



UNIVERSITAS INDONESIA

**PEMBENTUKAN LAPISAN INTERMETALIK PADA
PENAMBAHAN UNSUR MANGAN 0.1%, 0.3%, 0.5%, 0.7%
DALAM PADUAN AL-7%SI DAN AL-12%SI DI MATERIAL
H13 DENGAN PERLAKUAN *OVER TEMPERING***

SKRIPSI

ANTONIUS HUTASOIT

0606074571

FAKULTAS TEKNIK

DEPARTEMEN METALURGI DAN MATERIAL

DEPOK

JULI 2010



UNIVERSITAS INDONESIA

**PEMBENTUKAN LAPISAN INTERMETALIK PADA
PENAMBAHAN UNSUR MANGAN 0.1%, 0.3%, 0.5%, 0.7%
DALAM PADUAN AL-7%SI DAN AL-12%SI DI MATERIAL
H13 DENGAN PERLAKUAN *OVER TEMPERING***

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana

ANTONIUS HUTASOIT

0606074571

FAKULTAS TEKNIK

DEPARTEMEN 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 : Antonius Hutasoit

NPM : 0606074571

Tanda Tangan :

Tanggal : 01 Juli 2010

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Antonius Hutasoit
NPM : 0606074571
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Judul Skripsi : Pembentukan Lapisan Intermetalik Pada Penambahan Unsur Mangan 0,1%, 0,3%, 0,5%, 0,7% Dalam Paduan Al-7%Si dan Al-12%Si Di Material H13 Dengan Perlakuan *Over 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 :
(Ir. Sri Harjanto, Ph.D.)

Penguji :
(Ir.Abdul Hay, M.T)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 01 Juli 2010

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat – Nya, penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik jurusan Metalurgi dan Material pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Penelitian dan pengujian dilakukan sebagai bentuk aplikatif ilmu yang telah diterima selama di bangku kuliah. Dengan skripsi ini, diharapkan penulis semakin siap terjun ke dunia kerja sebagai Sarjana Teknik. Skripsi ini mengambil tema *Die soldering* dengan judul Pembentukan Lapisan Intermetalik Pada Penambahan Unsur Mangan 0.1%, 0.3%, 0.5%, 0.7% Dalam Paduan Al-7%Si dan Al-12%Si Di Material H13 Dengan Perlakuan *Over Tempering*.

Skripsi ini berisi penelitian serta pengujian yang dilakukan untuk 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. 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. 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.

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

1. Prof. Dr-Ing. Ir. Bambang Suharno, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan penulis dalam penyusunan skripsi ini.
2. Ir.Abdul Hay, M.T, selaku pembimbing skripsi penulis.
3. Ir. Ahmad Herman Yuwono, Phd, selaku Koordinator Kerja Praktik Departemen Metalurgi dan Material FTUI

4. Kedua orang tua tercinta di rumah (J.Hutasoit dan O.R.Simbolon), yang telah memberikan bantuan dukungan moral dan material.
5. 3 wanita pemberi semangat dalam menyelesaikan skripsi ini (Evalina, Indah Kristina, dan Vinke pauline).
6. Habib Muntadzar, senang berpartner dengan kau kawan
7. Vika Rizkia dan Adi hersuni, terimakasih sudah mau berbagi ilmu dan pengalamannya
8. Zakiyuddin, makasih atas bantuannya dalam pengujian SEM dan EDS
9. Teman – teman seperjuangan di Metalurgi dan Material Angkatan 2006 secara khusus untuk Marcel, Fahmi, Remon, Namet, Satrio, Yudha, Ricad makasih atas bantuan yang telah kalian berikan.
10. Dan kawan – kawan seperjuangan lainnya, yang telah mengukir kenangan indah di Metalurgi dan Material. Semoga apa yang kita perjuangkan ini berbuah manis nantinya. Amin. Terima kasih banyak, kawan.

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

Depok, Juni 2010

Antonius Hutasoit

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

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

Nama : Antonius Hutasoit
NPM : 0606074571
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:

**Pembentukan Lapisan Intermetalik Pada Penambahan Unsur Mangan 0.1%,
0.3%, 0.5%, 0.7% Dalam Paduan Al-7%Si dan Al-12%Si Di Material H13
Dengan Perlakuan *Over 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 : 01 Juli 2010

Yang menyatakan

(Antonius Hutasoit)

Nama : Antonius Hutasoit
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Judul : Pembentukan Lapisan Intermetalik Pada Penambahan Unsur Mangan 0.1%, 0.3%, 0.5%, 0.7% Dalam Paduan Al-7%Si dan Al-12%Si Di Material H13 Dengan Perlakuan *Over Tempering*

ABSTRAK

Teknik pengaplikasian dari aluminium yang cukup menyita perhatian adalah penggunaan dari material aluminium dalam proses *die casting*. 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 dengan logam cair. 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.

Dalam penelitian ini sampel yang digunakan baja H13 dengan perlakuan *over tempering* (suhu temper 600⁰C) 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 700⁰C. Dalam penelitian ini dihasilkan pembentukan dua lapisan intermetalik pada permukaan baja H13, yaitu *compact layer* yang merupakan fasa padat, dan *broken layer* yang merupakan fasa semi padat.

Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa Baja H13 dengan perlakuan *normal tempering* (suhu temper 550⁰ C) memiliki kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan dengan baja H13 dengan perlakuan *over tempering* (suhu temper 600⁰C) dan baja H13 dengan kondisi *annealed*. penambahan unsur Mn pada Al-7%Si dan Al-12%Si tidak berpengaruh terhadap kekerasan pada lapisan intermetalik. Kekerasan *compact layer* lebih tinggi dibandingkan dengan kekerasan pada *broken layer*. Kemudian hasil penelitian yang juga didapat yaitu semakin tinggi kadar dari Mn maka kecenderungan dari *compact layer* dan *broken layer* pada paduan Al-12%Si dan Al-7%Si akan berkurang.

Kata Kunci :

Die casting, aluminium, die soldering, baja H13, normal tempering, over tempering

Name : Antonius Hutasoit
Study program : Teknik Metalurgi dan Material
Title : Intermetallic Layer Formation In Addition Elements Mangan 0.1%, 0.3%, 0.5%,0.7% In alloy Al-7% Si and Al-12% Si in Material Tempering H13 With Over Treatment

ABSTRACT

Engineering application for aluminum sufficient attention is uses for aluminum in the die casting process. More can be manufactured using a mold, then lower the production cost. Therefore, shelf life of a mold is an important factor in the die casting process. But on the other hand there is constraint on the cost of die casting mold which is relatively high, reaching 20% for total production cost on the aluminum die casting industry. Besides, there is another obstacle in a die casting mold which can lower productivity is the existence of mold damage caused by the die soldering is the cause is direct contact with molten metal surface. Die soldering is the occurrence of the phenomenon of high kinetic reaction between iron and aluminum, where the iron has a very high affinity to the aluminum so that the resulting liquid to the surface attachment of the aluminum mold material.

In this research, samples used for H13 steel treated with over-tempering (tempering temperature 600°C) dipped into the molten in the alloy Al-7% Si and Al-12% Si containing 0.1%, 0.3%, 0.5% and 0.7% Mn with contact time 30 and 50 minutes at a temperature of 700°C. Results In this research, formation of two intermetallic layer on the surface of H13 steel, the compact layer which is a solid phase, and broken layer, which is a semi-solid phase.

Results from this research showed that treatment of normal H13 steel tempering (tempering temperature of 550°C) has a higher hardness than the H13 steel treated with over-tempering (tempering temperature 600°C) and H13 steel with annealed condition. And the addition of Mn element in Al-7% Si and Al-12% Si no effect on the violence in the intermetallic layer. Compact layer hardness is higher compared with the violence in the broken layer. Later research also shows that the higher the concentration of Mn has a tendency of the compact layer on the alloy Al-12% Si and Al-7% Si will be reduced.

Keywords:

Die casting, aluminum, die soldering, H13 steel, normal tempering, over tempering

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Tujuan Penelitian	2
I.3 Ruang Lingkup Penelitian	2
I.4 Pengujian	3
I.5 Manfaat Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
II.1 Die Soldering	4
II.1.1 Mekanisme Die Soldering	6
II.1.2 Faktor-faktor yang mempengaruhi Die Soldering	10
II.1.3 Paduan Aluminium Silikon	12
II.1.4 Pengaruh unsur mangan terhadap pembentukan lapisan intermetalik	14

II.2. H13 Toolsteel.....	15
II.2.1 Karakteristik AISI H13	15
II.2.2 Anneling AISI H13	16
II.2.3 Tempering AISI H13	17
II.2.4 Proses perlakuan normal tempering	18
II.2.5 Proses perlakuan over tempering	19
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	20
III.1. Diagram Alir Penelitian	20
III.2. Alat dan Bahan	22
III.3. Prosedur Penelitian	25
III.3.1 Preparasi Bahan	25
III.3.2 Persiapan sampel.....	26
III.3.3 Percobaan Die Soldering	27
III.4 Pengujian	29
III.4.1 Persiapan sampel pengujian	29
III.4.2 Pengujian SEM dan EDS	31
III.4.3 Pengujian Microhardness	31
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	32
IV.1 Data hasil pengujian kekerasan vickers H13	32
IV.2 Pengaruh Unsur Mangan Terhadap Sifat Mekanis Lapisan Intermetalik	33
IV.2.1 Data Hasil Pengujian Kekerasan Lapisan Intermetalik	34
IV.2.2 Data Hasil Pengujian ketebalan Lapisan Intermetalik	39
IV.3 Data hasil pengujian SEM/ EDS	44
IV.4 Pengaruh Unsur Mangan dan Waktu Kontak Terhadap Fasa Intermetalik Yang Terbentuk	46
BAB V KESIMPULAN	49

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Ilustrasi lingkungan yang terjadi selama proses die casting	5
Gambar 2.2	Mekanisme Die Soldering	6
Gambar 2.3.	Daerah intergranular yang disebabkan oleh erosi aluminium cair pada batas butir sekitar permukaan cetakan	7
Gambar 2.4	Mikrostruktur dari sampel aluminium	7
Gambar 2.5	Pitting awal dan terbentuknya fasa intermetalik biner	8
Gambar 2.6	Lapisan intermetalik berbentuk piramid ditemukan pada permukaan cetakan	9
Gambar 2.7	Pertumbuhan awal lapisan intermetalik berbentuk piramid.....	9
Gambar 2.8	Fotomikro yang menunjukkan pit	10
Gambar 2.9	Diagram Fasa Al-Si	13
Gambar 2.10	Perubahan diagram fasa AlFeSi akibat adanya pengaruh Mn	15
Gambar 3.1	Diagram alir <i>master alloy</i> Al-7%Si	20
Gambar 3.2	Diagram alir <i>master alloy</i> Al-12%Si	21
Gambar 3.3	Penampang dapur holding	22
Gambar 3.4	SEM yang dilengkapi dengan EDS	23
Gambar 3.5	Dimensi sampel setelah dipotong dengan gergaji mesin	26
Gambar 3.6	Skema dapur holding	29
Gambar 4.1	Foto Mikrostruktur H13 perbesaran 200x (a) As Annealed; (b) Over Tempering	33
Gambar 4.2	Data hasil penelitian pengaruh waktu kontak terhadap kekerasan lapisan intermetalik pada paduan Al-12%Si	35
Gambar 4.3	Data hasil penelitian pengaruh waktu kontak terhadap kekerasan lapisan intermetalik pada paduan Al-7%Si	36
Gambar 4.4	Data hasil penelitian pengaruh %Mn terhadap kekerasan lapisan intermetalik pada paduan Al-12%Si	36

Gambar 4.5	Data hasil penelitian pengaruh %Mn terhadap kekerasan lapisan intermetalik pada paduan Al-7%Si	37
Gambar 4.6	Data hasil penelitian pengaruh unsur Mn terhadap ketebalan <i>compact layer</i> pada paduan Al-12%Si dalam fungsi waktu	40
Gambar 4.7	Data hasil penelitian pengaruh unsur Mn terhadap ketebalan <i>broken layer</i> pada paduan Al-12%Si dalam fungsi waktu	41
Gambar 4.8	Data hasil penelitian pengaruh unsur Mn terhadap ketebalan <i>compact layer</i> pada paduan Al-7%Si dalam fungsi waktu	42
Gambar 4.9	Data hasil penelitian pengaruh unsur Mn terhadap ketebalan <i>broken layer</i> pada paduan Al-7%Si dalam fungsi waktu	43
Gambar 4.10	Data hasil penelitian pengaruh unsur Mn terhadap ketebalan <i>total layer</i> pada paduan Al-12%Si dalam fungsi waktu	43
Gambar 4.11	Data hasil penelitian pengaruh unsur Mn terhadap ketebalan <i>total layer</i> pada paduan Al-7%Si dalam fungsi waktu	44
Gambar 4.12	Lapisan intermetalik yang terbentuk hasil pencelupan baja H13 ke dalam paduan Al7%Si dengan kandungan 0,5%Mn selama 30 menit	45
Gambar 4.13	Diagram Fasa Fe-Al	48

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Hasil pengujian kekerasan awal pada baja H13	32
Tabel 4.2	Hasil pengujian kekerasan pada baja H13 dengan perlakuan <i>normal tempering</i>	32
Tabel 4.3	Hasil pengujian kekerasan pada baja H13 dengan perlakuan <i>over tempering</i>	32
Tabel 4.4	Hasil pengujian kekerasan lapisan intermetalik H13 <i>over tempering</i> pada saat dicelup di Al12%Si	34
Tabel 4.5	Hasil pengujian kekerasan lapisan intermetalik H13 <i>over tempering</i> pada saat dicelup di Al-7%Si	34
Tabel 4.6	Hasil pengujian ketebalan lapisan intermetalik H13 <i>over tempering</i> pada saat dicelup di Al-12%Si	38
Tabel 4.7	Hasil pengujian ketebalan lapisan intermetalik H13 <i>over tempering</i> pada saat dicelup di Al-7%Si	39
Tabel 4.8	Unsur yang terkandung di dalam lapisan intermetalik paduan Al-12%Si	47
Tabel 4.9	Unsur yang terkandung di dalam lapisan intermetalik paduan Al-7%Si	47

BAB I

PENDAHULUAN

I.1. LATAR BELAKANG

Aluminium yang merupakan salah satu logam non-ferrous menjadi material yang penting di dunia industri. 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 sangat kuat dan tahan lama, membuat pemakaian material aluminium berprospek cerah 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*⁽¹⁾. 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 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⁽²⁾. Mekanisme dari proses terjadinya *die soldering* bergantung

pada difusi dan reaksi kimia dari unsur yang terdapat pada cetakan logam cair⁽³⁾. 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⁽⁴⁾. Oleh karena itulah industri dapat menghemat bahan baku apabila efisiensi dari proses pengecoran dapat ditingkatkan dengan cara meminimalisir efek dari *die soldering*.

I.2. TUJUAN PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan :

- 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.

I.3. RUANG LINGKUP PENELITIAN

Material yang digunakan pada penelitian ini adalah :

1. Bahan baku yang digunakan adalah Master Alloy Al-7% Si dan Al-12% Si
2. Material yang diuji adalah Tool Steel H13 dengan perlakuan over tempering
3. Penambahan Mn dengan menggunakan Al-80% Mn yang mempunyai kadar sebesar mengandung 0,1% ; 0,3% ; 0,5% ; 0,7%
4. Temperatur holding adalah:

- a. Untuk paduan Al-7%Si adalah 700⁰C dengan waktu 30 dan 50 menit
- b. Untuk paduan Al-12%Si adalah 700⁰C dengan waktu 30 dan 50 menit

I.4. 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)*.

I.5. MANFAAT PENELITIAN

Penelitian ini 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.

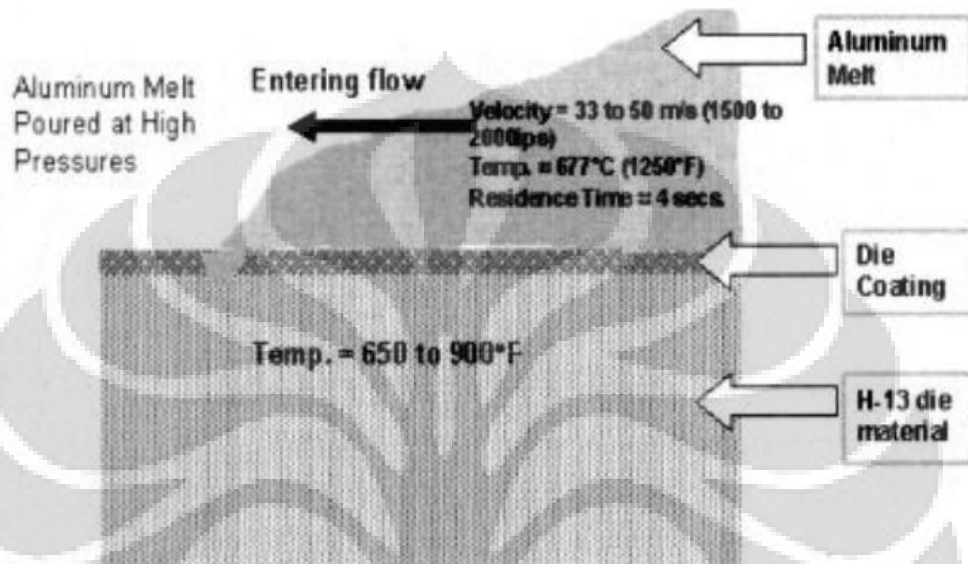
BAB II TINJAUAN PUSTAKA

II.1 DIE SOLDERING

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⁽⁵⁾. Ada 2 tipe *soldering*, pertama terjadi pada temperatur tinggi yang mengacu pada reaksi kimia antara aluminium cair dan cetakan, tipe yang kedua adalah yang terjadi pada temperatur rendah karena adanya interaksi mekanik. *Die soldering* merupakan hasil dari reaksi yang terjadi pada permukaan antara aluminium cair dan cetakan selama aluminium cair memasuki cetakan pada temperatur tinggi. Tipe *soldering* ini sangat berkaitan erat dengan fenomena *washout* dari lapisan tipis yang melindungi permukaan cetakan. *Washout* terjadi ketika aluminium cair masuk ke cetakan dengan kecepatan tinggi dan merusak lapisan protektif (pelumas atau *coating*) yang ada pada permukaan cetakan.

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. Fenomena *die soldering* sangat berkaitan erat dengan fenomena perusakan dari lapisan tipis yang melindungi permukaan cetakan. Logam cair yang dimasukkan ke dalam gate pada *die* dengan tekanan tinggi (*die casting*) dengan siklus pengecoran pada umumnya kurang dari satu menit. Sehingga, permukaan *die* akan mengalami pemasukkan aluminium cair dan terjadi keausan. Hal ini menyebabkan terjadinya kerusakan pada *coating* permukaan *die* dan lubrikannya⁽⁶⁾. Oleh sebab itu, aluminium cair akan kontak langsung pada permukaan cetakan. Selanjutnya besi yang terkandung pada cetakan larut kedalam 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⁽⁷⁾.



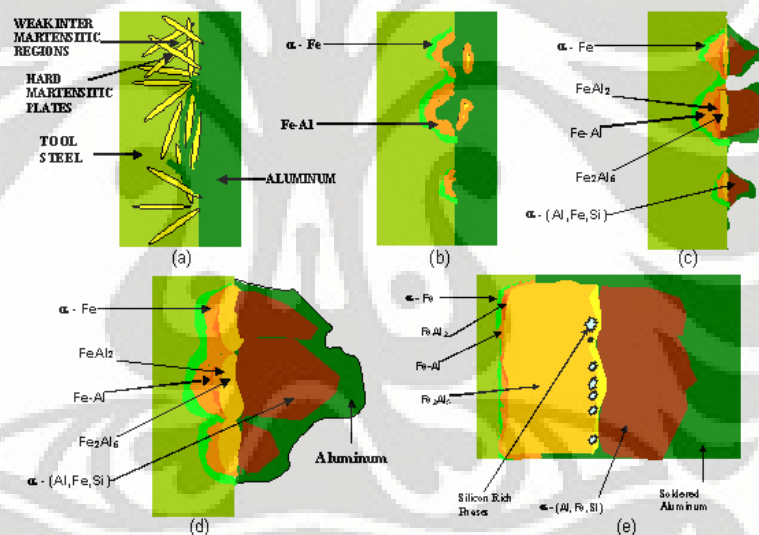
Gambar 2.1 Ilustrasi lingkungan yang terjadi selama proses *die casting*⁽⁸⁾.

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⁽⁹⁾. Saat lapisan fasa intermetalik biner dan terner terbentuk pada material *die*, aluminium menempel pada *die* akibatnya adanya konduktivitas termal yang sangat rendah pada fasa intermetalik dan adanya energi *interface* antara lapisan intermetalik dan aluminium⁽¹⁰⁾. Lapisan senyawa intermetalik FeAl yang terbentuk pada kondisi tersebut diatas umumnya FeAl₃ dan Fe₂Al₅. Awalnya terbentuk lapisan FeAl₃ pada interface antara substrat aluminium dan baja dengan cara difusi atom besi menuju aluminium, kemudian lapisan Fe₂Al₅ terbentuk pada interface antara lapisan FeAl₃ dan baja. Telah diteliti sebelumnya bahwa pertumbuhan lapisan Fe₂Al₅ merupakan proses difusi dengan energi aktivasi untuk pertumbuhannya adalah 155 kJ mol⁻¹ pada rentang temperatur 943 hingga 1073 K. Pertumbuhan lapisan intermetalik FeAl dengan komposisi aluminium yang tinggi tergantung

dari koefisien difusi antara substrat baja dan aluminium cair. Dimana koefisien difusi dari besi menuju aluminium adalah $53 \times 10^{-4} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$, lebih besar dari koefisien difusi dari aluminium menuju besi $1,8 \times 10^{-4} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$. Sebagai tambahan, laju pertumbuhan lapisan intermetalik menurun dengan adanya peningkatan kandungan karbon dalam substrat baja, dan ditahan oleh adanya atom silikon⁽¹¹⁾.

II.1.1 Mekanisme Die Soldering

Mekanisme terjadinya *soldering* bergantung pada difusi dan reaksi kimia dari unsur yang terdapat pada cetakan dan logam cair⁽¹²⁾. Menurut Shankar, *soldering* merupakan reaksi difusi besi yang terkandung pada cetakan, masuk ke dalam aluminium cair, bereaksi membentuk lapisan intermetalik⁽¹³⁾.



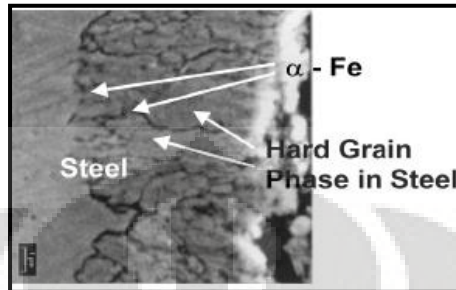
Gambar 2.2 Mekanisme Die Soldering⁽¹⁴⁾

Gambar 2.2 diatas menjelaskan reaksi yang terjadi antara aluminium dan cetakan. Reaksi tersebut terdiri dari 5 tahapan, 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

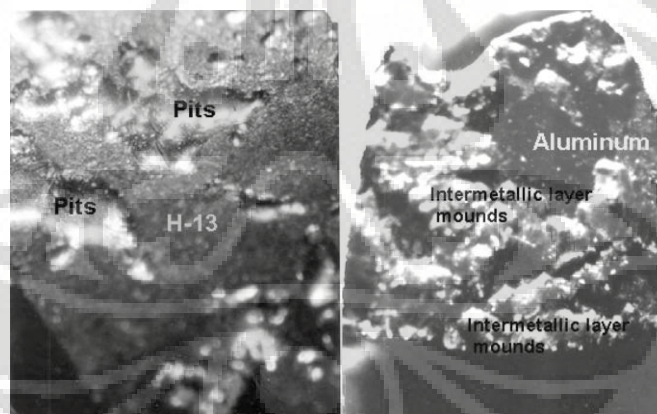
karbida yang merupakan daerah intergranular. Ketika aluminium mengerosi daerah lunak pada permukaan cetakan, menghasilkan terbentuknya *Fe-solid solution* (α -Fe) pada aluminium cair seperti yang terlihat pada Gambar 2.4⁽¹⁵⁾.



Gambar 2.3 Daerah intergranular yang disebabkan oleh erosi aluminium cair pada batas butir sekitar permukaan cetakan⁽¹⁵⁾

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

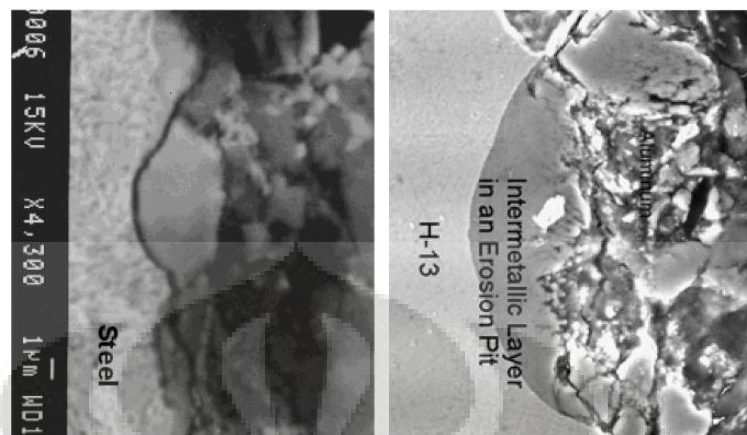


Gambar 2.4 Mikrostruktur dari sampel aluminium A380 yang mengalami pelengketan pada cetakan H13. (Kiri) Foto makro (50X) menunjukkan pit erosi pada permukaan H-13 (Kanan) Bagian dari sampel (kiri) dimana ditemukan aluminium yang lengket pada permukaan cetakan⁽¹⁵⁾

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

Selanjutnya, pada permukaan pit tersebut, fasa biner seperti FeAl , FeAl_2 , Fe_2Al_5 , dan FeAl_3 terbentuk. Pembentukan berturut-turut lapisan biner tersebut merupakan akibat dari reaksi tiap fasa yang terbentuk dengan

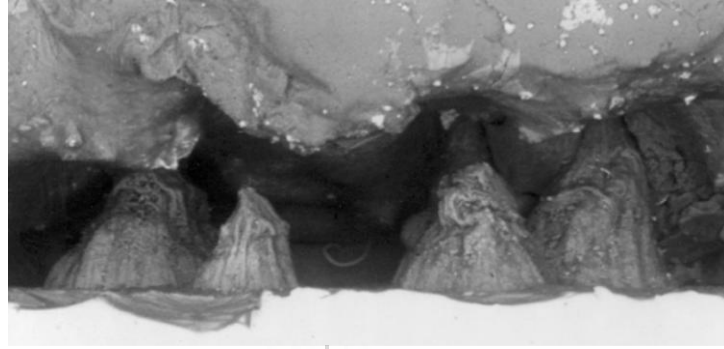
aluminium cair baru yang terus berlanjut. Hal ini ditunjukkan pada Gambar 2.4⁽¹⁵⁾.



Gambar 2.5 Pitting awal dan terbentuknya fasa intermetalik biner⁽¹⁵⁾

Dalam tahap selanjutnya, fasa FeAl_3 bereaksi dengan aluminium dan silikon dalam paduan aluminium cair untuk membentuk fasa terner $\alpha\text{-(Al,Fe,Si)}$. 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_2Al_5 . Selain itu, presipitat silikon juga ditemukan pada batas antara fasa biner dan terner⁽¹⁶⁾.

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⁽¹⁵⁾.



Gambar 2.6 Lapisan intermetalik berbentuk piramid ditemukan pada permukaan cetakan⁽¹⁵⁾.

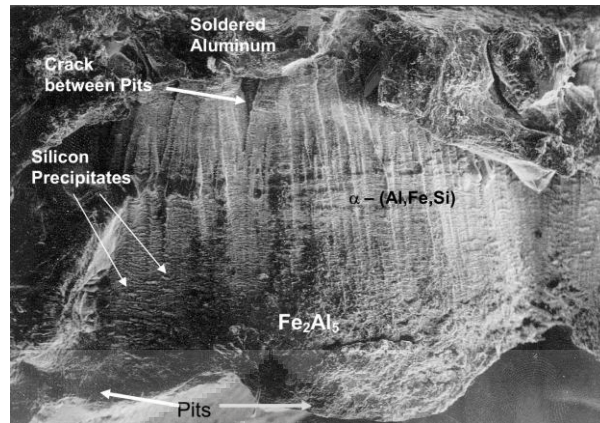
4. Penggabungan struktur piramid dari fasa intermetalik yang ada pada permukaan cetakan

Produk reaksi terakhir antara besi dan paduan aluminium cair adalah pembentukan fasa α -(Al,Fe,Si). Sesaat setelah lapisan intermetalik piramid terbentuk pada permukaan cetakan, aluminium berlebih menempel pada piramid, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.7⁽¹⁵⁾.



Gambar 2.7 Pertumbuhan awal lapisan intermetalik berbentuk piramid⁽¹⁵⁾

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 2.7⁽¹⁵⁾.



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⁽¹⁵⁾.

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 2.8 juga menunjukkan retak yang terbentuk antara lapisan intermetalik piramid⁽¹⁶⁾.

II.1.2 Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi *Die Soldering*⁽¹⁷⁾

a. Temperatur antara logam cair dan cetakan

Temperatur logam cair merupakan faktor penting dalam menciptakan *hot spots* pada permukaan cetakan. Shankar, pada penelitiannya menemukan temperatur holding dari logam cair pada 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.

b. Sifat dan karakteristik dari paduan logam dan lapisan intermetalik

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

c. Lubrikasi dan pelapisan (*coating*) cetakan

Tujuan utama diaplikasikannya pelumas atau *coating* adalah untuk membuat sebuah pemisah antara logam cair dan permukaan cetakan. Hal ini akan mengurangi kecenderungan terjadinya *soldering* dengan

mencegah kontak antara logam cair dan cetakan. Agar pemisahan logam cair dari permukaan cetakan berlangsung efektif, maka pelumas harus membentuk lapisan film pada permukaan cetakan. Lapisan ini harus benar-benar melekat pada permukaan cetakan dan cukup kuat untuk menahan serangan dari panas yang berasal dari logam cair. Selain itu, lapisan ini harus *uniform* dan menutupi seluruh permukaan, terutama di daerah dimana *soldering* biasa terjadi.

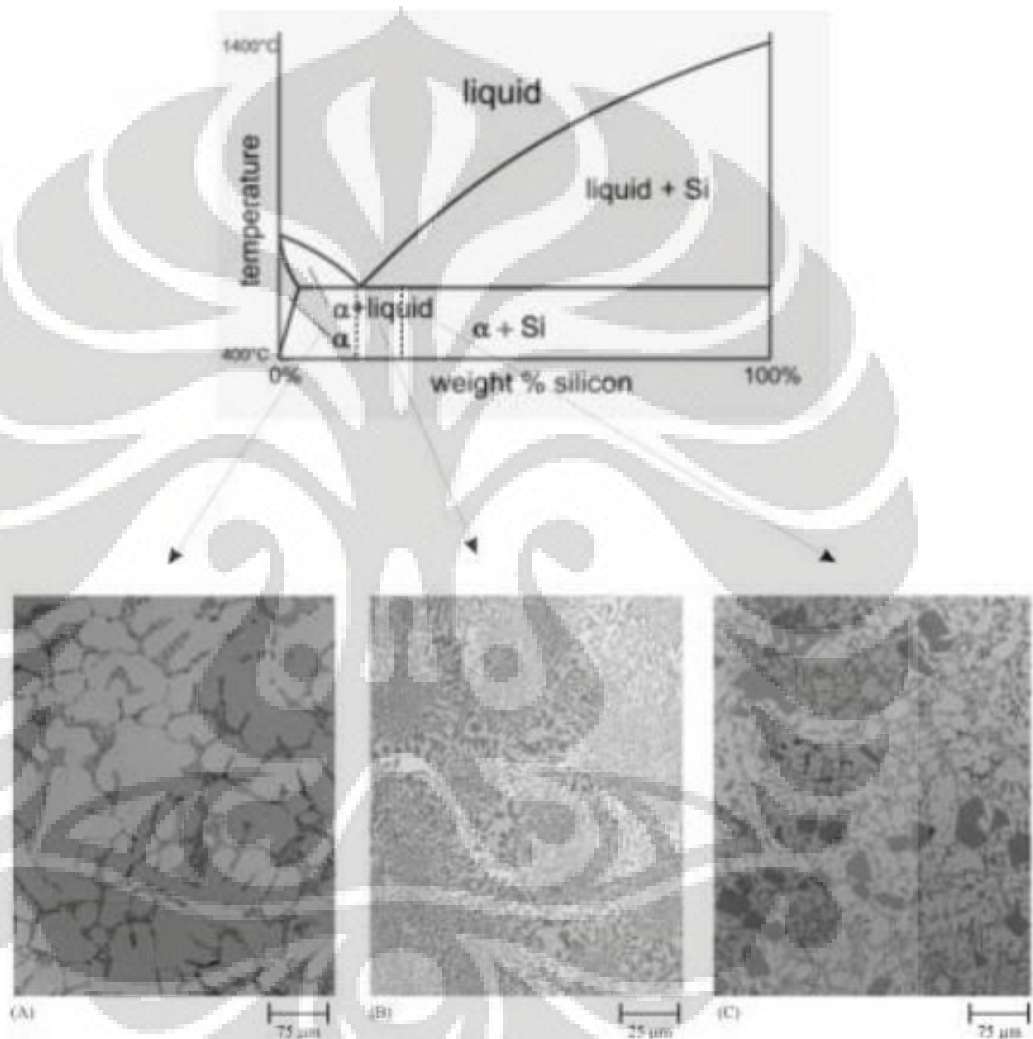
d. Karakteristik cetakan dan parameter operasi

Bagian yang tebal pada cetakan merupakan daerah potensial untuk terjadinya *die soldering*. Penggunaan molybdenum, selain baja H13, membantu mengurangi *soldering*, namun molybdenum lebih mahal dan lebih lunak dibandingkan baja H13 sehingga umur pakainya lebih singkat. Pembentukan lapisan tipis *soldering* akan memperkasas 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*.

II.1.3. Paduan Aluminium-Silikon

Paduan aluminium-silikon merupakan paduan yang paling umum digunakan karena karakteristik cor dari paduan ini sangat baik digunakan dibandingkan dengan paduan aluminium lainnya. Unsur-unsur paduan utama pada Al-Si adalah Si, Cu, Mg dan Zn, sedangkan unsur paduan yang bersifat minor adalah Fe, Mn, Ti, Pb, Sn, Cr dan Ni. Ciri khas dari paduan ini adalah eutektik terbentuk antara aluminium dan silikon pada kadar silikon 11.5-12%⁽¹⁸⁾.

Paduan aluminum silikon memiliki daerah sistem biner mulai dari yang sederhana sampai pada sistem paduan yang lebih kompleks. Secara garis besar, paduan aluminum silikon dibagi menjadi tiga daerah utama, yaitu komposisi hipoeutektik, komposisi eutektik, dan komposisi hipereutektik seperti yang diperlihatkan oleh Gambar 2.9 di bawah ini .



Gambar 2.9 Diagram Fasa Al-Si ⁽¹⁹⁾

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

Selain fasa α -Al, juga terdapat fasa β , yang merupakan partikel-partikel silikon yang tidak larut dalam fasa α -Al. Pada paduan hipereutektik, fasa tersebut menghasilkan silikon primer yang bentuknya relatif kasar. Terkadang bentuk ini juga dapat ditemui pada paduan eutektik⁽²⁰⁾.

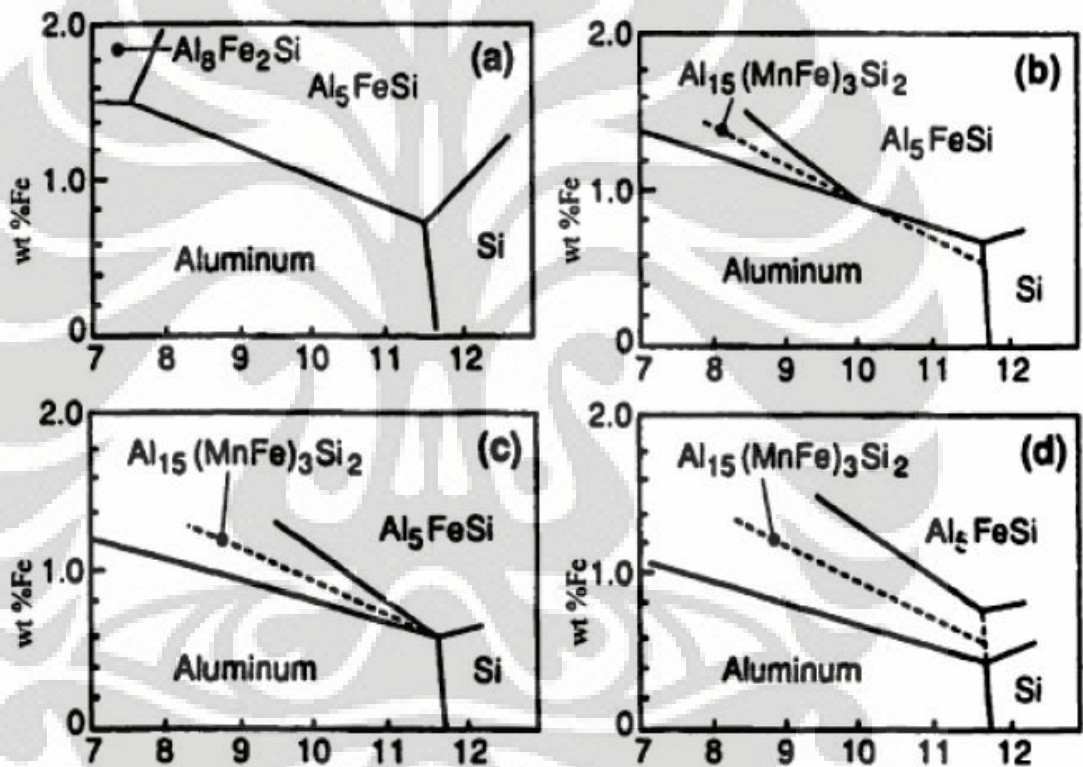
Pada komposisi hipoeutektik, terdapat kandungan silikon sekitar 5-10%. Pada daerah ini, pembekuan terjadi melalui fasa cair-solid. Struktur akhir dari komposisi ini adalah struktur yang kaya aluminum, sebagai fasa utamanya adalah fasa α dengan struktur eutektik sebagai struktur tambahan⁽²¹⁾. Komposisi eutektik merupakan daerah dimana paduan Al-Si dapat membeku secara langsung dari fasa cair ke fasa solidnya. Proses pembekuan yang berlangsung menyerupai proses pembekuan logam murni, dimana temperatur awal dan temperatur akhir peleburan adalah sama (*isothermal*). Adanya struktur eutektik ini yang mengakibatkan paduan aluminum silikon memiliki karakteristik mampu cor yang baik. Komposisi ini memiliki kandungan silikon sekitar 11-13%⁽²²⁾. Untuk komposisi hipereutektik, kandungan silikonnya berada diatas 14-20%, sehingga komposisi ini memiliki struktur yang kaya akan silikon dengan fasa eutektik sebagai struktur tambahan. Tiap-tiap unsur yang terkandung pada paduan Al-Si akan memberikan pengaruh tersendiri terhadap pembentukan fasa intermetalik.

II.1.4. 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.

Mangan adalah salah satu unsur paduan yang sering dipergunakan dalam pengecoran aluminium. Kelarutan mangan pada aluminium, sebesar 1.82% wt pada temperatur 658°C. Penambahan mangan pada aluminium, meningkatkan kekuatan, kekerasan, ketahanan temp tinggi dan ketahanan korosi. Penambahan mangan juga membantu mengurangi daya adhesi dari logam cair ke cetakan. Tanpa adanya mangan pada aluminium, cairan akan lebih lengket

dengan cetakan meskipun cetakan mempunyai berbentuk sederhana. Berdasarkan penelitian, kemampuan cairan logam lepas dari cetakan akan meningkat dengan penambahan Mn pada batas minimal 0.4%⁽²³⁾. Penambahan mangan menurunkan afinitas Al-Si terhadap Fe, terlihat pada diagram fasa Al-Fe-Si dengan penambahan Mn pada Gambar 2.10. 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 2.10 Perubahan diagram fasa AlFeSi akibat adanya pengaruh Mn a)0%Mn, b)0.1%Mn, c)0.2%Mn, d)0.3%Mn^[24]

II.2 H13 TOOLSTEEL

II.2.1 Karakteristik AISI H13

Tool steel AISI H13 merupakan *chromium hot-work tool steel*. Komposisi kimia material ini didesain untuk tahan terhadap temperatur, tekanan, abrasi, dan siklus panas dalam proses aplikasinya, seperti *die casting*. Baja ini memiliki kandungan karbon rendah (0.4 wt%) untuk mendapatkan ketangguhan, kadar kromium yang medium (5 wt%) untuk mendapatkan ketahanan yang baik terhadap pelunakan temperatur tinggi, 1wt% Si untuk meningkatkan ketahanan oksidasi temperatur tinggi, dan penambahan molybdenum dan vanadium ($\pm 1\%$) untuk membentuk karbida stabil guna meningkatkan ketahanan aus⁽²³⁾.

Baja perkakas AISI H13 termasuk jenis baja perkakas pengerjaan panas (*hot work tool steel*), baja ini dikembangkan untuk aplikasi-aplikasi yang membutuhkan kombinasi kekuatan (*strength*), ketahanan aus (*wear resistance*), dan ketangguhan (*toughness*) yang tinggi. Baja perkakas AISI H13 yang ada di pasaran biasanya berada dalam kondisi *annealed* (lunak) dengan tujuan untuk memudahkan proses permesinan. Baja dalam kondisi lunak ini tentunya sangat tidak cocok digunakan pada berbagai aplikasi baja AISI H13 yang sebagian besar membutuhkan kombinasi kekerasan dan ketangguhan yang tinggi seperti pada *die* dan *mould*. Untuk mendapatkan baja dengan kombinasi kekerasan dan ketangguhan yang tinggi tersebut dapat dilakukan dengan memodifikasi struktur mikro baja. Salah satu caranya adalah dengan perlakuan panas (*heat treatment*) pada baja. Perlakuan panas yang sering diterapkan adalah proses pengerasan (*quench hardening*) dan penemperan (*tempering*). Kemampuan diperkeras (*hardenability*) baja perkakas AISI H13 sangat tinggi sehingga bisa diperkeras melalui pendinginan udara. Namun pendinginan udara ini kadang tidak menghasilkan struktur yang seluruhnya martensit. Fasa lain dan austenit sisa kadang ikut terbentuk karena laju pendinginan yang lambat, fasa lain dan austenit sisa ini dapat menurunkan kekerasan dan ketangguhan. Oleh karena itu perlu diadakan penelitian dengan menggunakan media *quenching* yang berbeda. Media *quenching* tersebut adalah air dan oli/minyak.

II.2.2 Anneling AISI H13

Setelah proses annealing 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 1100°C, 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.

II.2.3 TEMPERING AISI H13

Seiring dengan perkembangan dunia industri yang semakin maju, mendorong para pelaku dunia industri untuk meningkatkan kebutuhan penggunaan dari hasil pengerasan baja yang dibutuhkan konsumen. Perkembangan teknologi terutama dalam pengerasan logam mengalami kemajuan yang sangat pesat. Tujuan dari penemperan adalah untuk meningkatkan keuletan dan mengurangi kerapuhan. Pengaruh dari suhu temper ini akan menurunkan tingkat kekerasan dari logam. Baja biasanya dipanaskan kembali pada suhu kritis terendah setelah dilakukan pengerasan untuk memperbaiki kekuatan dan kekenyalannya. Akan tetapi hal itu mengurangi daya regang dan kekerasannya, sehingga membuat baja lebih sesuai untuk kebutuhan pembuatan peralatan. Proses pemanasan kembali disebut tempering. Pengaruh suhu tempering terhadap sifat-

sifat baja adalah apabila suhu temper semakin tinggi maka baja akan mempunyai sifat kekerasan dan kekuatan tarik semakin menurun sedangkan keuletan akan meningkat. Baja perkakas AISI H13 termasuk jenis baja perkakas pengerjaan panas yang dikembangkan untuk aplikasi-aplikasi yang membutuhkan kombinasi kekuatan, ketahanan aus, dan ketangguhan yang tinggi. Baja dengan kombinasi kekerasan dan ketangguhan yang baik tersebut dapat dicapai dengan cara memodifikasi struktur mikro baja. Salah satu caranya adalah dengan memberikan perlakuan panas pada baja. Perlakuan panas yang sering diterapkan adalah proses pengerasan (quench hardening) dan penemperan (tempering).

Baja perkakas AISI H13 memiliki kemampuan diperkeras yang sangat tinggi sehingga bisa diperkeras melalui pendinginan udara. Namun pendinginan udara ini kadang tidak menghasilkan struktur yang seluruhnya martensit, fasa lain dan austenit sisa kadang ikut terbentuk karena laju pendinginan yang lambat. Fasa lain dan austenit sisa ini dapat menurunkan kekerasan dan ketangguhan. Oleh karena itu digunakan media quenching yang berbeda dalam proses quench hardening dan tempering. Media quenching tersebut adalah air, oli, minyak dan udara.

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. 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. Peningkatan temperatur tempering mengakibatkan penurunan kekerasan dan naiknya nilai ketangguhan.

II.2.4 PROSES PERLAKUAN NORMAL TEMPERING

Proses perlakuan *normal tempering* (*setting* yang dilakukan pada *furnace*)

- *Preheating* baja H13 selama 40 menit dengan temperatur 650⁰C
- Lalu baja H13 ditahan selama 30 menit dengan suhu preheating (650⁰C)
- kemudian baja H13 dipanaskan dengan temperatur 1010⁰C dengan waktu 30 menit
- setelah dipanaskan baja H13 ditahan selama 30 menit dengan temperatur 1010⁰C
- penurunan temperatur pada *furnace* dari temperatur 1010⁰C ke 550⁰C selama 60 menit
- perlakuan *normal tempering* dengan suhu 550⁰C selama 60 menit

II.2.5 PROSES PERLAKUAN OVER TEMPERING

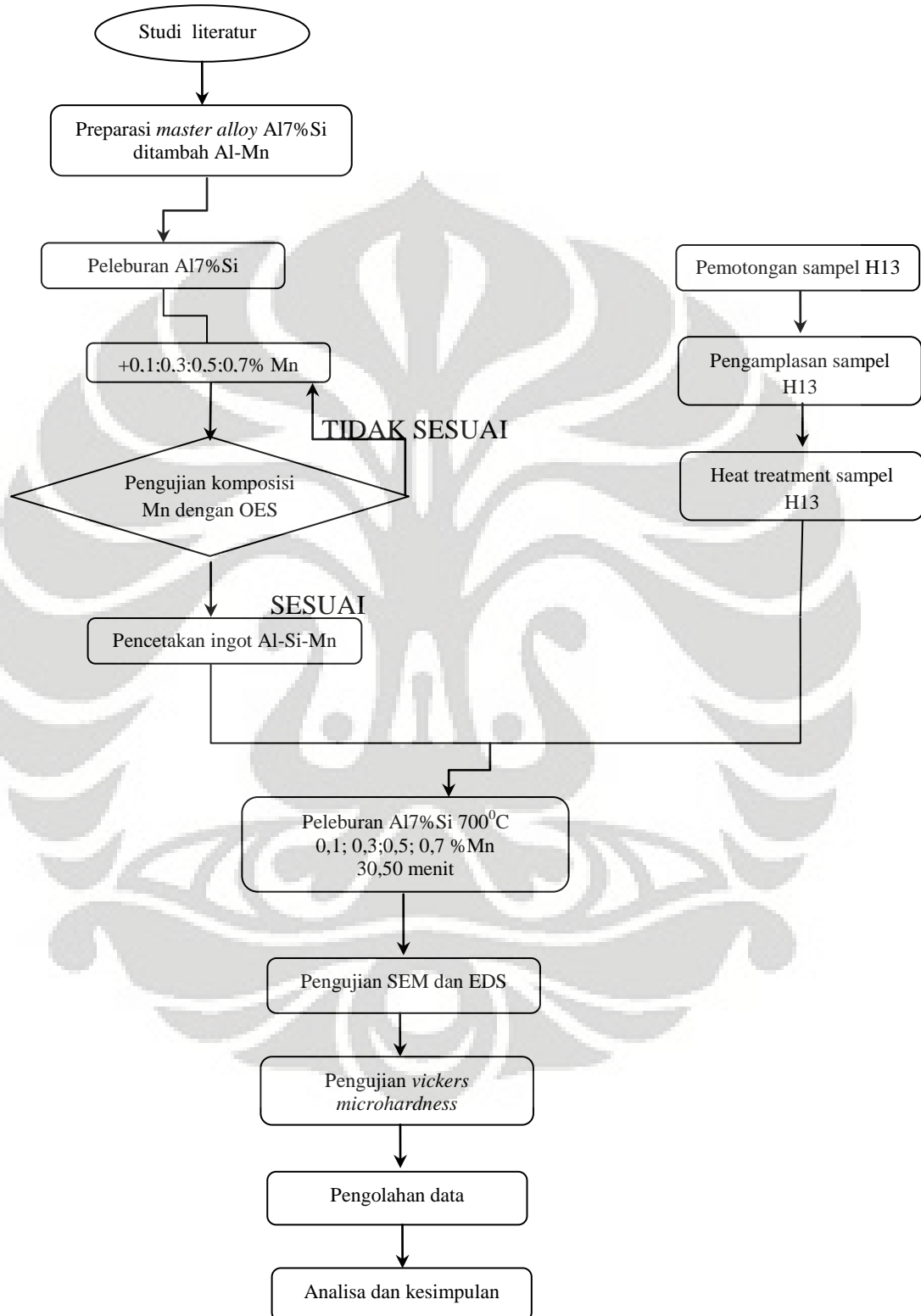
Proses perlakuan *over tempering* (*setting* yang dilakukan pada *furnace*)

- *Preheating* baja H13 selama 40 menit dengan temperatur 650⁰C
- Lalu baja H13 ditahan selama 30 menit dengan suhu preheating (650⁰C)
- kemudian baja H13 dipanaskan dengan temperatur 1010⁰C dengan waktu 30 menit
- setelah dipanaskan baja H13 ditahan selama 30 menit dengan temperatur 1010⁰C
- penurunan temperatur pada *furnace* dari temperatur 1010⁰C ke 600⁰C selama 60 menit
- perlakuan *normal tempering* dengan suhu 600⁰C selama 60 menit

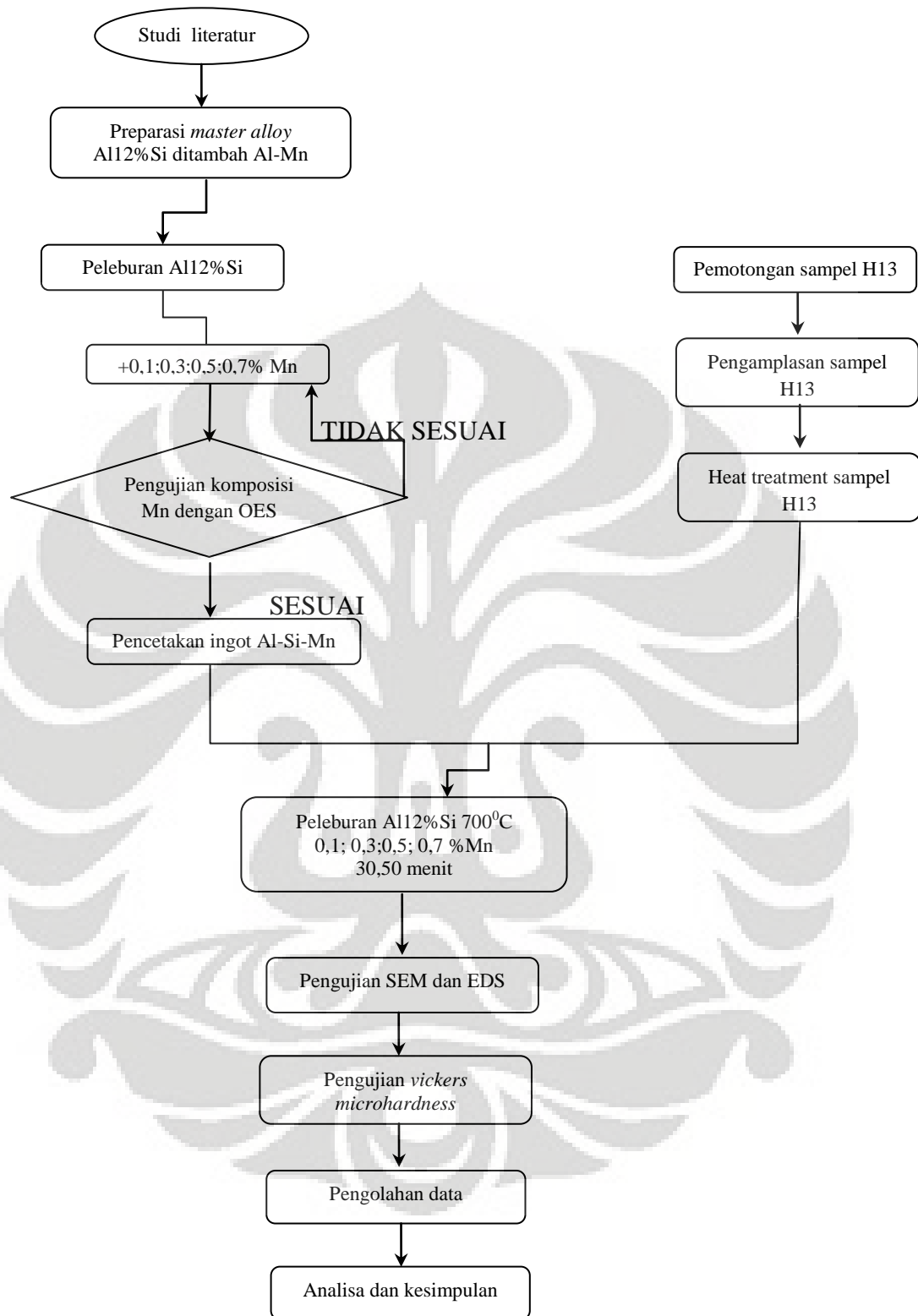
BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

III.1 DIAGRAM ALIR



Gambar 3.1 diagram alir master alloy Al-7%Si



Gambar 3.2 Diagram alir *master alloy* Al-12%Si

III.2 ALAT DAN BAHAN

III.2.1. Alat

1. *Holding Furnace*

Digunakan untuk menjaga temperatur peleburan stabil pada 700 °C (lihat gambar 3.3)



Gambar 3.3 Penampang dapur holding

2. Tungku Peleburan Tipe Krusibel

3. *Scanning Electron Microscope (SEM)*

Pengujian ini bertujuan untuk mengukur ketebalan dan mengetahui unsur-unsur kimia pada setiap lapisan tersebut. *Scanning Electron Microscope (SEM)* dan *Energy-Dispersive Spectroscopy (EDS)* untuk mengetahui morfologi dan karakteristik lapisan intermetalik pada sampel menggunakan alat SEM LEO 420 yang dilengkapi dengan EDS. SEM yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 3.4



Gambar 3.4 SEM yang dilengkapi dengan EDS

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

III.2.2. Bahan

1. *Master Alloy Al-7%Si* dan *Master Alloy Al-12%Si*

Merupakan master alloy yang akan dilebur. Terdiri atas paduan aluminium dengan kandungan silikom sebesar 7% dan 12%. Pada prosesnya akan ditambahkan Mn sebesar 0,1, 0,3, 0,5, dan 0,7 %.

2. Toolsteel H13

Material H13 dipilih karena disesuaikan dengan material yang digunakan pada dies dalam industri peleburan aluminium.

3. Material Mn (Al-80%Mn)

Material ini digunakan untuk memberikan paduan Mn sebesar 0,1, 0,3, 0,5, dan 0,7 % pada paduan. Pada proses peleburan, Al-7%Si dilebur hingga mencair sempurna pada temperatur sekitar 700 °C dan Al12%Si dilebur hingga mencair sempurna pada temperatur sekitar 700°C. Setelah itu, Al-80wt%Si yang telah dibungkus dengan aluminium foil dicelupkan dengan menggunakan panjer. Logam cair yang telah ditambahkan Al-80wt%Si diaduk perlahan agar persebarannya merata.

4. *Thermal Coating*

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

5. Briket batubara

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

6. Minyak tanah

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

7. *Silica gel*

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

8. Resin

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

9. Hardener

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

10. Alumina

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

11. Zat etsa Nital

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

12. Zat etsa HF

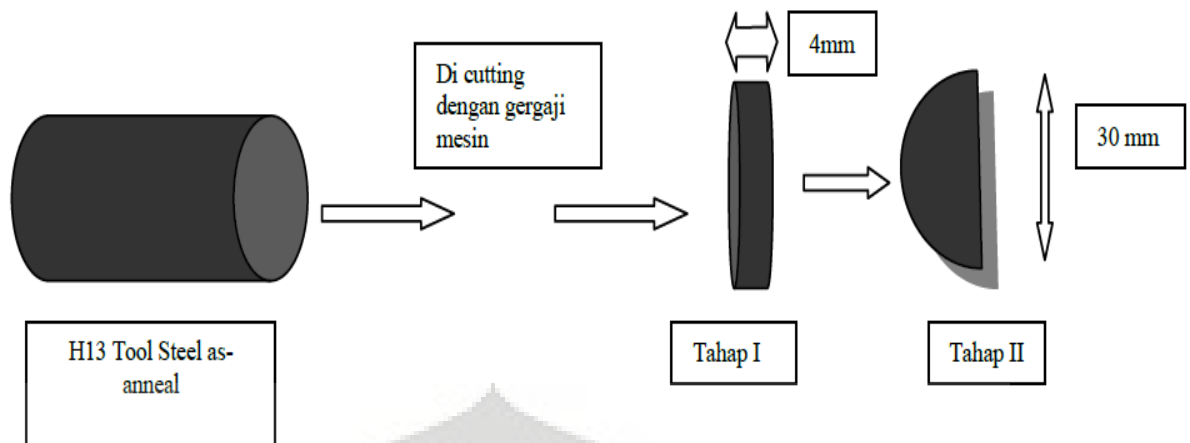
Sama dengan zat etsa Nital, HF juga digunakan untuk mempermudah proses pengamatan mikrostruktur di bawah mikroskop

III.3. PROSEDUR PENELITIAN

III.3.1. Preparasi Sampel Tool Steel H13

Pemotongan Sampel

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



Gambar 3.5 Dimensi sampel setelah dipotong dengan gergaji mesin

- Pengamplasan Sampel H13

Sampel tool steel diampas dari *mesh* yang berukuran paling kecil ke mesh paling besar. Kertas ampas yang digunakan adalah grid #240, #400, #600, #800, #1000. Pengamplasan bertahap ini bertujuan untuk mendapatkan permukaan sampel yang benar-benar halus dan rata. Kondisi seperti ini memudahkan interaksi antara toolsteel dan aluminium cair. Tool steel yang telah diampas dimasukkan ke dalam plastik sampel yang berisi *silica gel* agar tidak terserang korosi.

- Pengujian *Microhardness* Sampel H13

Pengujian *microhardness* sampel H13 dilakukan untuk mengetahui nilai kekerasannya. Teknis pengujian kekerasan ini adalah dengan dilakukan penjejakan pada 3 titik yang terdapat di tengah-tengah sampel H13 dengan menggunakan beban sebesar 500 gf. Pengamatan jejak dan hasil penjejakan berupa diameter jejak diperoleh diamati langsung melalui mikroskop yang terdapat pada *microhardness*. Pengujian kekerasan awal pada *tool steel* H13 menggunakan metode *microhardness* vickers. Penjejakan dilakukan di tiga titik dengan waktu penjejakan 15 detik dan beban penjejakan 500gf. Dari pengujian didapat data jejak indentasi yang kemudian dihitung kekerasannya dengan menggunakan rumus persamaan:

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

Persamaan 3.1 perhitungan kekerasan vickers

Dimana:

P = beban yang digunakan (Kg)

L = panjang diagonal rata-rata (mm)

θ = sudut antara permukaan intan yang berlawanan (136^0)

3.3.2. Persiapan Sampel

- Peleburan
Proses peleburan dilakukan setelah didapatkan formulasi yang perhitungan material balance. Al-7%Si dan Al-12%Si yang berbentuk ingot dilebur hingga mencair di dalam krusibel yang memiliki kapasitas 1400 gram. Penambahan mangan dilakukan dengan memasukkan Al-80wt%Mn yang dibungkus dengan aluminum foil.
- Penambahan Mn
Al-7%Si dilebur hingga mencair sempurna pada temperatur sekitar 700 – 720 °C dan Al-12%Si dilebur hingga mencair sempurna pada temperatur sekitar 680-700°C . Setelah itu, Al-80wt%Si yang telah dibungkus dengan aluminium foil dicelupkan dengan menggunakan *plunger*. Logam cair yang telah ditambahkan Al-80wt%Si diaduk perlahan agar persebarannya merata.
- Uji Komposisi
Uji komposisi dilakukan agar kadar Mn yang terdapat pada *master alloy* sesuai dengan yang diinginkan. Uji komposisi dilakukan dengan menggunakan metode uji spektrometri. Sampel diambil sekitar 100 gram dan dituang untuk pengujian spektrometri. Hasil pengujian harus sesuai dengan spesifikasi kadar Mn yang telah ditetapkan sebelumnya, yaitu master alloy Al-7wt%Si dengan kadar Mn sebesar 0,1%, 0,3%, 0,5%, dan 0,7%. Penambahan Al-80wt%Si dilakukan apabila komposisi Mn yang terdapat di dalam master alloy belum sesuai dengan yang diinginkan.

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

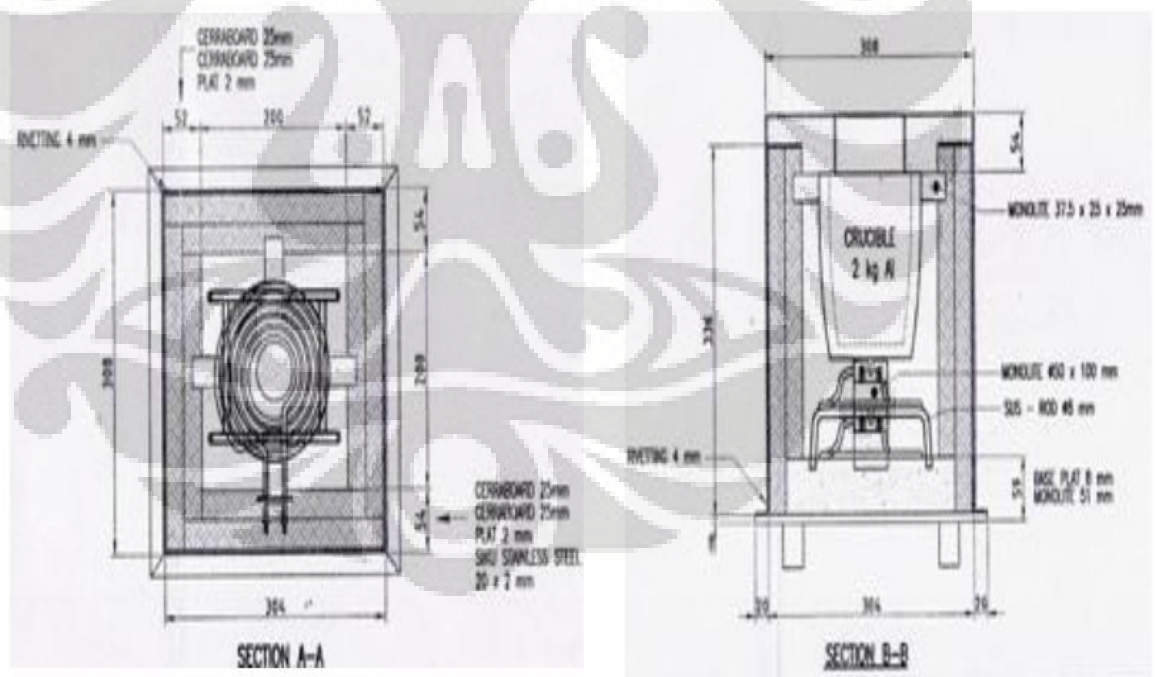
III.3.3. Percobaan Die Soldering

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

- Peleburan

Proses peleburan dilakukan sebanyak delapan kali, yaitu untuk paduan aluminium silikon (Al-7wt%Si dan Al-12wt%Si) dengan masing-masing kandungan Mn sebesar 0,1wt%, 0,3wt%, 0,5wt%, dan 0,7wt% sesuai dengan

perhitungan *material balance*. Proses peleburan diawali dengan menyalakan tungku. Batu bara yang telah disiram minyak tanah disusun di dalam dapur dan koi yang terbuat dari bahan refraktori diletakkan di tengah-tengah tungku. Master alloy yang telah dipotong-potong dimasukkan ke dalam koi dan batubara mulai dinyalakan dengan menggunakan korek api. Agar pembakaran semakin cepat dan tersebar merata, digunakan *blower* yang udaranya dialirkan melalui rongga di bawah tungku. Pemanasan dilakukan hingga seluruh master alloy Al-7wt%Si dan Al-12wt%Si melebur hingga mencair sempurna. Bersamaan dengan proses peleburan, *holding furnace* dinyalakan dan dilakukan pengaturan temperatur, baik temperatur pemanas maupun temperatur krusibel. Temperatur pemanas pada *holding furnace* ini diatur sekitar 800 °C dan temperatur krusibelnya sebesar 700°C. Ketika sudah mencair, paduan diangkat dan dipindahkan menuju *holding furnace* untuk menjaga temperatur paduan agar tetap konstan. Kondisi kestabilan temperatur dikontrol menggunakan *thermocouple*. Ilustrasinya dapat dilihat pada gambar 3.6



Gambar 3.6 Skema dapur holding

- **Pencelupan Sampel H13**

Proses pencelupan dilakukan pada *holding furnace*. Ketika temperatur aluminium cair konstan di kisaran 700°C, maka bagian penutup *holding furnace* dibuka, sampel *toolsteel* H13 dimasukkan ke dalam aluminium cair, dan *stopwatch* dinyalakan. Setelah sampel itu, penutup ditutup serapat mungkin. Pencelupan dilakukan berdasarkan lamanya waktu yang diinginkan, yaitu 30 dan 50 menit. Masing-masing sampel H13 diangkat menggunakan tang penjepit sesuai dengan waktu yang ditetapkan. Apabila sudah diangkat, dilakukan pelabelan dan pengkodean terhadap sampel H13 yang telah diuji. Aluminium cair hasil percobaan dituang ke cetakan ingot, kemudian setelah membeku dilakukan pengkodean juga. Percobaan ini dilakukan pada empat komposisi Mn yang berbeda dan dua waktu yang berbeda pula.

III.4. PENGUJIAN

III.4.1. Persiapan Sampel Pengujian

Tahapan:

- **Pemotongan sampel**

Medium speed diamond saw digunakan untuk memotong sampel menjadi dua bagian sama besar. Alat ini dipakai agar pemotongan berjalan baik dan tidak merusak sampel. Selain itu, didapat bagian permukaan yang akan diuji melalui proses ini.

- ***Mounting***

Proses *mounting* berguna agar sampel yang kecil mudah untuk dipegang ketika harus menjalani proses selanjutnya seperti pengamplasan, pemolesan, etsa, dan pengujian. Selain itu, *mounting* juga dapat menjaga sampel agar tidak mudah rusak ketika ditangani. Media *mounting* yang digunakan adalah resin dan hardener. Sampel yang sudah siap *dimounting* diletakkan di dalam cetakan dengan posisi bagian permukaan yang akan diuji berada pada dasar cetakan. Setelah itu, resin dan hardener dituangkan ke dalam cetakan dengan komposisi yang sesuai. Sampel yang telah

dibungkus oleh bahan mounting ini didiamkan sekitar 15 menit agar bahan mounting membeku dan siap untuk dikeluarkan dari cetakan.

- Pengamplasan (Grinding)

Pengamplasan dilakukan dengan kertas amplas #1000, #1200, dan #1500 dan dilakukan bertahap dimulai dari amplas dengan nomor grid paling kecil (kasar) ke nomor grid yang besar (halus). Pengamplasan dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan kehalusan permukaan dan menghilangkan goresan-goresan kasar pada permukaan sampel.

- Pemolesan (Polishing)

Pemolesan merupakan pelengkap bagi proses pengamplasan. Hasil permukaan yang didapat pada proses pengamplasan belum cukup halus untuk dijadikan sampel uji pengamatan yang berkualitas baik. Pengamplasan sendiri dapat menghasilkan goresan-goresan halus akibat gesekan antara permukaan sampel dengan bidang amplas. Untuk mengatasi masalah seperti ini, dilakukan pemolesan pada permukaan sampel menggunakan zat poles Al_2O_3 sehingga didapat permukaan sampel yang lebih halus dan mengkilap seperti cermin.

- Etsa (Etching)

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

III.4.2. Pengujian SEM & EDS

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

III.4.3. Pengujian Microhardness

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

BAB IX

HASIL ANALISA DAN PEMBAHASAN

IV.1 DATA HASIL PENGUJIAN KEKERASAN VICKERS H13

Tabel 4.1 Hasil pengujian kekerasan awal pada baja H13

No indentasi	Jejak (µm)			VHN (kg/mm)	VHN _{avg}
	x	y	d _{avg}		
1	69,5	70	69,75	191	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 _{avg}
	x	y	d _{avg}		
1	47,5	47,5	47,5	411	421
2	46,5	47,5	47	420	
3	46	46,5	46,25	433	

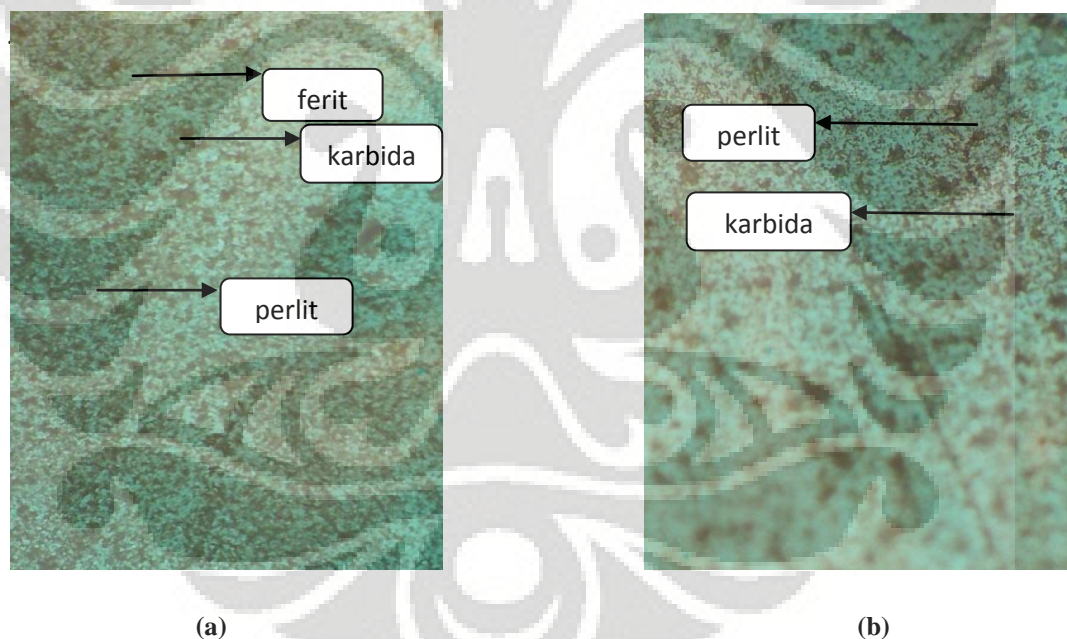
Tabel 4.3 hasil pengujian kekerasan pada baja H13 dengan perlakuan *over tempering*

No indentasi	Jejak (µm)			VHN (kg/mm)	VHN _{avg}
	x	y	d _{avg}		
1	50	50,5	50,25	367	378
2	49,5	49,5	49,5	378	
3	49	49,5	49,25	382	

Berdasarkan dari hasil pengujian kekerasan *vickers*, didapatkan nilai kekerasan yang berbeda-beda dari tiap perlakuan baja H13. Pada baja H13 awal dengan kondisi *annealed* nilai kekerasan yang diperoleh adalah 188 VHN, pada

baja H13 dengan perlakuan *normal tempering* nilai kekerasannya adalah 421 VHN, sedangkan nilai kekerasan yang didapat pada baja H13 dengan perlakuan *over tempering* adalah 378 VHN. Hasil tersebut sesuai dengan literatur yang didapat bahwa nilai kekerasan pada baja H13 dengan perlakuan *normal tempering* lebih tinggi dibandingkan dengan nilai kekerasan dari baja H13 dengan kondisi *annealed* dan perlakuan *over tempering*. Nilai kekerasan pada baja H13 dengan perlakuan *over tempering* lebih tinggi jika dibandingkan dengan nilai kekerasan dari baja H13 dengan kondisi *annealed*, hal ini sesuai dengan literatur.

Hasil pengamatan foto struktur mikro. Struktur mikronya: Pada sampel as annealed, tanpa perlakuan panas : baja perkakas AISI H13 adalah Ferit, Perlit dan Karbida sedangkan pada sampel over tempering struktur mikronya berupa Karbida dan Perlit. Temperatur perlakuan panas akan menyebabkan bertambah banyak Karbida yang terbentuk. Akan tetapi semakin berkurang perlit yang terbentuk. Hal itulah yang menyebabkan semakin besar nilai kekerasannya.



Gambar 4.1 Foto Mikrostruktur H13 perbesaran 200x (a) As Annealed; (b) Over Tempering

IV.2 Pengaruh Unsur Mangan Terhadap Sifat Mekanis Lapisan Intermetalik

Pada pengujian ini digunakan beban penjejakan 25 gf dan waktu penjejakan 15 detik. Penjejakan dilakukan pada setiap lapisan intermetalik yang terbentuk dan masing-masing lapisan dilakukan penjejakan pada dua titik.

IV.2.1 Data Hasil Pengujian Kekerasan Lapisan Intermetalik

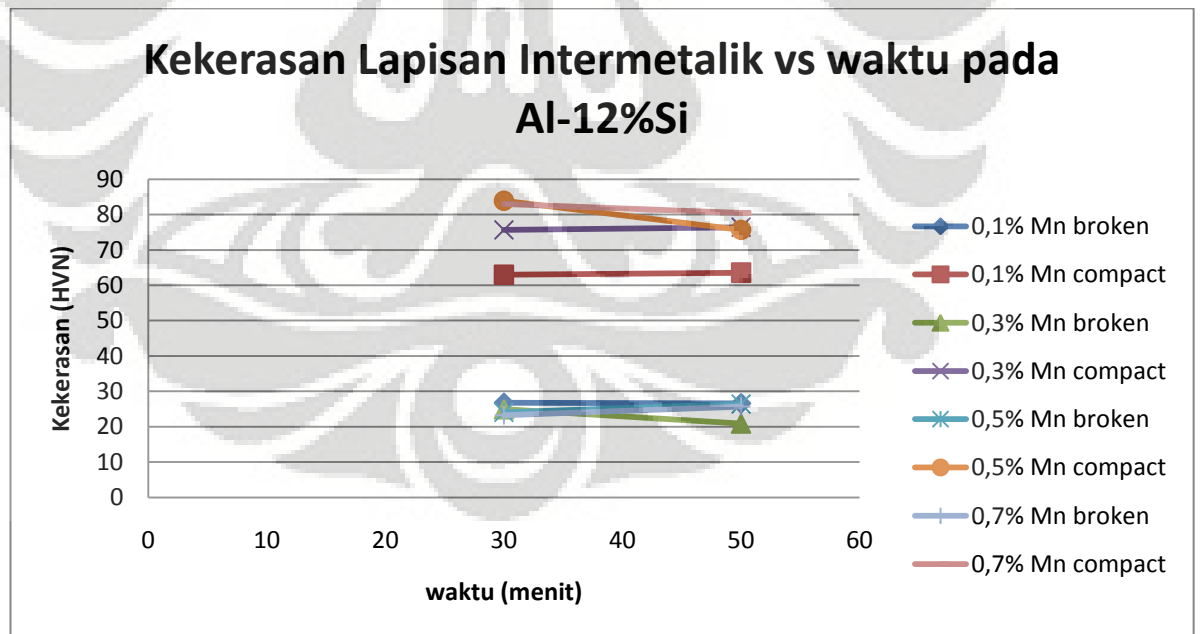
Tabel 4.4 hasil pengujian kekerasan lapisan intermetalik H13 *over tempering* pada saat dicelup di Al12%Si

%Mn	Waktu	Lapisan	x1	y1	x2	y2	D mean	HVN
0,1	30	Broken	42	40	43	41,5	41,625	27
		compact	24,5	25,5	29	29,5	27,125	63
	50	Broken	44,5	42	39	41,5	41,75	27
		compact	29	25,5	26,5	27	27	64
0,3	30	Broken	42,5	40,5	46	43,5	43,125	25
		compact	22,5	26,5	25,5	24,5	24,75	76
	50	Broken	46	48,5	46,5	47,5	47,125	21
		compact	25,5	23,5	23,5	26	24,625	76
0,5	30	Broken	46,5	44,5	41	43,5	43,875	24
		compact	21,5	21	24	27,5	23,5	84
	50	Broken	43,5	42	41,5	40,5	41,875	26
		compact	23,5	23	26	26,5	24,75	76
0,7	30	Broken	47	46,5	42	43	44,625	24
		compact	22,5	24	20,5	27,5	23,625	83
	50	Broken	42,5	41	45	41,5	42,5	26
		compact	25	24,5	22,5	24	24	80

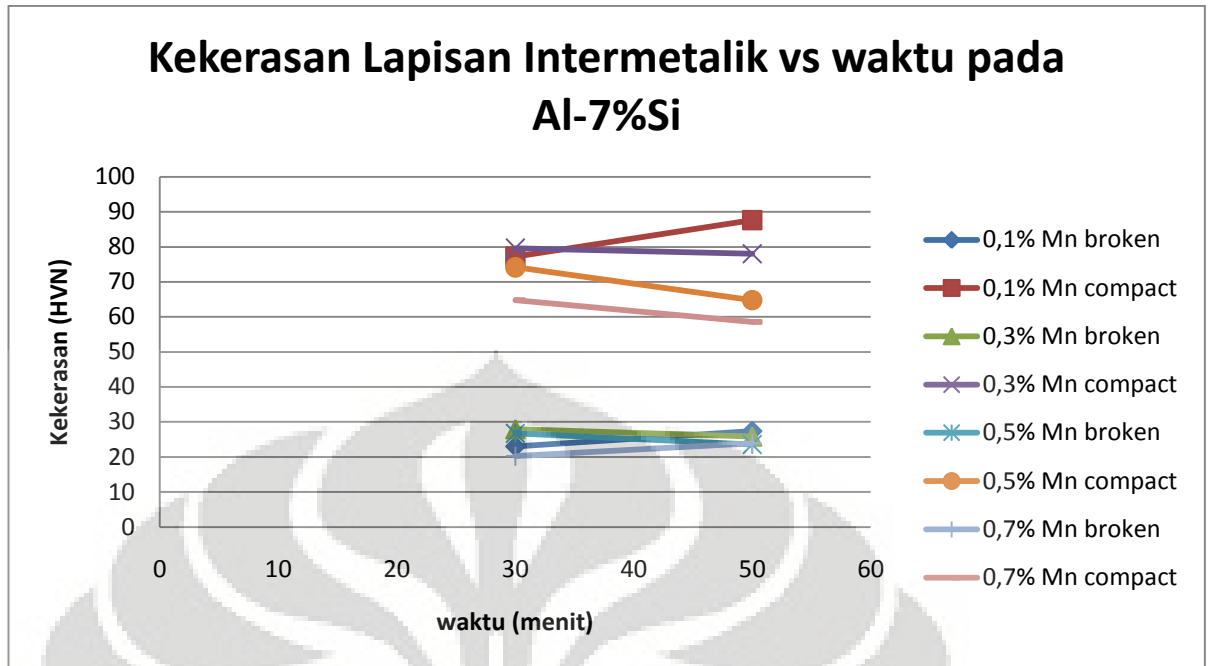
Tabel 4.5 hasil pengujian kekerasan lapisan intermetalik H13 *over tempering* pada saat dicelup di Al-7%Si

%Mn	Waktu	Lapisan	x1	y1	x2	y2	D mean	HVN
0,1	30	Broken	46,5	44	44,5	44,5	44,875	23
		compact	23	25	25,5	24,5	24,5	77
	50	Broken	42,5	41,5	40,5	40	41,125	27

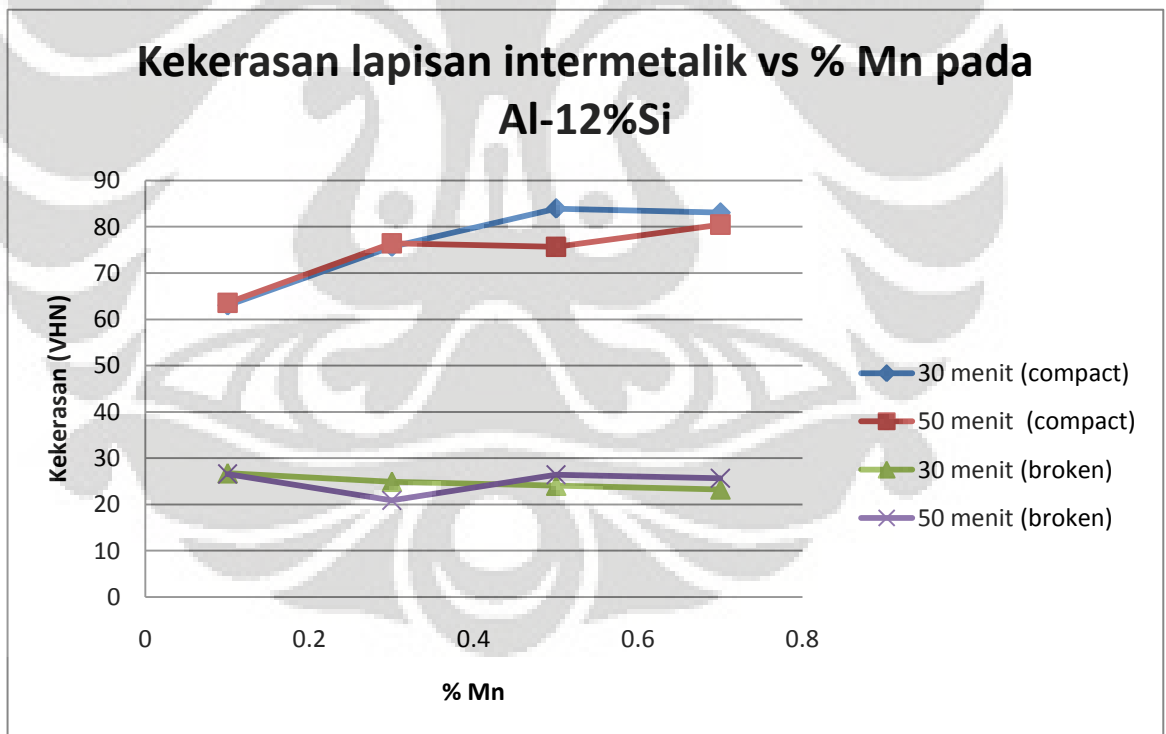
		compact	22,5	22,5	22	25	23	88
0,3	30	Broken	39,5	41	41	41,5	40,75	28
		compact	26	25	23,5	22	24,125	80
	50	Broken	41,5	41,5	43	43,5	42,375	26
		compact	21,5	26,5	25,5	24	24,375	78
0,5	30	Broken	44,5	41,5	40,5	40	41,625	27
		compact	27,5	22,5	22,5	27,5	25	74
	50	Broken	45,5	46,5	42	43,5	44,375	23
		compact	27	26,5	26,5	27	26,75	65
0,7	30	Broken	48	48,5	46,5	48,5	47,875	20
		compact	26,5	25,5	28,5	26,5	26,75	65
	50	Broken	42,5	44,5	46,5	42,5	44	24
		compact	25,5	30	29,5	27,5	28,125	58



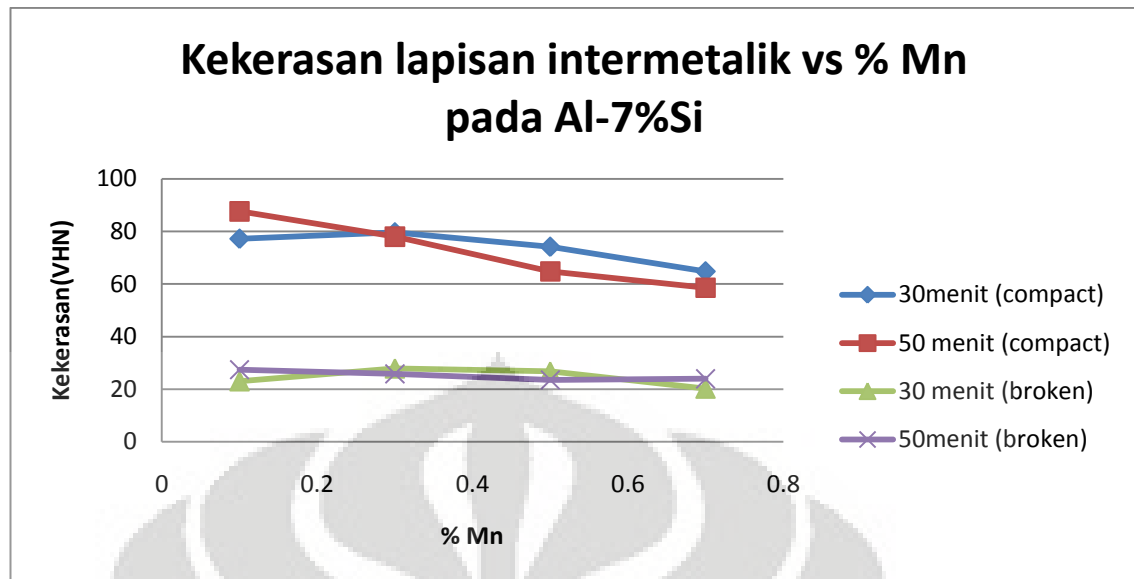
Gambar 4.2 Data hasil penelitian pengaruh waktu kontak terhadap kekerasan lapisan intermetalik pada paduan Al-12%Si



Gambar 4.3 Data hasil penelitian pengaruh waktu kontak terhadap kekerasan lapisan intermetalik pada paduan Al-7%Si



Gambar 4.4 Data hasil penelitian pengaruh %Mn terhadap kekerasan lapisan intermetalik pada paduan Al-12%Si



Gambar 4.5 Data hasil penelitian pengaruh %Mn terhadap kekerasan lapisan intermetalik pada paduan Al-7%Si

Di dalam percobaan *die soldering* dengan variasi penambahan kadar Mn ke dalam *master alloy* yang telah melebur, didapat kekerasan lapisan intermetalik yang juga bervariasi. Data variasi kekerasan yang terdapat pada Tabel 4.4 dan tabel 4.5 yang kemudian diplot ke dalam sebuah grafik, seperti yang terlihat pada Grafik gambar 4.1 sampai dengan gambar 4.4 dengan perbandingan hubungan kekerasan lapisan intermetalik dengan % Mn serta waktu dan perbandingan kekerasan lapisan intermetalik dengan % Mn pada H13 dengan perlakuan *over tempering* yang dicelup pada Al-12% Si dan Al-7%Si. Pada grafik diatas, secara keseluruhan dapat dilihat bahwa *compact layer* cenderung lebih keras dibandingkan dengan *broken layer*. Hal ini berkaitan dengan difusi besarnya Fe kedalam lapisan tersebut. Seharusnya semakin banyak Fe yang berdifusi pada *compact intermetallic layer*, kekerasan pada *compact intermetallic layer* juga meningkat. Kemudian Taylor mengemukakan bahwa sifat mekanis Fe dapat meningkatkan kekerasan dan menurunkan keuletan⁽²⁶⁾. Sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa semakin banyak kadar Fe yang berdifusi ke dalam lapisan intermetalik, maka nilai kekerasan dari lapisan intermetalik tersebut akan semakin meningkat.

Jika diperhatikan pada gambar 4.1 dan gambar 4.2 yaitu hubungan antara lapisan intermetalik dengan waktu, terlihat perubahan kekerasan yang meningkat

maupun menurun dengan tidak signifikan, hal ini dikarenakan variabel waktu yang digunakan jaraknya cukup dekat yaitu 30 menit dan 50 menit. Dimana pada saat waktu pencelupan berada dalam waktu 30 menit Fe sudah memiliki waktu yang cukup banyak untuk berdifusi ke dalam lapisan intermetalik.

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. Semakin besar kadar Al dan semakin sedikit kadar Fe yang terkandung pada lapisan tersebut maka kekerasannya akan semakin menurun. Sebaliknya jika semakin tinggi kadar Fe dan semakin rendah kadar Al maka kekerasan lapisan tersebut akan semakin meningkat. Sehingga penambahan unsur Mn tidak berpengaruh terhadap kekerasan pada lapisan intermetalik.

IV.2.2 Data Hasil Pengujian ketebalan Lapisan Intermetalik

Salah satu tujuan dari pengujian *Scanning electron microscope* (SEM) pada sampel baja H13 adalah menghitung ketebalan lapisan intermetalik yang terbentuk dari hasil pencelupan ke dalam paduan Al-7%Si dan Al-12%Si. Data hasil penghitungan ketebalan lapisan intermetalik dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 4.6 Hasil pengujian ketebalan lapisan intermetalik H13 *over tempering* pada saat dicelup di Al-12%Si

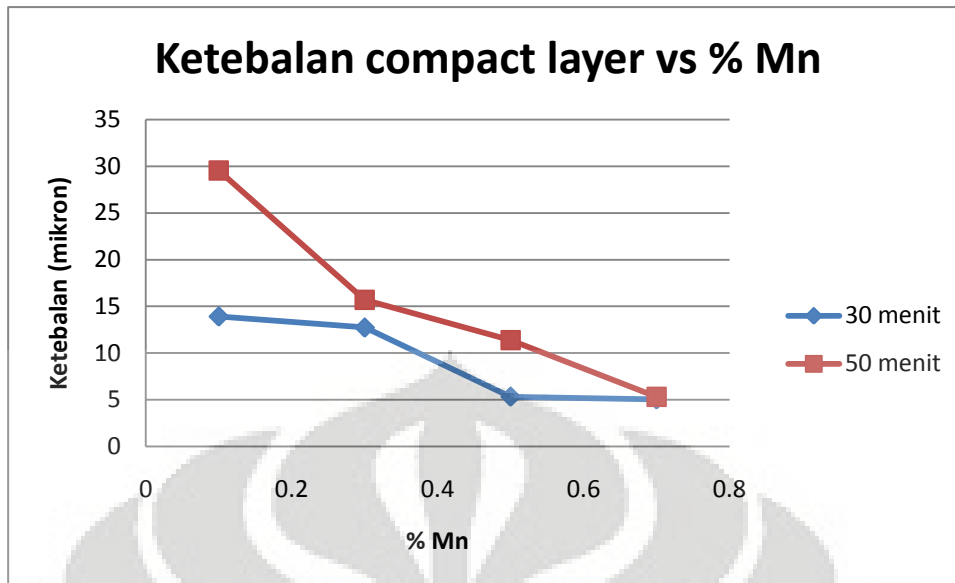
% Mn	Waktu (menit)	Compact (mikron)	Broken (mikron)	Total Layer (mikron)
0,1	30	13,93	50,67	64,6
	50	29,53	85,05	114,58
0,3	30	12,74	59,27	72,01
	50	15,71	36,75	52,46
0,5	30	5,33	15,41	20,43

	50	11,38	48,6	59,98
0,7	30	5,04	27,86	32,9
	50	5,33	15,41	20,43

Tabel 4.7 hasil pengujian ketebalan lapisan intermetalik H13 *over tempering* pada saat dicelup di Al-7%Si

% Mn	Waktu (menit)	Compact (mikron)	Broken (mikron)	Total Layer (mikron)
0,1	30	18,83	94,93	113,76
	50	27,83	91,54	119,97
0,3	30	8,4	76,16	84,56
	50	11,26	82,08	93,34
0,5	30	9,19	52,81	62
	50	6,22	38,23	44,45
0,7	30	6,52	55,41	61,93
	50	4,22	27,91	32,19

Gambar 4.5 hingga Gambar 4.8 merupakan data hasil percobaan pencelupan baja H13 *over tempering* 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*. Hal tersebut dapat terjadi karena senyawa pada *compact layer* memiliki ikatan yang lebih kuat dibandingkan dengan *broken layer* yang memiliki ikatan cenderung lebih renggang.

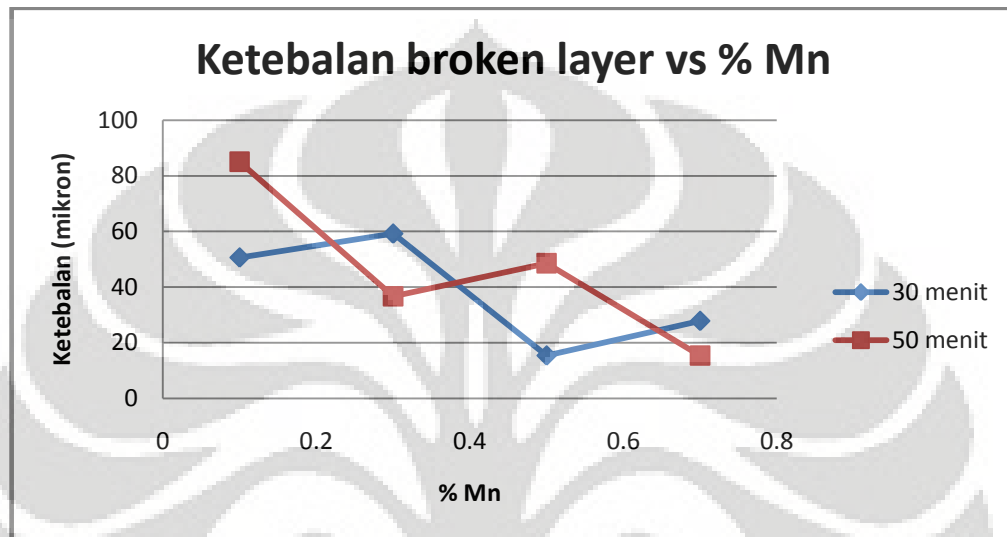


Gambar 4.6 Data hasil penelitian pengaruh unsur Mn terhadap ketebalan *compact layer* pada paduan Al-12%Si dalam fungsi waktu

Gambar 4.5 memperlihatkan hubungan antara penambahan Mn pada paduan Al-12%Si terhadap ketebalan *compact layer*. Secara umum, grafik tersebut memperlihatkan kecenderungan 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*. Gambar 4.5 juga memperlihatkan bahwa pada kadar 0.1, 0.3, 0.5, dan 0.7% Mn yang ditambahkan ke dalam paduan Al-12%Si, pertumbuhan *compact layer* pada permukaan H13 juga dipengaruhi oleh waktu kontak.

Hal ini disebabkan semakin meningkatnya waktu kontak antara aluminium cair dengan material cetakan H13 maka aktivitas atom permukaan akan semakin meningkat, kemudian atom Al dari aluminium cair dan atom Fe dari baja H13 memiliki kesempatan yang lebih lama untuk saling berdifusi dan bereaksi

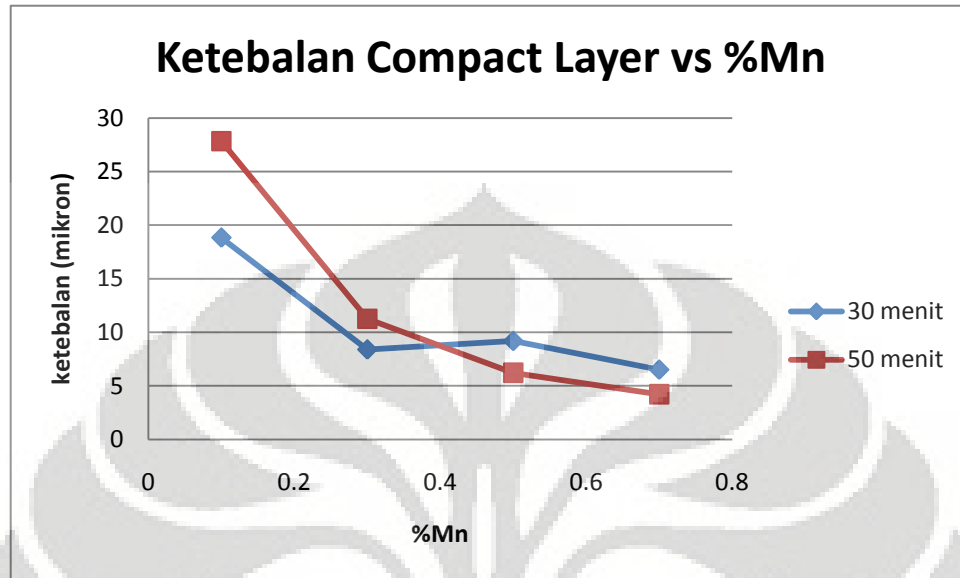
membentuk *compact layer* sehingga *compact layer* yang terbentuk semakin tebal. Berdasarkan hasil penelitian pertumbuhan *compact layer* pada H13 dalam rentang waktu kontak 30 menit dan 50 menit membentuk kurva menurun, dimana tingkat ketebalan *compact layer* tertinggi dan terendah secara berturut adalah pencelupan dengan waktu kontak 50 menit dan 30 menit.



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

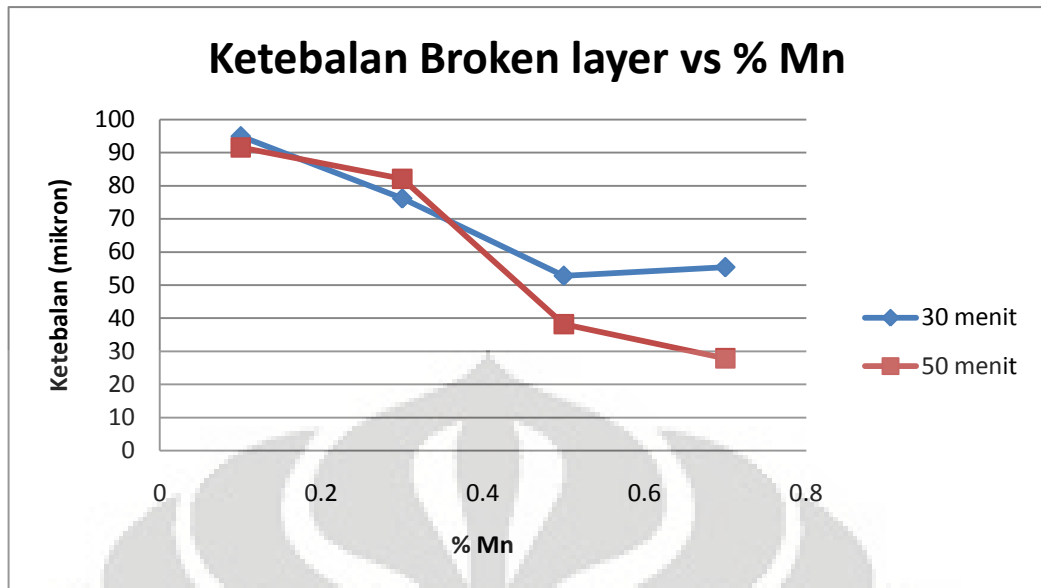
Gambar 4.6 memperlihatkan hubungan antara penambahan Mn pada paduan Al-12%Si terhadap ketebalan *broken layer*. Seperti yang terlihat pada grafik di atas, data pada fungsi waktu 50 menit cenderung turun hal ini sesuai dengan literatur yang mengatakan semakin tinggi kadar Mn yang ditambahkan pada paduan 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. Yang 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. Sedangkan data fungsi waktu 30 menit terlihat pada gambar adanya suatu kecenderungan ketebalan yang naik-turun kemungkinan pada fungsi waktu 30 menit belum

terlihat adanya pengaruh yang jelas antara penambahan Mn dengan ketebalan *broken layer*.



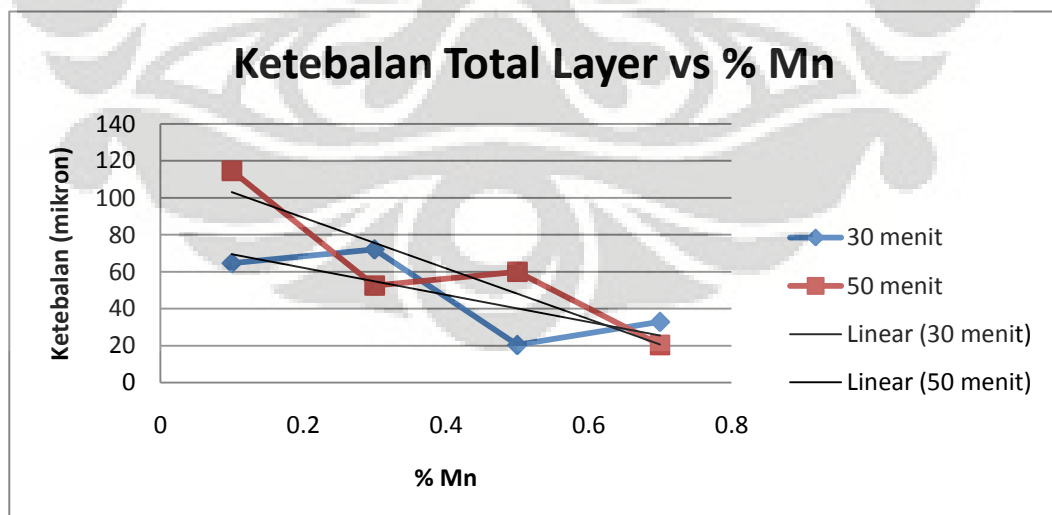
Gambar 4.8 Data hasil penelitian pengaruh unsur Mn terhadap ketebalan *compact layer* pada paduan Al-7%Si dalam fungsi waktu

Pada Gambar 4.7 diperlihatkan pengaruh penambahan Mn dalam Al- 7%Si terhadap ketebalan *compact layer*. Seperti yang terlihat pada grafik tersebut, kurva pertumbuhan *compact layer* memiliki kecenderungan menurun baik dari variabel waktu 30 menit maupun variabel 50 menit. Semakin tinggi kadar dari Mn kecenderungan ketebalan dari *compact layer* akan berkurang. Penelitian dari paduan Al-12%Si dan Al-7%Si memiliki kecenderungan grafik yang menurun, hal ini dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi kadar Mn pada paduan akan menurunkan ketebalan dari *compact layer*. Ini dikarenakan penambahan Mn mengakibatkan tingkat kejenuhan pada aluminium silikon cair menjadi meningkat. Yang 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.

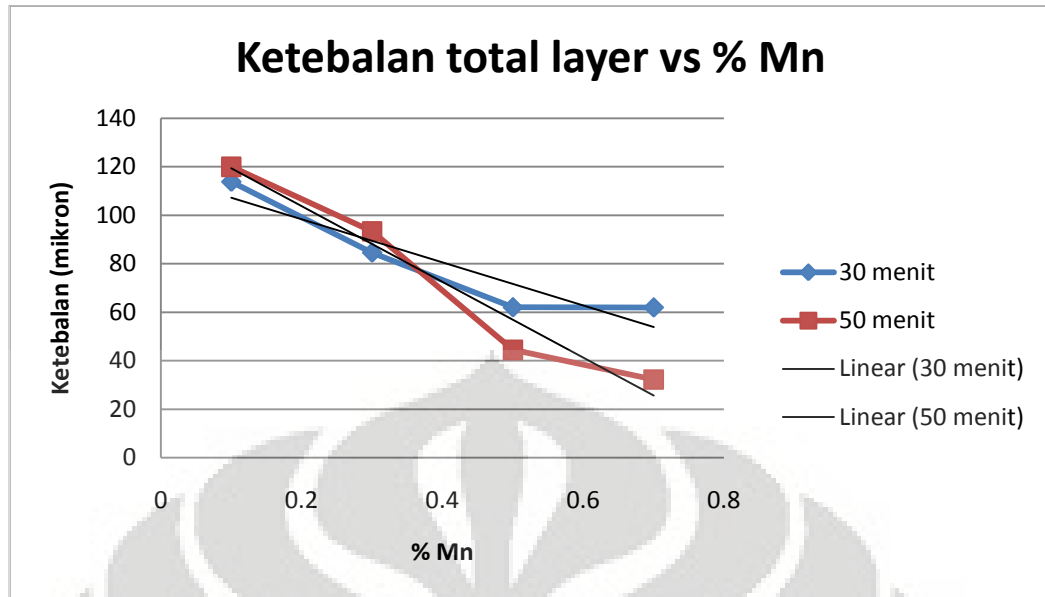


Gambar 4.9 Data hasil penelitian pengaruh unsur Mn terhadap ketebalan *broken layer* pada paduan Al-7%Si dalam fungsi waktu

Gambar 4.8 memperlihatkan hubungan antara penambahan Mn dalam paduan Al-7%Si terhadap ketebalan *broken layer*. Seperti yang terlihat pada Gambar 4.8, berbeda dengan gambar 4.6 yang kecenderungan kurvanya naik-turun. Penambahan Mn pada waktu kontak 30 dan 50 menit menunjukkan kondisi yang hampir sama dimana *compact layer* yaitu mengalami kecenderungan menurun.



Gambar 4.10 Data hasil penelitian pengaruh unsur Mn terhadap ketebalan *total layer* pada paduan Al-12%Si dalam fungsi waktu



Gambar 4.11 Data hasil penelitian pengaruh unsur Mn terhadap ketebalan *total layer* pada paduan Al-7%Si dalam fungsi waktu

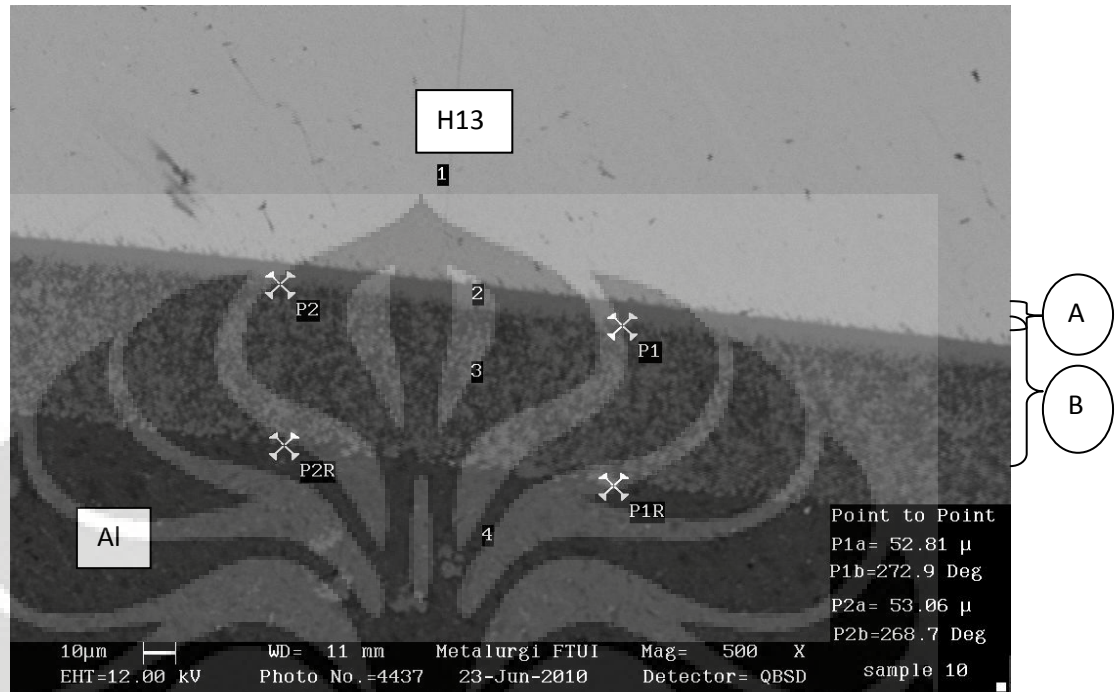
Gambar 4.9 memperlihatkan hubungan antara penambahan Mn dalam paduan Al-12%Si terhadap total ketebalan lapisan intermetalik. Berdasarkan gambar tersebut, terlihat bahwa data pada grafik tersebut cenderung naik turun dan acak. Tidak terlihat adanya korelasi yang jelas dan konsisten antara peningkatan kandungan Mn dalam paduan Al-12%Si terhadap total ketebalan lapisan intermetalik.

Sedangkan gambar 4.10 memperlihatkan hubungan antara penambahan Mn dalam paduan Al-7%Si terhadap total ketebalan lapisan intermetalik. Berdasarkan gambar tersebut, secara umum grafik tersebut memperlihatkan kecenderungan yang konsisten yaitu semakin tinggi kadar Mn yang ditambahkan pada paduan Al-7%Si, maka total ketebalan lapisan intermetalik yang terbentuk akan semakin tipis. Pengaruh penambahan unsur mangan terhadap paduan aluminium silikon terlihat pada penambahan unsur mangan dalam paduan Al-7%Si, dimana penambahan mangan dalam paduan Al-7%Si akan menurunkan ketebalan total lapisan intermetalik yang terbentuk.

IV.3 DATA HASIL PENGUJIAN SEM/EDS

Pengujian SEM yang dilengkapi dengan EDS dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan Mn terhadap ketebalan lapisan intermetalik yang terbentuk antara permukaan baja H13 dengan aluminium silikon 7% dan

aluminium silikon 12% serta untuk mengetahui kemungkinan fasa-fasa yang terjadi pada lapisan tersebut.



Gambar 4.12 Lapisan intermetalik yang terbentuk hasil pencelupan baja H13 ke

Keterangan : titik A = *compact layer*

Titik B = *Broken layer*

Hasil penelitian *die soldering* dengan variabel 0,1% Mn, 0,3% Mn, 0,5% Mn dan 0,7% Mn didapatkan dua lapisan intermetalik yang terbentuk antara substrat baja H13 dengan paduan aluminium. Pada gambar 4.11 dapat terlihat kedua lapisan intermetalik tersebut, Lapisan yang ditunjukkan dengan huruf A adalah lapisan intermetalik yang terdapat di permukaan substrat baja H13 yang disebut *compact intermetallic layer*, sedangkan lapisan yang ditunjukkan dengan huruf B adalah lapisan intermetalik dari permukaan substrat baja H13 yang disebut *broken intermetallic layer*. *Compact layer* merupakan hasil dari reaksi atom Fe dengan atom Al yang membentuk ikatan logam, hasil reaksi dari setiap fasa dengan aluminium cair secara kontinu dan Fe berdifusi keluar dari permukaan hingga membentuk fasa biner seperti FeAl, FeAl₂, FeAl₃ dan Fe₂Al₅. Selanjutnya fasa Fe₂Al₅ bereaksi dengan Al dan Si pada aluminium cair sehingga

terbentuk fasa ternary -(Al,Fe,Si) yaitu *broken layer*⁽²⁷⁾. Dr. Sumanth Shankar dan Prof. Diran Apelian dalam penelitiannya mengatakan bahwa fasa ternary mempunyai ketebalan yang lebih tinggi dibandingkan fasa lain. Karena volume aluminium cair berlebih, maka reaksi antara fasa intermetalik dan melt mendominasi difusi Fe dari permukaan baja. *Broken layer* merupakan hasil reaksi lanjutan yang melibatkan atom Al bereaksi dengan senyawa *compact layer*.

Apabila diperhatikan, *compact layer* terlihat padat sedangkan *broken layer* terlihat semi padat. Hal ini disebabkan *compact layer* merupakan hasil dari reaksi atom Fe dengan atom Al yang membentuk ikatan logam. Sedangkan *broken layer* merupakan hasil reaksi lanjutan yang melibatkan atom Al bereaksi dengan senyawa *compact layer*, dimana ikatan yang terbentuk adalah ikatan *Van Der Waals* yang cenderung lebih lemah dibandingkan ikatan antara atom Al dengan atom Fe.

IV.4 Pengaruh Unsur Mangan dan Waktu Kontak Terhadap Fasa Intermetalik yang Terbentuk

Hasil uji unsur kimia (menggunakan EDS) yang dirangkum dalam Tabel 4.8 dan Tabel 4.9, mengindikasikan bahwa pada *compact intermetallic layer* terbentuk fasa biner AlFe. Walaupun terdapat unsur-unsur lain pada *compact intermetallic layer*, namun unsur Al dan Fe merupakan unsur yang paling dominan dan perbedaan komposisi dengan unsur lainnya cukup signifikan, sehingga unsur lainnya dapat diabaikan. Fasa biner tersebut adalah fasa intermetalik yang pertama kali terbentuk setelah terjadinya serangan aluminium ke permukaan baja H13, oleh karena itu fasa biner ini terdapat pada lapisan yang memiliki kontak langsung dengan permukaan baja H13. Pembentukan lapisan senyawa biner ini disebabkan oleh reaksi dari setiap fasa dengan pembaruan aluminium cair secara kontinu dan difusi Fe keluar dari permukaan baja⁽²⁸⁾. Melalui tabel 4.8 dan tabel 4.9 dapat dilihat fasa yang terbentuk pada *broken layer*. Berbeda dengan *compact layer* yang memiliki fasa biner, pada *broken layer* terbentuk fasa ternary AlFeSi. Fasa ini merupakan fasa kedua yang terbentuk setelah terbentuknya fasa biner AlFe.

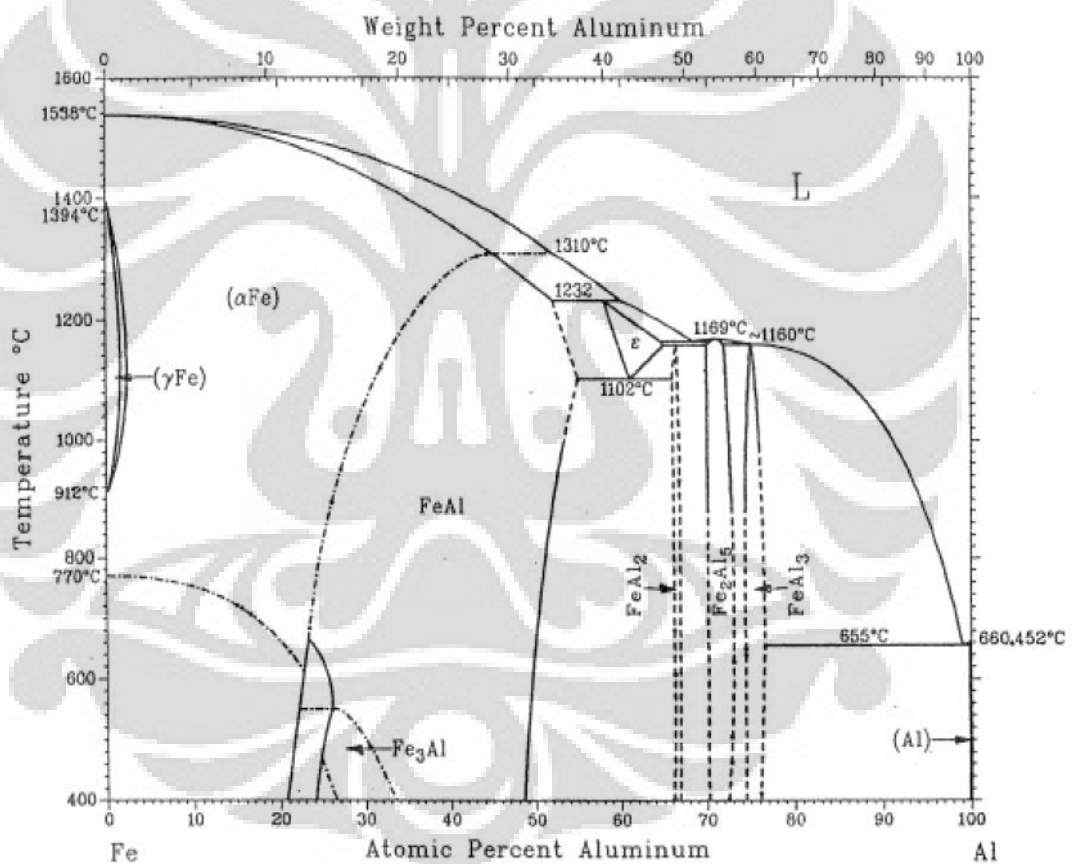
Tabel 4.8 Unsur yang terkandung di dalam lapisan intermetalik paduan Al-12%Si

%Mn	Waktu	lapisan	% Al	%Si	% Fe	Fasa yang terbentuk
0,1	30	compact	55,2	6,46	25,8	Fe ₂ Al ₅
		broken	66,56	4,72	16,08	Al _x Fe _y Si _z
	50	compact	57,35	6,86	32,55	FeAl ₃
		broken	75,33	4,41	14,52	Al _x Fe _y Si _z
0,3	30	compact	52,41	6,78	33,29	Fe ₂ Al ₅
		broken	72,26	15,29	2,53	Al _x Fe _y Si _z
	50	compact	58,67	8,73	23,27	Fe ₂ Al ₅
		broken	64,3	6,17	20,38	Al _x Fe _y Si _z
0,5	30	compact	43,28	2,98	42,13	FeAl ₂
		broken	62,68	5,16	12,05	Al _x Fe _y Si _z
	50	compact	57,94	10,72	28,59	FeAl ₃
		broken	68,93	10,72	11,72	Al _x Fe _y Si _z
0,7	30	compact	56,86	13,11	28,01	FeAl ₃
		broken	61,32	22,43	5,78	Al _x Fe _y Si _z
	50	compact	47,64	3,46	42,92	FeAl ₂
		broken	71,31	15,19	3,78	Al _x Fe _y Si _z

Tabel 4.9 Unsur yang terkandung di dalam lapisan intermetalik paduan Al-7%Si

%Mn	Waktu	lapisan	% Al	%Si	% Fe	Fasa yang terbentuk
0,1	30	compact	52,24	5,57	34,3	Fe ₂ Al ₅
		broken	57,94	5,96	26,48	Al _x Fe _y Si _z
	50	compact	49,14	1,99	45,09	FeAl
		broken	66,1	6,23	20,37	Al _x Fe _y Si _z
0,3	30	compact	55,51	6,72	31,97	FeAl ₃
		broken	60,61	6,54	24,69	Al _x Fe _y Si _z
	50	compact	59,76	5,68	28,2	Fe ₂ Al ₅
		broken	67,91	5,02	18,53	Al _x Fe _y Si _z

0,5	30	compact	59,72	7,76	27,96	Fe_2Al_5
		broken	62,59	9,3	16,1	$\text{Al}_x\text{Fe}_y\text{Si}_z$
	50	compact	55,81	7,73	33,05	FeAl_3
		broken	76,22	6,64	11,13	$\text{Al}_x\text{Fe}_y\text{Si}_z$
0,7	30	compact	55,91	8,02	32,8	FeAl_3
		broken	69,98	8,92	11,28	$\text{Al}_x\text{Fe}_y\text{Si}_z$
	50	compact	47,05	1,59	43,97	FeAl_2
		broken	63,23	4,71	18,42	$\text{Al}_x\text{Fe}_y\text{Si}_z$



Gambar 4.13 Diagram Fasa Fe-Al⁽³⁰⁾

Unsur-unsur yang didapat dari pengujian EDS diplot ke dalam gambar 4.12 untuk memperkirakan fasa-fasa yang mungkin terbentuk di dalam paduan Al-7%Si dan paduan Al-12%Si. Diagram fasa Fe-Al di bawah menunjukkan kondisi ketika terjadi reaksi antara aluminium cair dengan material baja, terdapat

lima jenis lapisan intermetalik yang kemungkinan terbentuk yaitu Fe_3Al , FeAl , FeAl_2 , Fe_2Al_5 dan FeAl_3 ⁽³¹⁾. 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.



BAB V

KESIMPULAN

1. Baja H13 dengan perlakuan *normal tempering* (suhu temper 550⁰C) memiliki kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan dengan baja H13 dengan perlakuan *over tempering* (suhu temper 600⁰C) dan baja H13 dengan kondisi *annealed*. Dimana kekerasan rata-rata pada baja H13 dengan perlakuan normal tempering adalah sebesar 421 VHN, sedangkan kekerasan rata-rata pada baja H13 dengan perlakuan over tempering dan baja H13 dengan kondisi annealed adalah berturut-turut 378 VHN dan 188 VHN.
2. Kekerasan *compact layer* lebih tinggi dibandingkan dengan kekerasan pada *broken layer*. Dan penambahan unsur Mn pada Al-7%Si dan Al-12%Si tidak berpengaruh terhadap kekerasan pada lapisan intermetalik.
3. Semakin tinggi kadar dari Mn (0,1% Mn, 0,3% Mn, 0,5%Mn, 0,7% Mn) kecenderungan ketebalan dari *compact layer* dan *broken layer* pada paduan Al-12%Si dan Al-7%Si akan berkurang.
4. Unsur Fe didalam *compact layer* lebih banyak dibandingkan unsur Fe didalam *broken layer*. Sedangkan unsur Al didalam *compact layer* lebih sedikit dibandingkan unsur Al yang ada didalam *broken layer*.

DAFTAR REFERENSI

1. Yulong Zhu, *et al.*, "Evaluation of soldering, washout and thermal fatigue resistance of advanced metal materials for aluminum die-casting dies," *Materials Science and Engineering A*, 379 (2004), hal. 420–431
2. Han, Q.S. Viswanathan. Analysis of the mechanism of die soldering in aluminium die casting. oak ridge. 2003 hal 1
3. W. Kajoch, A. F. (1991). Testing the *Soldering* Tendencies of Aluminum *Die Casting* Alloy. *NADCA Transaction* , 67-74
4. Sumanth Shankar, Diran Apelian. (2002). Mechanism and Preventive Measures for *Die Soldering* During Al *Casting* in a Ferrous Mold. *JOM* .
5. Sumanth Shankar, Diran Apelian. (2002). Mechanism and Preventive Measures for *Die Soldering* During Al *Casting* in a Ferrous Mold. *JOM*
6. Y.L Chu, P. C. (1993). *Soldering* Phenomenon in Aluminum *Die Casting* : Possible Causes and Cures. *Transactions Rosemon Illinox* , 360-371.
7. R. Shivpuri. (1991). An Evaluation of H-13 *Die Steel*, Surface Treatments and *Coating* for Wearing *Die Casting Dies*. *NADCA Transaction* , 391-397.
8. <http://www.h13.co.uk/> diakses tanggal 18 januari 2010
9. Sumanth Shankar, Diran Apelian. (2002). Mechanism of The *interface* Reaction Between Molten Alluminum Alloy and Tool Steel. *Metallurgical and Material Transactions* .
10. Y.L Chu, P. C. (1993). *Soldering* Phenomenon in Aluminum *Die Casting* : Possible Causes and Cures. *Transactions Rosemon Illinox* , 360-371.
11. Kobayashi, shigeaki. Takao yakou. Control of intermetallic coumpound layers at interface between steel and aluminium by diffusion-treatment. elsevier sceince. 2002
12. W. Kajoch, A. Fajkiel, "Testing the *Soldering Tendencies of Aluminum Die Casting Alloys*," *NADCA Transactions*, 1991, hal. 67-74
13. Y.L Chu, P. C. (1993). *Soldering* Phenomenon in Aluminum *Die Casting* : Possible Causes and Cures. *Transactions Rosemon Illinox* , 360-371.

14. Shankar,Sumanth. Diran Apelian. *Mechanism of the Interface Reaction between Molten Aluminum Alloy and Tool steel*. Metallurgical and materials transactions b. 2002
15. Shankar,Sumanth. Diran Apelian. *Mechanism and Preventive Measures for Die Soldering during Al Casting in a Ferrous Mold*.JOM.2002
16. Y.L. Chu, P.S. Cheng, and R. Shivpuri, *Soldering Phenomenon in Aluminum Die Casting : Possible Causes and Cures*, (Transactions Rosemon Illinox: North American Die Casting Association ,1993), hal. 361-371.
17. 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.
18. Kuijpers,N.C.W. Intermetallic phase transformations during homogenisation Al alloys literature review,2000, hal. 8-10
19. Zhu, Hanliang dan Jingjie Guo, Jun Jia. Experimental study and theoretical analysis on die soldering in aluminum die casting. Elsevier Science B.V.New Zealand:2002, hal. 4-5
20. Kuijpers,N.C.W. Intermetallic phase transformations during homogenisation Al alloys literature review,2000, hal. 8-10
21. Kuijpers,N.C.W. Intermetallic phase transformations during homogenisation Al alloys literature review,2000, hal. 8-10
22. Aluminium Casting Techniques - Sand Casting and Die Casting Processes diakses tanggal 23 Oktober 2009
23. Shankar, S. (2000). *A Study of interface REaction Mechanism Between Molten Aluminum and Ferrous Die Material*. WPI.
24. V. Joshi, A. Srivastava, R. Shivpuri. (2004). Intermetallic Formation and
25. Its Relation to *Interface Mass Loss and Tribology in Die Casting Die* . *Science Direct* .
26. J Joshi, V dan A. Srivastava, R. Shivpuri. Intermetallic formation and its relation to interface mass loss and tribology in die casting dies. (Elsevier B.V.New Zealand:2003), hal. 2233.

27. 26. Taylor, John A.. *The Effect of Iron in Al-Si Casting Alloys*. The University of Queensland, Brisbane, Australia. 2000, hal.1-8
28. Chen, Z. (2005). *Formation and Progression of Die Soldering During High Pressure Die Casting*. Elsevier B.V .
29. Y.L Chu, P. C. (1993). *Soldering Phenomenon in Aluminum Die Casting Possible Causes and Cures*. *Transactions Rosemon Illinox* , 360-371.
30. G. B Winkelman., Z. W. Chen D. H. St. John, M. Z. Jahedi “Morphological features of interfacial intermetallics and interfacial reaction rate in Al-11Si-2.5Cu-(0.15/0.60)Fe cast alloy/die steel couples,” 2004 Kluwer Academic Publishers:2004
31. Sumanth Shankar, Diran Apelian. (1997). *Die Soldering-A Metallurgical Analysis of The Molten Metal/Die Interface REaction*. *19th nternational Die Csting Congress*. NADCA Transaction

