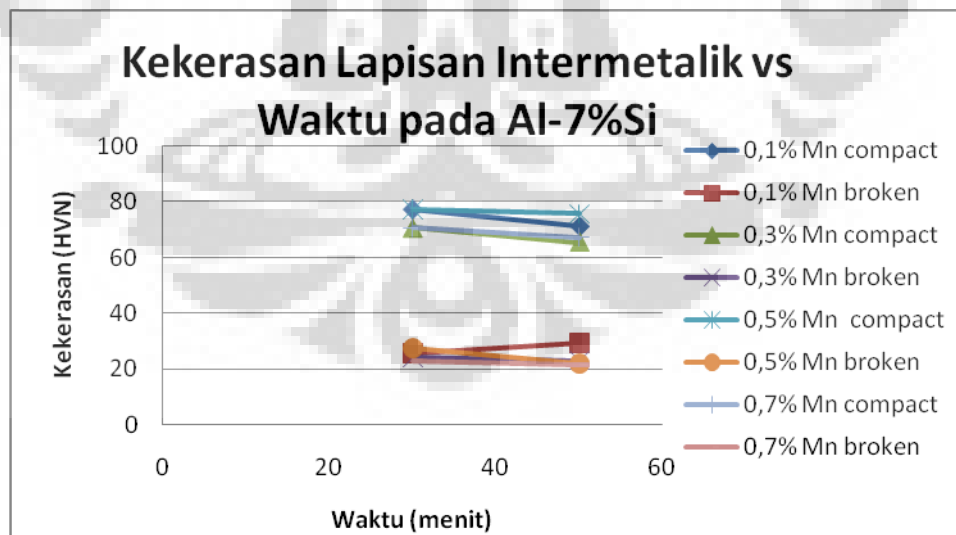
**Grafik 4. 8 Data hasil penelitian pengaruh unsur Mn terhadap ketebalan *broken layer* pada paduan Al-12%Si dalam fungsi waktu**

Grafik 4.8 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*. Tetapi, pada Grafik 4.8 menunjukkan bahwa semakin lama waktu kontak maka ketebalan lapisan intermetalik yang dihasilkan semakin meningkat. 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.

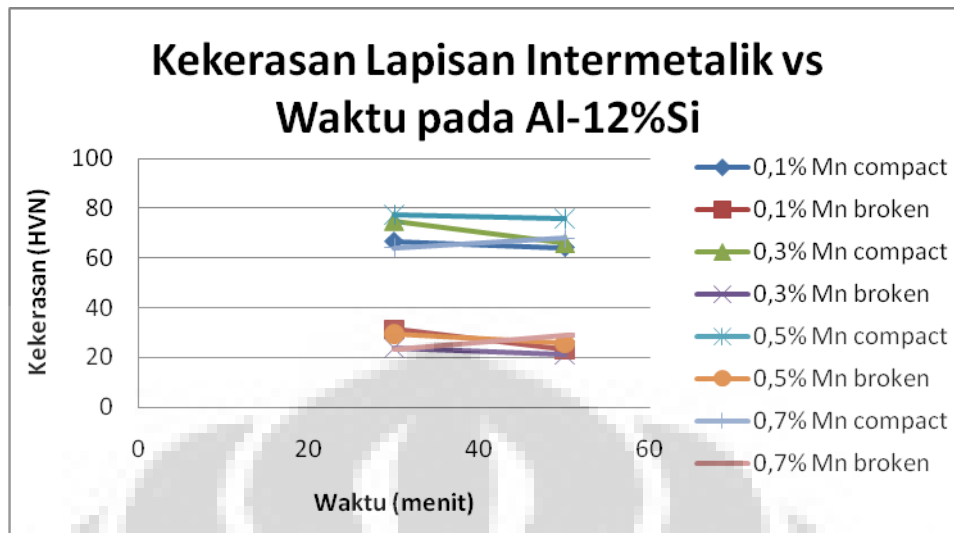
Grafik 4.5 hingga Grafik 4.8 merupakan data hasil percobaan pencelupan baja H13 pada paduan Al-7%Si dan Al-12%Si dengan variasi penambahan Mn dan waktu kontak yang berbeda. Berdasarkan keempat grafik tersebut didapat variasi

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*.

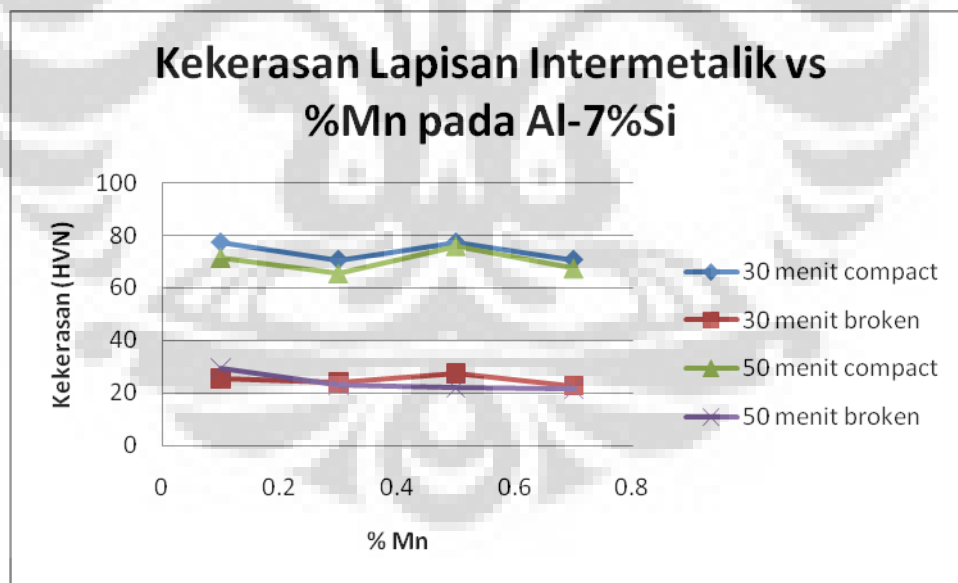
#### 4.6 Pengaruh Unsur Mangan Terhadap Sifat Mekanis Lapisan Intermetalik



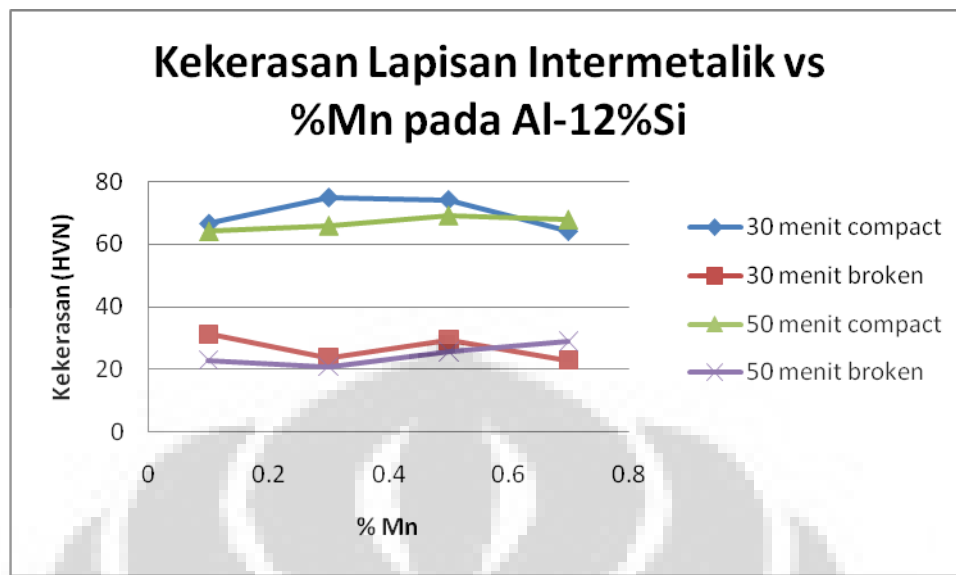
Grafik 4. 9 Data hasil penelitian pengaruh waktu kontak terhadap kekerasan lapisan intermetalik pada paduan Al-7%Si



Grafik 4. 10 Data hasil penelitian pengaruh waktu kontak terhadap kekerasan lapisan intermetalik pada paduan Al-12%Si



Grafik 4. 11 Data hasil penelitian pengaruh %Mn terhadap kekerasan lapisan intermetalik pada paduan Al-7%Si



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

Berdasarkan Grafik 4.9 hingga Grafik 4.12 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. 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 layer* maupun *broken layer*. 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 V KESIMPULAN

1. Kekerasan baja H13 yang mengalami proses perlakuan panas *normal tempering* memiliki nilai kekerasan yang lebih tinggi yaitu, 421 HVN dibanding nilai kekerasan baja H13 dalam kondisi *as annealing* yaitu, 188 HVN.
2. 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.
3. Penambahan unsur Mn dan waktu kontak tidak mempengaruhi kadar Fe dan Al yang terkandung pada lapisan intermetalik yang terbentuk serta fasa *broken layer* ataupun *compact layer* yang terbentuk.
4. Ketebalan lapisan *broken layer* rata-rata lebih tebal lima kalinya tebal lapisan *compact layer* pada Al-7%Si dan Al-12%Si.
5. Pada Al-7%Si, penambahan 0,3% Mn lapisan intermetalik yang terbentuk paling tipis dibandingkan dengan 0,5% dan 0,7% Mn, sedangkan untuk Al-12%Si pada saat penambahan 0,7% Mn dan waktu kontak 30 menit, jadi meningkatnya penambahan Mn akan menurunkan ketebalan lapisan intermetalik.
6. Kekerasan *compact layer* lebih tinggi dibandingkan kekerasan pada *broken layer*. Dimana *compact layer* memiliki kekerasan rata-rata 70 HVN dan *broken layer* 25 HVN. Penambahan unsur Mn pada Al-7%Si dan Al-12%Si tidak berpengaruh terhadap kekerasan kedua lapisan intermetalik yang terbentuk.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] W. Kajoch, A. F. (1991). Testing the Soldering Tendencies of Aluminum Die Cast Alloy. *NADCA Transaction* , 67-74.
- [2] 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*.
- [3] Q Han, S. (2003). Analysis of the Mengchanism of Die Soldering in Aluminum Die Casting. *Oak Ridge* , 1.
- [4] Y.L Chu, P. C. (1993). Soldering Phenomenon in Aluminum Die Casting : Possible Causes and Cures. *Transactions Rosemon Illinox* , 360-371.
- [5] Shankar, S. (2000). *A Study of interface REaction Mechanism Between Molten Aluminum and Ferrous Die Material*. WPI.
- [6] Sumanth Shankar, Diran Apelian. (2003). Die Soldering : Effect of Process Parameters and Alloy on Soldering in The Pressure Die Casting.
- [7] Andriyah, L. (2006). *Pengaruh Unsur Besi pada Paduan Al-7%Si teterhadap Morfologi dan Karakteristik Lapisan Intermetalik pada Fenomena Die Soldering*. Depok.
- [8] 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* .
- [9] Vika Rizkia. (2009). Pengaruh Penambahan Mangan 0,1%, 0,3%, 0,5%, dan 0,7% Dalam Paduan Al-7%Si dan Al-12%Si Terhadap Pembentukan Lapisan Intermetalik pada Fenomena *Die Soldering*.
- [10] K. Venkatesan, R. Shivpuri. (1995). Indiana Polis: Transaction of 18th International Casting Congress and Exposition.
- [11] Sumanth Shankar, Diran Apelian. (2002). Mechanism of The interface Reaction Between Molten Alluminum Alloy and Tool Steel. *Metallurgical and Material Transactions* .

- [12] Sumanth Shankar, Diran Apelian. (2002). Mechanism and Preventive Measures for Die Soldering During Al Casting in a Ferrous Mold. *JOM* .
- [13] Y.L Chu, P. C. (1993). *Soldering Phenomenon in Aluminum Die Casting : Possible Causes and Cures. Transactions Rosemon Illinox* , 360-371.
- [14] R. Shivpuri. (1991). An Evaluation of H-13 Die Steel, Surface Treatments and Coating for Wearing Die Casting Dies. *NADCA Transaction* , 391-397.
- [15] Kobayasi, S. (2002). Control of Intermetallic Compound Layers at Interface Between Steel and Aluminum by Diffusion-Treatment. *Elsevier Science* .
- [16] Sumanth Shankar, Diran Apelian. (1997). Die Soldering-A Metallurgical Analysis of The Molten Metal/Die Interface REaction. *19th nternational Die Casting Congress. NADCA Transaction*.
- [17] (n.d.).Retrieved March 24, 2010, <http://en.wikipedia.org/wiki/Intermetallic>
- [18] V. Joshi, A. Srivastava, R. Shivpuri. (2004). Intermetallic Formation and Its Relation to Interface Masss Loss and Tribology in Die Casting Die . *Science Direct* .
- [19] Davis, J. (1994). *Aluminum and Aluminum Alloys*. Ohio: ASM International.
- [20] Sahverdi, H. (2002). Kinetic of interfacial Readtin Between Solid Iron and Molten Aluminum. *Journal of Material Science* .
- [21] 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 Vol42* .
- [22] Heumann dan Dittrich (1998)
- [23] Kuijpers, N. (2000). *Intermetallic Phase Transformation During Homogenization og 6xxx Al Alloy*.
- [24] Hou Xiaoxia, *et al.*, ” *Effect of Si on The Interaction between Die Casting and Aluminium Alloy*,”
- [25] Gunawan, Dwi haryadi (2005). Pengaruh Suhu Tempering Terhadap Kekerasan Struktur Mikro dan Kekuatan Tarik pada Baja K-460.



- [26] L Lu and A K Dahle, "Iron-Rich Intermetallic Phases and Their Role in Casting Defect Formation in Hypoeutectic Al-Si Alloys", *Metallurgical and Materials Transactions*; Mid-Mar 2005; 36A, 3A; ProQuest Science Journals hal: 819.
- [27] Chen, Z. (2005). Formation and Progression of Die Soldering During High Pressure Die Casting. *Elsevier B.V.*
- [28] 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*.
- [29] Bambang Suharno, Bustanul Arifin, Rima Dimiyati, dan Sri Harjanto. (2007). Morfologi dan Karakteristik Lapisan Intermetalik Akibat Die Soldering pada Baja Cetakan (*Dies*) dalam Proses Pengecoran Tekan Paduan Aluminium Silikon.
- [30] Jenni Ria Rajagukguk. (1993). Pengaruh Perlakuan Panas Terhadap Sifat Mekanis Baja Perkakas H13
- [31] Sumanth Shankar, Diran Apelian. (1999). Soldering Tendencies of Alternate Non Ferrous Die Material. *Worcester*.
- [32] Taylor, J. (2000). The Effect of Iron in Al-Si Casting Alloy. *The University of Queensland*.
- [33] Vadim, Z. S. (2007). Casting Aluminum Alloys. *Elsevier*.
- [34] 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.

Lampiran 1. Tabel 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 30 dan 50 menit

% Mn	Waktu	Compact	Broken	Total Layer
	(menit)	(mikron)	(mikron)	(mikron)
0.1	30	4.74	26.37	31.11
	50	5.93	32.89	38.82
0.3	30	4.15	29.93	34.08
	50	5.06	32	37.06
0.5	30	6.82	33.19	40.01
	50	7.7	50.38	58.08
0.7	30	11.85	47.41	59.26
	50	14.82	56.6	71.42

Lampiran 2. Tabel 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 30 dan 50 menit

% Mn	Waktu	Compact	Broken	Total Layer
	(menit)	(mikron)	(mikron)	(mikron)
0.1	30	25.19	78.53	103.72
	50	29.54	85.64	115.18
0.3	30	13.63	45.93	59.56
	50	14.52	43.26	57.78
0.5	30	6.22	42.08	48.3
	50	17.78	55.41	73.19
0.7	30	5.63	28.74	34.37
	50	6.82	36.15	42.97

**Lampiran 3. Tabel 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 30 dan 50 menit**

%Mn	Waktu	Lapisan	x1	y1	x2	y2	D mean	HVN
0.1	30	Compact	24.5	23	26	24.5	24.5	77
		Broken	39.5	40	43.5	47.5	43	25
	50	Compact	23.5	25	26.5	27	25.5	71
		Broken	39	37	37.5	45.5	39.75	29
0.3	30	Compact	23.5	24	26.5	28.5	25.625	71
		Broken	38	41.5	47.5	48.5	43.875	24
	50	Compact	24	27.5	26.5	28.5	26.625	65
		Broken	44	47.5	43.5	44.5	44.875	23
0.5	30	Compact	25.5	23.5	26	23	24.5	77
		Broken	38.5	41	41.5	43.5	41.125	27
	50	Compact	24.5	27	23.5	24	24.75	75
		Broken	45.5	47.5	44.5	46.5	46	21
0.7	30	Compact	23.5	26.5	27	25.5	25.625	70
		Broken	44.5	46.5	43.5	46	45.125	23
	50	Compact	26.5	27	25.5	26	26.25	67
		Broken	47.5	46.5	44.5	46.5	46.25	22

**Lampiran. 4 Tabel 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 30 dan 50 menit**

<b>%Mn</b>	<b>Waktu</b>	<b>Lapisan</b>	<b>x1</b>	<b>y1</b>	<b>x2</b>	<b>y2</b>	<b>D mean</b>	<b>HVN</b>
0.1	30	Compact	25.5	27	26.5	26.5	26.375	67
		Broken	39.5	37	40	37.5	38.5	31
	50	Compact	26.5	25.5	28.5	27	26.875	64
		Broken	47.5	46	47.5	38.5	44.875	23
0.3	30	Compact	25	24.5	26.5	23.5	24.875	75
		Broken	41.5	41	46.5	47.5	44.125	24
	50	Compact	26.5	27.5	27	25	26.5	66
		Broken	46	48.5	47	46.5	47	21
0.5	30	Compact	23	26.5	24.5	26	25	74
		Broken	39	41.5	38.5	40	39.75	29
	50	Compact	26.5	25	27.5	24.5	25.875	69
		Broken	45.5	42.5	41.5	40.5	42.5	26
0.7	30	Compact	24.5	28.5	26.5	28	26.875	64
		Broken	46	48.5	40.5	44.5	44.875	23
	50	Compact	26.5	27.5	25.5	25	26.125	68
		Broken	39	40.5	38.5	42	40	29

