



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH KECEPATAN INJEKSI TERHADAP
PEMBENTUKAN LAPISAN INTERMETALIK PADA
PERMUKAAN BAJA CETAKAN (*DIES*) H13 *NORMAL*
TEMPER DALAM PROSES CETAK TEKAN PADUAN Al-
12%Si**

SKRIPSI

**MUHAMMAD ABROR
0806331664**

**FAKULTAS TEKNIK
DEPARTEMEN METALURGI DAN MATERIAL**

**DEPOK
JANUARI 2012**



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH KECEPATAN INJEKSI TERHADAP
PEMBENTUKAN LAPISAN INTERMETALIK PADA
PERMUKAAN BAJA CETAKAN (*DIES*) H13 *NORMAL*
TEMPER DALAM PROSES CETAK TEKAN PADUAN Al-
12%Si**

SKRIPSI

**Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan sebagai Sarjana
Teknik di Departemen Metalurgi dan Material Fakultas Teknik
Universitas Indonesia**

**MUHAMMAD ABROR
0806331664**

**FAKULTAS TEKNIK
DEPARTEMEN METALURGI DAN MATERIAL**

**DEPOK
JANUARI 2012**

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi dengan judul:

**PENGARUH KECEPATAN INJEKSI TERHADAP PEMBENTUKAN
LAPISAN INTERMETALIK PADA PERMUKAAN BAJA CETAKAN
(DIES) H13 NORMAL TEMPER DALAM PROSES CETAK TEKAN
PADUAN Al-12%Si**

Yang dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Metalurgi dan Material Fakultas Teknik Universitas Indonesia, sejauh yang saya ketahui bukan merupakan tiruan atau duplikat dari skripsi yang telah dipublikasikan untuk mendapatkan gelar kesarjanaan di lingkungan Universitas Indonesia maupun Perguruan Tinggi atau instansi manapun kecuali bagian informasinya telah dicantumkan sebagaimana mestinya.

Depok, 19 Januari 2012



Muhammad Abror

NPM. 0806331664

PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh

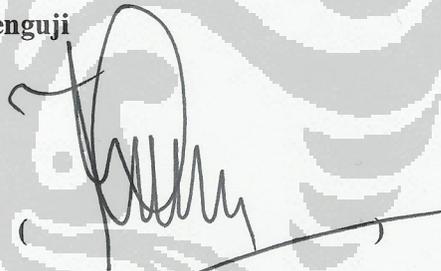
Nama : Muhammad Abror
NPM : 0806331664
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Judul :

**PENGARUH KECEPATAN INJEKSI TERHADAP PEMBENTUKAN
LAPISAN INTERMETALIK PADA PERMUKAAN BAJA CETAKAN
(DIES) H13 NORMAL TEMPER DALAM PROSES CETAK TEKAN
PADUAN Al-12%Si**

Dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Metalurgi dan Material Fakultas Teknik Universitas Indonesia, telah disetujui dan dinyatakan lulus dalam sidang ujian skripsi.

Dewan Penguji

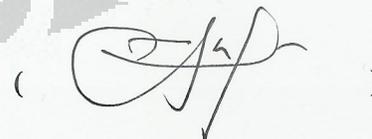
Dosen Pembimbing
Prof. Dr.-Ing. Ir. Bambang Suharno



Penguji 1
Dwi Marta Nurjaya, ST, MT



Penguji 2
Ir. Abdul Hay Muchsin, MT



Ditetapkan di : Depok
Tanggal : 24 Januari 2012

UCAPAN TERIMAKASIH

Saya mengucapkan syukur kepada Allah Swt yang telah memberikan nikmat dan rahmat-Nya yang tak terkira kepada hamba-Nya. Saya juga mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada kedua orang tua saya yang saya cintai, *Apa* saya **Saidil Khudri** dan *Umak* saya **Marwati**, orang tua yang sangat luar biasa yang selalu berkorban dengan ikhlas demi anak-anaknya. Mereka adalah motivator dan inspirator saya. Kemudian *Uti* saya **Rita Susanti**, Abang saya **Muhammad Riyadi** dan kedua adik saya **Hidayatul Hasanah** dan **Miftahul Jannah** yang selalu memberikan dukungan moril serta terus memotivasi saya dalam menyelesaikan studi di Departemen Teknik Metalurgi dan Material. Skripsi ini saya dedikasikan untuk mereka semua.

Terimakasih yang sebesar-besarnya kepada Bapak **Prof. Dr.-Ing. Ir. Bambang Suharno** selaku dosen pembimbing tugas akhir dan skripsi saya yang juga merupakan Kepala Departemen Teknik Metalurgi dan Material FT UI. Beliau telah bersedia meluangkan waktunya yang sangat berharga untuk memberi pengarahan, diskusi dan bimbingan serta persetujuan sehingga skripsi ini dapat saya selesaikan dengan baik tepat pada waktunya.

Saya juga menyampaikan rasa terimakasih yang luar biasa kepada Bapak **Ir. Abdul Hay Muchsin, MT** yang telah memberi kesempatan kepada saya untuk berpartisipasi dalam riset S3-nya untuk saya jadikan tugas akhir dan skripsi serta telah memberikan dukungan moril dan materil yang besar selama penelitian. Jasa Bapak kepada saya tidak akan pernah saya lupakan.

Kemudian untuk Bapak **Dwi Marta Nurjaya, ST, MT** selaku penguji dalam sidang skripsi saya, saya mengucapkan terimakasih atas saran dan masukannya yang sangat berguna untuk penyempurnaan skripsi saya.

Seterusnya terimakasih kepada rekan kerja saya dalam menyelesaikan Tugas Akhir (TA), **Hilmi Aziz** yang telah menjalani masa-masa penuh perjuangan secara bersama dari akhir Mei 2011 sampai sampai akhirnya skripsi ini dapat

diselesaikan pada akhir Januari 2012. Sukses selalu untukmu kawan, begitu juga dengan anak dan istrimu, semoga sehat selalu.

Ucapan terimakasih juga saya sampaikan kepada pihak-pihak yang telah memberikan bantuan kepada saya selama mengerjakan TA yaitu Bang Mamat (**Ahmad Ashari, ST**) yang banyak memberikan bantuan dan arahan kepada saya di Laboratorium Pengecoran, Bang **Zakiyuddin** yang telah memberikan bantuan dalam pengujian SEM dan **PT FSCM Manufacturing Indonesia** Pulo Gadung yang telah mengizinkan saya untuk menggunakan *Vickers Hardness Tester* untuk keperluan pengujian sampel TA saya.

Terimakasih dan apresiasi terbaik juga saya sampaikan kepada **Yayasan Daya Bhakti Pendidikan UI (YDBP-UI)** yang telah memberikan dana bantuan pendidikan dan program-program pengembangan diri yang sangat berharga kepada saya dari Januari 2010 hingga saya menyelesaikan pendidikan S1. Terimakasih juga kepada teman-teman **Batch 3 YDBP-UI** yang sungguh luar biasa, sangat bersahabat dan selalu menambah motivasi saya. Terimakasih pula kepada teman-teman saya di **IKACUI** (Ikatan Alumni Agam Cendekia UI) dan **Sarunai Pasaman** (himpunan mahasiswa Pasaman dan Pasaman Barat di UI dan Jabodetabek) yang sudah saya anggap sebagai keluarga saya yang paling dekat di Universitas Indonesia. Kebersamaan dengan mereka selalu menghadirkan inspirasi dan menambah semangat saya. Terimakasih juga untuk teman-teman **Metal 08**, semoga kita tetap solid selamanya.

Depok, Januari 2012

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Muhammad Abror
NPM : 0806331664
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Departemen : Teknik Metalurgi dan Material
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

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

Pengaruh Kecepatan Injeksi terhadap Pembentukan Lapisan Intermetalik pada Permukaan Baja Cetakan (*Dies*) H13 *Normal Temper* dalam Proses Cetak Tekan Paduan Al-12%Si

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 24 Januari 2012

Yang menyatakan



(Muhammad Abror)

ABSTRAK

Nama : Muhammad Abror
NPM : 0806331664
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Pembimbing : Prof. Dr.-Ing. Ir. Bambang Suharno
Judul : Pengaruh Kecepatan Injeksi terhadap Pembentukan Lapisan Intermetalik pada Permukaan Baja Cetakan (*Dies*) H13 *Normal Temper* dalam Proses Cetak Tekan Paduan Al-12%Si

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

Penelitian ini dilakukan untuk mempelajari karakteristik yang terdiri dari ketebalan dan kekerasan lapisan intermetalik Al-Fe-Si yang terbentuk selama proses pencelupan dinamis dengan kecepatan 2500, 3000 dan 3500 rpm. Benda uji yang digunakan yaitu baja perkakas H13 *normal temper*, dicelup pada Al-12%Si dengan temperatur 700 °C dengan penambahan unsur mangan 0.1%Mn, 0.3%Mn, 0.5%Mn dan 0.7%Mn. Dalam penelitian ini, dihasilkan satu lapisan intermetalik untuk setiap pencelupan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kecepatan 3000 rpm dengan penambahan 0.5 – 0.7% Mn adalah yang paling efektif untuk menurunkan ketebalan lapisan intermetalik pada fenomena *die soldering*. Namun kecepatan dan kadar Mn dalam paduan Al-12%Si tidak memberikan pengaruh langsung terhadap kekerasan lapisan intermetalik yang terbentuk.

Kata kunci:

Al-12%Si, H13, *Die Soldering*, *High pressure die casting*, Kecepatan injeksi *Normal Tempering*, Penambahan unsur Mn

ABSTRACT

Name : Muhammad Abror
Student Number : 0806331664
Major : Metallurgical and Materials Engineering
Counselor : Prof. Dr.-Ing. Ir. Bambang Suharno
Title : Effect of Injection Velocity on Intermetallic Layer Characteristics at Surface of Normal-Tempered H13 Die in High Pressure Die Casting of Al-12%Si Alloy

Die soldering is the result of reaction between liquid aluminum with surface of die material. Because of the high affinity of aluminum to iron causes iron from the die diffuse into aluminum and form intermetallic layers with binary phase Fe-Al and ternary Fe-Al-Si on the surface of the die.

This study was conducted to find the characteristics of Al-Fe-Si intermetallic layer formed during the dynamic dipping process with speed 2500, 3000 and 3500 rpm. Test specimen used in this study is normal-tempered H13 hot work tool steel, dipped in Al-12% Si with a temperature of 700 °C with the addition of manganese 0.1% Mn, 0.3% Mn, 0.5% Mn and 0.7% Mn. One intermetallic layer was produced for each dyeing in this study.

The results showed that speed of 3000 rpm with the addition of 0.5 - 0.7% Mn is the most effective to reduce the thickness of the intermetallic layer on the die soldering phenomenon. Speeds and levels of Mn addition in the alloy Al-12%Si did not show direct effect on the hardness of intermetallic layer.

Keywords:

Al-12%Si, H13, Die Soldering, High pressure die casting, Injection velocity, Normal Tempering, Mn addition

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	ii
PENGESAHAN	iii
UCAPAN TERIMA KASIH	iv
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 LATAR BELAKANG PENELITIAN	1
1.2 TUJUAN PENELITIAN	3
1.3 RUANG LINGKUP PENELITIAN	3
1.3.1 Material	3
1.3.2 Parameter Penelitian	4
1.3.3 Pengujian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 PENGECORAN CETAK TEKAN (<i>DIE CASTING</i>)	5
2.1.1 Proses <i>High Pressure Die Casting</i> (HPDC)	5
2.1.2 Proses <i>Low Pressure Die Casting</i> (LPDC)	10
2.2 PADUAN ALUMINIUM TUANG	10
2.2.1 Paduan Aluminium Silikon	12
2.2.2 Paduan Aluminium-12wt%Silikon (Al-12%Si)	13
2.2.3 Sistem Al-Fe-Mn-Si	14
2.3 MATERIAL CETAKAN	14
2.4 FENOMENA <i>DIE SOLDERING</i>	15
2.4.1 Mekanisme Terjadinya <i>Die Soldering</i>	15
2.4.2 Parameter yang Mempengaruhi <i>Die Soldering</i>	19
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	25
3.1 DIAGRAM ALIR PENELITIAN	25

3.2 PERALATAN DAN BAHAN	27
3.2.1 Peralatan	27
3.2.2 Bahan	27
3.3 PROSEDUR PENELITIAN	28
3.3.1 Perlakuan Panas <i>Normal Tempering</i> Baja H13	28
3.3.2 Pemotongan Sampel H13 <i>Normal Temper</i>	28
3.3.3 Pengamplasan Sampel H13 <i>Normal Temper</i>	29
3.3.4 Peleburan Al-12%Si untuk Pembuatan <i>Master Alloy</i>	29
3.3.5 Peleburan <i>Master Alloy</i>	29
3.3.6 Pencelupan Dinamis Sampel Baja H13	30
3.3.7 Preparasi Metalografi Sampel	32
3.3.8 Pengamatan dan Pengukuran Ketebalan Intermetalik	34
3.3.9 Pengujian Kekerasan Lapisan Intermetalik	36
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	38
4.1 INDIKASI FASA LAPISAN INTERMETALIK	38
4.2 PENGARUH KECEPATAN DAN UNSUR Mn TERHADAP KETEBALAN LAPISAN INTERMETALIK	52
4.3 PENGARUH KECEPATAN DAN UNSUR Mn TERHADAP KEKERASAN LAPISAN INTERMETALIK	57
4.4 PENGARUH KECEPATAN DAN KADAR Mn TERHADAP KOMPOSISI KIMIA LAPISAN INTERMETALIK	60
4.4.1 Pengaruh Kecepatan dan Kadar Mn terhadap Persentase Al pada Lapisan Intermetalik	60
4.4.2 Pengaruh Kecepatan dan Kadar Mn terhadap Persentase Fe dalam Lapisan Intermetalik	61
4.4.3 Pengaruh Kecepatan dan Kadar Mn terhadap Persentase Si dalam Lapisan Intermetalik	63
4.5 PERBANDINGAN HASIL PENGUJIAN SAMPEL <i>NORMAL TEMPER</i> DENGAN <i>OVER TEMPER</i>	65
BAB V KESIMPULAN	69
DAFTAR PUSTAKA	70
LAMPIRAN	74

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Prinsip proses pengecoran cetak tekan	5
Gambar 2.2 Skematis mesin <i>high pressure die casting</i>	6
Gambar 2.3 Mesin cetak ruang panas (<i>hot chamber</i>)	7
Gambar 2.4 Mesin <i>Cold Chamber HPDC</i>	7
Gambar 2.5 Toshiba Die Casting Machine	8
Gambar 2.6 Skematis mesin <i>low pressure die casting</i>	10
Gambar 2.7 Prinsip dasar pepaduan aluminium	12
Gambar 2.8 Diagram fasa Al-Si	13
Gambar 2.9 Diagram fasa sederhana AlFeMnSi	14
Gambar 2.10 Mekanisme <i>die soldering</i>	16
Gambar 2.11 Diagram fasa biner Fe-Al	18
Gambar 2.12 Hasil <i>die soldering</i> pada kecepatan berbeda	21
Gambar 2.13 Grafik fraksi liquid sebagai fungsi dari kadar Fe	23
Gambar 2.14 Pengaruh berbagai unsur terhadap lapisan intermetalik	24
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian	25
Gambar 3.2 Siklus perlakuan panas baja H13	28
Gambar 3.3 Sampel material H13 normal temper	28
Gambar 3.4 <i>Crucible furnace</i>	30
Gambar 3.5 Skema kerja pencelupan dinamis sampel baja H13	31
Gambar 3.6 Pemotongan sampel baja H13 <i>normal temper</i>	32
Gambar 3.7 Sampel setelah di- <i>mounting</i>	33
Gambar 3.8 Mesin amplas	33
Gambar 3.9 Mesin poles logam	34
Gambar 3.10 Coating Au-Pd pada permukaan sampel pengujian SEM	35
Gambar 3.11 SEM di DTMM FT UI	35
Gambar 3.12 Vickers microhardness tester	36
Gambar 3.13 Jejak indentasi pada pengukuran kekerasan dengan <i>vickers microhardness tester</i>	37

Gambar 4.1-4.12 Foto SEM sampel H13 setelah pencelupan	39-50
Gambar 4.13 Diagram fasa terner Al-Fe-Si	52
Gambar 4.14 Grafik pengaruh kecepatan terhadap ketebalan intermetalik	53
Gambar 4.15 Pengaruh naiknya kecepatan injeksi terhadap tebal lapisan intermetalik	55
Gambar 4.16 Grafik pengaruh kadar Mn terhadap ketebalan intermetalik	56
Gambar 4.17 Grafik pengaruh kadar Mn terhadap Faktor Segregasi dan pengaruh Faktor Segregasi terhadap volume % intermetalik	56
Gambar 4.18 Grafik pengaruh kecepatan terhadap kekerasan intermetalik	57
Gambar 4.19 Grafik pengaruh kadar Mn terhadap kekerasan intermetalik	58
Gambar 4.20 Grafik pengaruh kadar Fe terhadap kekerasan intermetalik	59
Gambar 4.21 Grafik pengaruh kecepatan terhadap kadar Al pada lapisan intermetalik	60
Gambar 4.22 Grafik pengaruh Mn terhadap kadar Al pada intermetalik	61
Gambar 4.23 Grafik pengaruh kecepatan terhadap kadar Fe pada lapisan intermetalik	62
Gambar 4.24 Grafik pengaruh Mn terhadap kadar Fe pada intermetalik	63
Gambar 4.25 Grafik pengaruh kecepatan terhadap kadar Si pada lapisan intermetalik	64
Gambar 4.26 Grafik pengaruh Mn terhadap kadar Si dalam intermetalik	64
Gambar 4.27 Grafik pengaruh kecepatan terhadap ketebalan rata-rata lapisan intermetalik sampel baja H13 <i>normal temper</i> dan <i>over temper</i>	66
Gambar 4.28 Pengaruh kecepatan terhadap kadar Fe rata-rata dalam lapisan intermetalik pada sampel baja H13 <i>normal temper</i> dan <i>over temper</i>	67

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Kecepatan injeksi untuk tiap jenis <i>Toshiba Die Casting Machines</i>	9
Tabel 2.2 Komposisi Kimia Baja Perkakas H 13	15
Tabel 3.1 Konversi kecepatan putaran sampel ke dalam kecepatan linier	31
Tabel 4.1 Komposisi kimia lapisan intermetalik hasil pencelupan dinamis baja H13 pada paduan Al-12%Si	51
Tabel 4.2 Nilai rata-rata ketebalan lapisan intermetalik	53
Tabel 4.3 Kekerasan lapisan intermetalik yang terbentuk setelah proses pencelupan dinamis sampel baja H13 dalam paduan Al-12%Si	57
Tabel 4.4 Perbandingan ketebalan lapisan intermetalik yang terbentuk pada sampel H13 <i>normal temper</i> dengan <i>over temper</i>	65
Tabel 4.5 Perbandingan kadar Fe dalam lapisan intermetalik pada sampel baja H13 <i>normal temper</i> dengan <i>over temper</i>	67

DAFTAR LAMPIRAN

Spektrum hasil uji EDS lapisan intermetalik pencelupan sampel pada penambahan 0,1%Mn dan kecepatan 2.500 rpm	74
Hasil uji EDS lapisan intermetalik pencelupan sampel pada penambahan 0,1%Mn dan kecepatan 2.500 rpm	75
Spektrum hasil uji EDS lapisan intermetalik pencelupan sampel pada penambahan 0,1%Mn dan kecepatan 3.000 rpm	76
Hasil uji EDS lapisan intermetalik pencelupan sampel pada penambahan 0,1%Mn dan kecepatan 3.000 rpm	77
Spektrum hasil uji EDS lapisan intermetalik pencelupan sampel pada penambahan 0,1%Mn dan kecepatan 3.500 rpm	78
Hasil uji EDS lapisan intermetalik pencelupan sampel pada penambahan 0,1%Mn dan kecepatan 3.500 rpm	79
Spektrum hasil uji EDS lapisan intermetalik pencelupan sampel pada penambahan 0,3%Mn dan kecepatan 2.500 rpm	80
Hasil uji EDS lapisan intermetalik pencelupan sampel pada penambahan 0,3%Mn dan kecepatan 2.500 rpm	81
Spektrum hasil uji EDS lapisan intermetalik pencelupan sampel pada penambahan 0,3%Mn dan kecepatan 3.000 rpm	82
Hasil uji EDS lapisan intermetalik pencelupan sampel pada penambahan 0,3%Mn dan kecepatan 3.000 rpm	83
Spektrum hasil uji EDS lapisan intermetalik pencelupan sampel pada penambahan 0,3%Mn dan kecepatan 3.500 rpm	84
Hasil uji EDS lapisan intermetalik pencelupan sampel pada penambahan 0,3%Mn dan kecepatan 3.500 rpm	85

Spektrum hasil uji EDS lapisan intermetalik pencelupan sampel pada penambahan 0,5%Mn dan kecepatan 2.500 rpm	86
Hasil uji EDS lapisan intermetalik pencelupan sampel pada penambahan 0,5%Mn dan kecepatan 2.500 rpm	87
Spektrum hasil uji EDS lapisan intermetalik pencelupan sampel pada penambahan 0,5%Mn dan kecepatan 3.000 rpm	88
Hasil uji EDS lapisan intermetalik pencelupan sampel pada penambahan 0,5%Mn dan kecepatan 3.000 rpm	89
Spektrum hasil uji EDS lapisan intermetalik pencelupan sampel pada penambahan 0,5%Mn dan kecepatan 3.500 rpm	90
Hasil uji EDS lapisan intermetalik pencelupan sampel pada penambahan 0,5%Mn dan kecepatan 3.500 rpm	91
Spektrum hasil uji EDS lapisan intermetalik pencelupan sampel pada penambahan 0,7%Mn dan kecepatan 2.500 rpm	92
Hasil uji EDS lapisan intermetalik pencelupan sampel pada penambahan 0,7%Mn dan kecepatan 2.500 rpm	93
Spektrum hasil uji EDS lapisan intermetalik pencelupan sampel pada penambahan 0,7%Mn dan kecepatan 3.000 rpm	94
Hasil uji EDS lapisan intermetalik pencelupan sampel pada penambahan 0,7%Mn dan kecepatan 3.000 rpm	95
Spektrum hasil uji EDS lapisan intermetalik pencelupan sampel pada penambahan 0,7%Mn dan kecepatan 3.500 rpm	96
Hasil uji EDS lapisan intermetalik pencelupan sampel pada penambahan 0,7%Mn dan kecepatan 3.500 rpm	97

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG PENELITIAN

Paduan aluminium merupakan material logam yang sangat penting dan luas penggunaannya di dunia industri. Dari beberapa jenis paduan aluminium, paduan aluminium silikon adalah paduan aluminium yang paling banyak digunakan selama puluhan tahun terakhir. Hal ini disebabkan karena paduan aluminium silikon memiliki kelebihan antara lain kekuatan yang tinggi, densitas yang rendah sehingga material ini ringan, ketahanan korosi yang baik, konduktivitas termal dan listrik yang baik, mampu cor yang tinggi dan biaya pengerjaan rendah.^[1]

Sektor industri otomotif, terutama untuk komponen blok mesin, silinder, bodi kendaraan dan lain-lain merupakan pengguna terbesar paduan aluminium silikon. Permintaan terhadap paduan aluminium silikon terus meningkat secara konstan setiap tahunnya.^[2]

Salah satu proses penggunaan paduan aluminium adalah proses cetak tekan (*die casting*), dimana proses ini telah berkembang sejak beberapa dekade lalu. Proses ini memiliki berbagai keuntungan, seperti proses yang relatif mudah, murah dan dapat memproduksi produk secara massal. Disisi lain, biaya dari cetakan (*die*) relatif tinggi yaitu mencapai 20% dari biaya produksi total pada industri aluminium *die casting*.^[3] Oleh karena itu, umur pakai *die* menjadi pertimbangan utama dalam proses *die casting*. Harga sebuah *die* dapat lebih mahal daripada mesin *die casting*, tergantung dari kompleksitas produk yang dihasilkan. Umur pakai *die* dalam *casting* paduan aluminium bervariasi dari 20.000 sampai 250.000 produk yang dihasilkan.^[4] Oleh karena itu, semakin banyak komponen yang dapat diproduksi dari sebuah *die*, maka biaya produksi akan semakin rendah atau dengan kata lain bahwa peningkatan umur pakai *die* bisa mengurangi biaya produksi sebuah komponen.

Selain berbagai keuntungan yang telah disebutkan sebelumnya, proses *die casting* juga memiliki tantangan dalam hal peningkatan produktivitas dan menurunkan biaya produksi. Salah satu hambatan yang paling dominan dalam

proses *die casting* aluminum adalah *die soldering* dimana paduan aluminum tuang menempel pada permukaan *die* dan tetap tinggal di permukaan *die* setelah eaksi produk sehingga siklus berikutnya menjadi kurang sempurna.^[5]

Menurut K. Vankestan et. al.^[6], *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. Hal ini akan menyebabkan masalah pada proses *die casting* yaitu melekatnya komponen pada cetakan dan meningkatkan keausan adhesif ketika komponen dilepaskan dari cetakan. Melekatnya komponen ke permukaan cetakan dapat menyebabkan kerusakan produk cetakan dan rusaknya cetakan tersebut.

Die soldering merupakan hasil reaksi antara permukaan aluminium cair dan material *die*. Paduan aluminum silikon dan baja perkakas H13 merupakan *molten metal* dan material *die* yang umum digunakan dalam proses aluminum *die casting*. Logam cair masuk melalui *gate* pada tekanan, temperatur, dan kecepatan yang tinggi. Siklus *casting* pada umumnya terjadi kurang dari satu menit. Oleh karena itu, permukaan *die* dapat mengalami keausan berlebih. Hal ini menyebabkan kerusakan lapisan (*coating*) permukaan die dan pelubrikan. Akibatnya, permukaan baja cetakan mengalami kontak dengan aluminium cair. Aluminium menyerang daerah yang lemah dalam mikrostruktur baja yaitu daerah antara plat martensitik dan partikel karbida yang merupakan daerah intergranular dan terbentuk erosi sumuran (*erosion pit*). Unsur Fe dari baja berdifusi menuju aluminium cair yang menghasilkan pembentukan lapisan intermediet (*intermediate layer*) dari fasa biner Fe-Al dan fasa terner Fe-Al-Si. Fasa ini kemudian dapat bergabung dan menghalangi kontak lanjut aluminium dengan baja. Aluminium menempel pada baja dan menghasilkan *soldering*.^[7,8]

Pada proses *die casting*, paduan aluminum cair diinjeksi ke dalam cetakan berongga (*die cavity*) pada rentang temperatur 670-710 °C dengan kecepatan yang tinggi, berkisar 30-100 m/s dan tekanan injeksi berkisar 50-80 MPa.^[9,10] Kondisi seperti ini dapat menyebabkan terjadinya erosi dan *die soldering*. Keausan erosi ini tergantung pada kecepatan (*gate velocity*), sudut penyerangan (*angle of attack*) dan sejumlah partikel keras dari logam cair. Untuk menahan erosi, permukaan *die*

diperkeras dan ditemper untuk menjaga kekerasannya tetap tinggi pada temperatur *die casting*.^[11] Sedangkan *die soldering* biasanya terjadi pada saat proses pembekuan. Peristiwa *die soldering* umumnya lebih sering terjadi di sekitar saluran (*gate*) yang disebabkan tingginya temperatur dan kecepatan aluminium cair masuk ke cetakan.^[12]

1.2 TUJUAN PENELITIAN

Penelitian ini bertujuan untuk:

- Mengetahui pengaruh kecepatan injeksi terhadap ketebalan dan kekerasan lapisan intermetalik setelah proses celup dinamis sampel baja H13 *normal temper* pada paduan Al-12%Si yang mengandung 0,1%Mn; 0,3%Mn; 0,5%Mn dan 0,7%Mn.
- Mengetahui pengaruh penambahan unsur paduan Mn pada paduan Al-12%Si dengan kadar 0,1%Mn; 0,3%Mn; 0,5%Mn dan 0,7%Mn terhadap ketebalan dan kekerasan lapisan intermetalik setelah proses celup dinamis sampel baja H13 *normal temper*.
- Mengetahui kecepatan injeksi yang paling efektif untuk meminimalisasi terjadinya *die soldering*.
- Mengetahui kadar Mn yang paling optimal dalam menurunkan efek *die soldering* pada proses cetak tekan paduan Al-12%Si.

Pada akhirnya, penelitian ini diharapkan dapat menjadi sumber informasi mengenai *die soldering* pada proses *high pressure die casting* dan hal-hal yang mempengaruhinya. Kemudian penelitian ini diharapkan dapat dijadikan sebagai acuan untuk meminimalisasi cacat *die soldering* dan meningkatkan produktivitas benda cetak dan umur pakai dari cetakan pada industri pengecoran.

1.3 RUANG LINGKUP PENELITIAN

1.3.1 Material

1. Baja perkakas H13 *normal temper* berbentuk silinder pejal.
2. Logam paduan Al-12%Si.
3. Al-80%Mn.

1.3.2 Parameter Penelitian

1. Temperatur tahan paduan aluminum cair: 700 °C.
2. Mn yang ditambahkan: 0,1%Mn; 0,3%Mn; 0,5%Mn dan 0,7%Mn.
3. Waktu pencelupan: 90 detik.
4. Kecepatan putaran sampel: 2.500 rpm, 3.000 rpm dan 3.500 rpm.

1.3.3 Pengujian

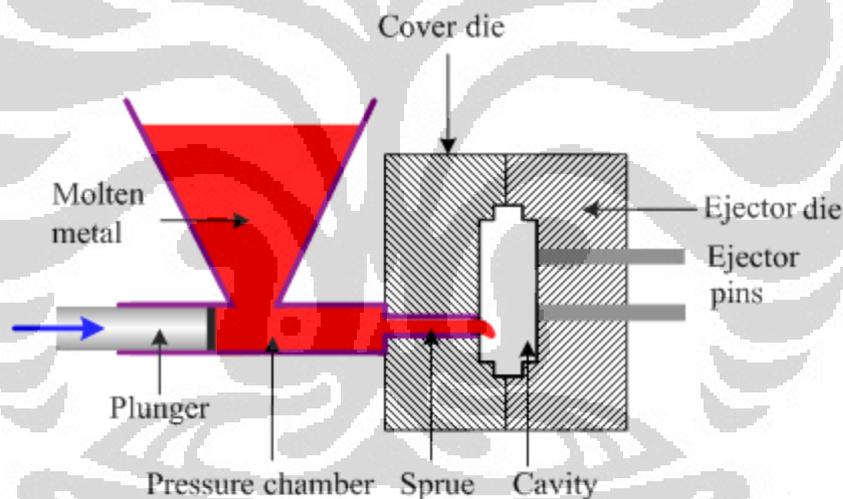
1. Pengujian komposisi kimia master alloy menggunakan *Optic Emission Spectrometer* (OES).
2. Pengujian ketebalan lapisan intermetalik yang terbentuk setelah pencelupan dinamis menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM).
3. Pengujian komposisi kimia lapisan intermetalik yang terbentuk setelah pencelupan dinamis menggunakan *Energy Dispersive Spectrometer* (EDS).
4. Pengujian kekerasan lapisan intermetalik yang terbentuk setelah pencelupan dinamis menggunakan *Microvickers Hardness Tester*.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 PENGECORAN CETAK TEKAN (*DIE CASTING*)

Die casting adalah suatu proses pengecoran dengan menggunakan cetakan logam. Proses die casting dapat memperoleh hasil yang lebih baik dibandingkan proses pengecoran lainnya. Hal ini disebabkan karena produk yang dihasilkan mempunyai sifat-sifat yang sangat baik, seperti dimensi yang sangat presisi, dapat memproduksi produk secara massal dan dapat menghasilkan permukaan coran yang halus^[3]. Dalam proses die casting ada tiga parameter keberhasilan terhadap proses yang dilakukan, yaitu cetakan, mesin die casting, dan materialnya sendiri^[21]. Salah satu keterbatasan die casting adalah harga mesin dan cetakan yang mahal.

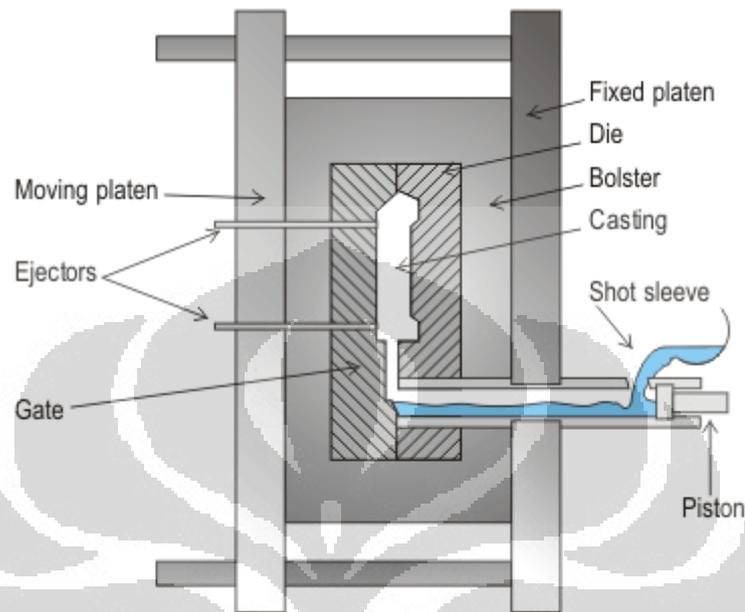


Gambar 2.1 Prinsip proses pengecoran cetak tekan ^[22]

2.1.1 Proses *High Pressure Die Casting* (HPDC)

Pengecoran cetak bertekanan tinggi merupakan proses yang paling banyak digunakan dalam dunia industri. Pada proses ini logam cair diinjeksikan ke dalam rongga cetakan (*die*) dengan tekanan tinggi, sekitar $600-1.100 \text{ kg/cm}^2$ ^[39] dan kecepatan injeksi sampai dengan 13 m/s .^[38] Logam cair akan membeku dengan cepat dalam *die* dan hasil cor kemudian dilepaskan dari rongga cetakan oleh suatu sistem yang disebut *ejector*. Proses pengisian cetakan sangat cepat, sehingga metode ini dipakai untuk pengecoran benda-benda yang tipis dengan bentuk

rumit. Disamping itu, dengan proses pengecoran yang sangat singkat dan banyaknya produk yang dihasilkan dapat membuat produksi lebih ekonomis dan efisien.

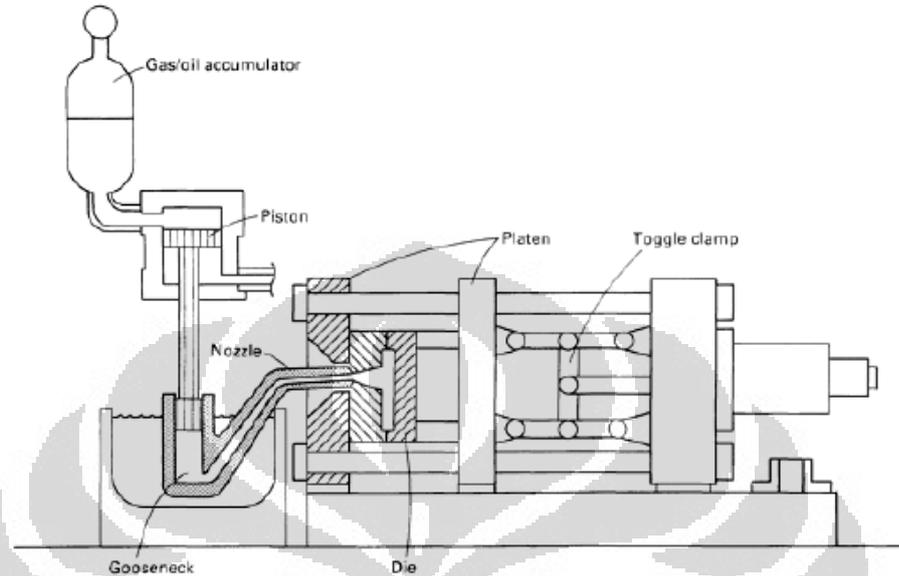


Gambar 2.2 Skematis mesin *high pressure die casting*^[23]

Mesin HPDC seperti pada gambar 2.2 terdiri dari dua plat vertikal yang didalamnya terdapat *bolster* yang berfungsi untuk menyanggah cetakan. Salah satu plat dapat digerakkan sehingga cetakan dapat dibuka dan ditutup. Logam cair dituang kedalam *shot sleeve* dan kemudian dimasukkan ke dalam cetakan menggunakan piston yang digerakkan secara hidrolik. Setelah logam cair membeku, cetakan terbuka dan benda coran diambil.

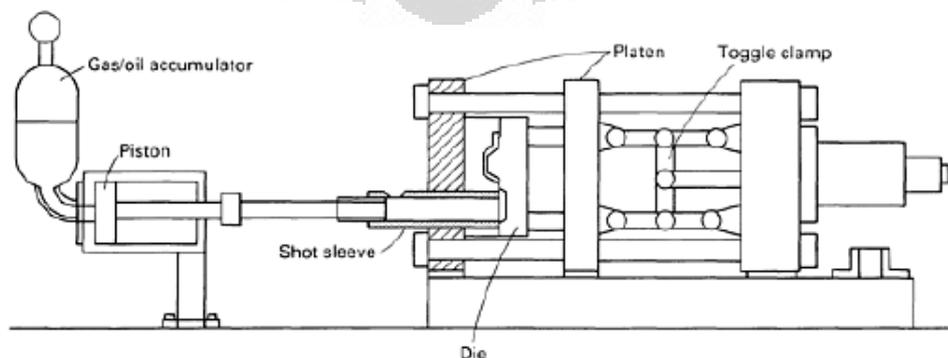
Berdasarkan *holding furnace* yang digunakan, *high pressure die casting* dapat kategorikan menjadi dua jenis proses, yaitu proses kamar panas (*hot chamber process*) dan proses kamar dingin (*cold chamber process*). Perbedaan kedua proses ini adalah perbedaan aplikasi dari metode yang dipakai serta jenis paduan yang dapat digunakan. Pada *hot chamber process*, *holding furnace* didesain terintegrasi dengan mesin *die cast* dan letak *plunger* terdapat didalam *holding furnace* sehingga terendam oleh logam cair. Proses ini biasanya digunakan untuk logam dengan titik lebur yang rendah seperti paduan-paduan Zn, Pb, Sn, dan Mg yang bertujuan untuk mengurangi resiko terjadinya pembekuan logam yang terlalu cepat. Proses ini memiliki beberapa keunggulan yaitu dapat

mengurangi efek turbulensi dari cairan logam, mengurangi efek oksidasi terhadap udara bebas, dan dapat mengurangi panas yang hilang selama proses penekanan hidrolik berlangsung. Mesin *hot chamber HPDC* dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Mesin cetak ruang panas (*hot chamber*)^[24]

Proses *hot chamber* memiliki kekurangan, yaitu biaya perawatan sistem yang mahal dan kontaminasi logam cair oleh kontainer atau sebaliknya. Kontak yang terlalu lama antara material cair dan komponen dari mesin *die casting* akan menimbulkan banyak masalah pada proses produksi yang berlangsung. Masalah ini dapat diatasi pada proses kamar dingin (*cold chamber*) dimana sumber logam cair dipisahkan dari mesin selama proses. Hal ini memungkinkan material yang memiliki titik lebur yang tinggi seperti paduan-paduan aluminium, tembaga, dan beberapa jenis paduan besi dapat dicor dengan menggunakan metode ini. Mesin *cold chamber HPDC* dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Mesin *Cold Chamber HPDC*^[24]

Holding furnace terletak terpisah dari mesin *die cast* dalam proses *cold chamber*. Transfer logam cair dilakukan dengan pompa otomatis atau *ladle* mekanik. Pada proses ini kemungkinan abrasi dan kontaminasi lebih kecil. Proses ini menggunakan sebuah *ladle* yang terletak diluar *holding furnace*-nya. aluminium cair dipindahkan menggunakan sebuah *ladle* hidrolik dan dituangkan kedalam *plunger* sehingga temperatur yang hilang ketika aluminium ditransfer dari *holding furnace* ke *plunger* harus diperhitungkan.

Contoh mesin *high pressure die casting* yang sering digunakan dalam industri manufaktur peralatan kendaraan bermotor adalah mesin *die casting* buatan Toshiba Machine Co.,Ltd. Contoh mesin untuk jenis *cold chamber* dan *hot chamber* dapat dilihat pada Gambar 2.5 berikut ini.



Gambar 2.5 Toshiba Die Casting Machine. Atas: Type DC350J-MS *cold chamber*.

Bawah: Type DH250A *hot chamber*^[38]

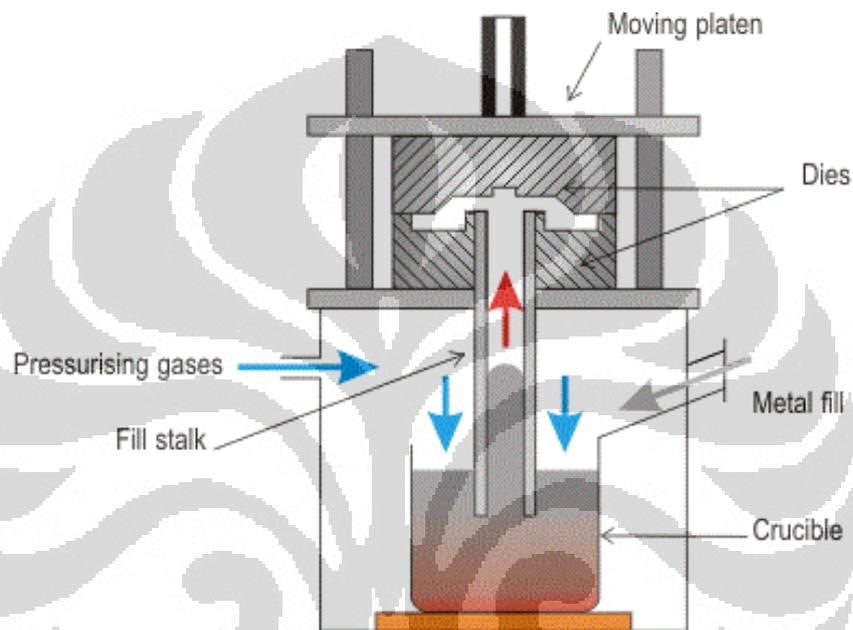
Kecepatan injeksi logam cair (*injection speed*) untuk masing-masing tipe *Toshiba Die Casting Machines* diberikan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Kecepatan injeksi untuk tiap jenis *Toshiba Die Casting Machines*^[38]

<i>Machine Type</i>	<i>Chamber</i>	<i>Injection Speed (m/s)</i>	
		<i>Min</i>	<i>Max</i>
DC135J-SX	<i>Cold</i>	0,05	7,0
DC135J-T	<i>Cold</i>	0,05	6,0
DC250J-SX	<i>Cold</i>	0,1	7,0
DC250J-MS	<i>Cold</i>	0,1	8,0
DC250J-MH	<i>Cold</i>	0,05	13,0
DC350J-SX	<i>Cold</i>	0,1	7,0
DC350J-MS	<i>Cold</i>	0,1	8,0
DC350J-MH	<i>Cold</i>	0,05	11,0
DC500J-SX	<i>Cold</i>	0,1	7,0
DC500CJ-MS	<i>Cold</i>	0,1	8,0
DC500J-MH	<i>Cold</i>	0,1	12,0
DC650J-SX	<i>Cold</i>	0,1	7,0
DC650J-MS	<i>Cold</i>	0,1	7,0
DC650J-MH	<i>Cold</i>	0,05	10,5
DC800J-SX	<i>Cold</i>	0,1	7,0
DC800J-MS	<i>Cold</i>	0,1	6,5
DC800J-MH	<i>Cold</i>	0,05	10,0
DC1000C	<i>Cold</i>	0,1	4,5
DC1250CS	<i>Cold</i>	0,1	5,0
DC1650CS2	<i>Cold</i>	0,1	4,5
DC2250CS2	<i>Cold</i>	0,1	4,5
DC2500CS2	<i>Cold</i>	0,1	5,0
DC3500CS	<i>Cold</i>	0,1	4,5
DXHV350J-MS	<i>Semi Hot</i>	0,03	5,0
DH80	<i>Hot</i>	0,1	1,5
DH150	<i>Hot</i>	0,1	2,5
DH250	<i>Hot</i>	0,1	2,5
DH500	<i>Hot</i>	0,1	5,0
DH800	<i>Hot</i>	0,1	5,0
DEC150MT	<i>Hybrid</i>	0,05	10,0

2.1.1 Proses *Low Pressure Die Casting* (LPDC)

Seperti skema *low pressure die casting* pada Gambar 2.6, *die* diisi dari krusibel bertekanan di bagian bawah, dan tekanan biasanya sampai dengan 0,2-0,5 kg/cm² dan kecepatan injeksi antara 0,15-0,6 m/s.^[39] LPDC khusus digunakan untuk memproduksi komponen yang simetris rotasi. Contoh produk yang dimanufaktur dengan teknik ini adalah roda (velg) kendaraan bermotor.^[23]



Gambar 2.6 Skematis mesin *low pressure die casting*^[23]

2.2 PADUAN ALUMINIUM TUANG

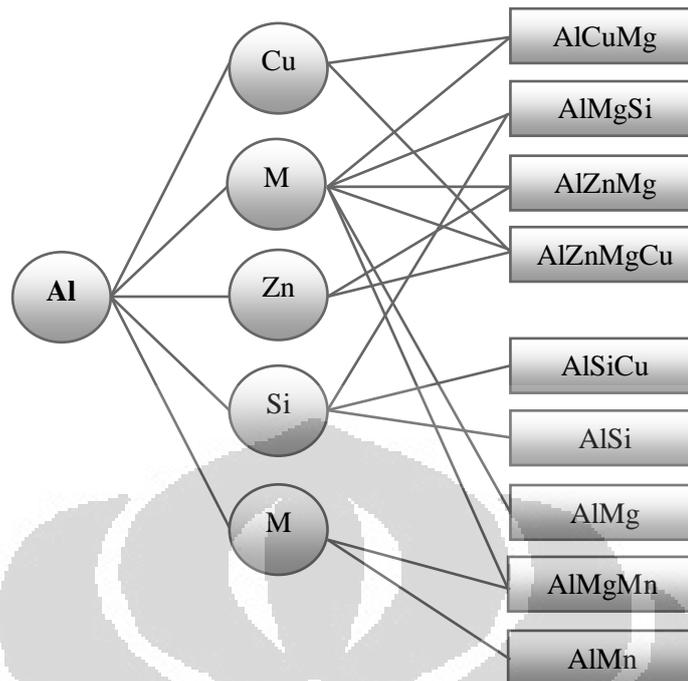
Saat ini aluminium tuang merupakan salah satu jenis paduan yang banyak dipakai dalam industri pengecoran. Aluminium diadaptasikan untuk berbagai macam metode pengecoran yang umumnya dipakai dan dapat dituang langsung kedalam cetakan logam yang terpasang pada mesin otomatis dengan volume yang besar. Terdapat beberapa karakteristik aluminium tuang yang menunjang maupun yang menghambat kualitas produk cor, karakteristik tersebut akan dijelaskan sebagai berikut.

Sifat-sifat dari aluminium tuang yang menunjang proses cor pada aluminium adalah sebagai berikut:^[25]

- Fluiditas yang baik, sehingga mampu mengisi rongga-rongga cetakan yang tipis.
- Temperatur lebur dan tuang yang rendah dibandingkan dengan material lain sehingga energi pemanasan dapat diminimalkan.
- Siklus penuangan yang cukup cepat, dikarenakan perpindahan panas dari aluminium cair ke cetakan relatif cepat sehingga produktifitas dapat ditingkatkan.
- Kelarutan gas hidrogen dalam aluminium dapat di kontrol dengan proses yang baik.

Namun, Selain kelebihan-kelebihan tersebut, paduan aluminium tuang juga memiliki beberapa sifat yang kurang menguntungkan, seperti berat jenis yang rendah sehingga pengotor-pengotor dengan berat jenis yang hampir sama dengan aluminium dapat dengan mudah tercampur. Pada dasarnya, sifat-sifat negatif tersebut dapat diatasi dengan cara-cara tertentu, seperti *degassing*, *fluxing*, dan pemilihan desain yang baik dalam proses penuangannya.

Karena aluminium memiliki sifat mekanis yang rendah dalam bentuk murninya, maka selalu ditambahkan unsur paduan dalam proses pengecorannya. Unsur paduan yang ditambahkan ke dalam aluminium memiliki kelarutan yang berbeda-beda. Ada beberapa unsur yang menjadi dasar paduan aluminium komersial, yaitu Si, Zn, Mg, Cu, dan Mn, yang masing-masing memiliki kelarutan lebih dari 1%. Jumlah total dari unsur-unsur tersebut dapat mencapai 10wt.% dari komposisi keseluruhan. Semua unsur paduan tersebut kemudian dapat digunakan dalam beberapa variasi kombinasi paduan, seperti tampak pada Gambar 2.7.



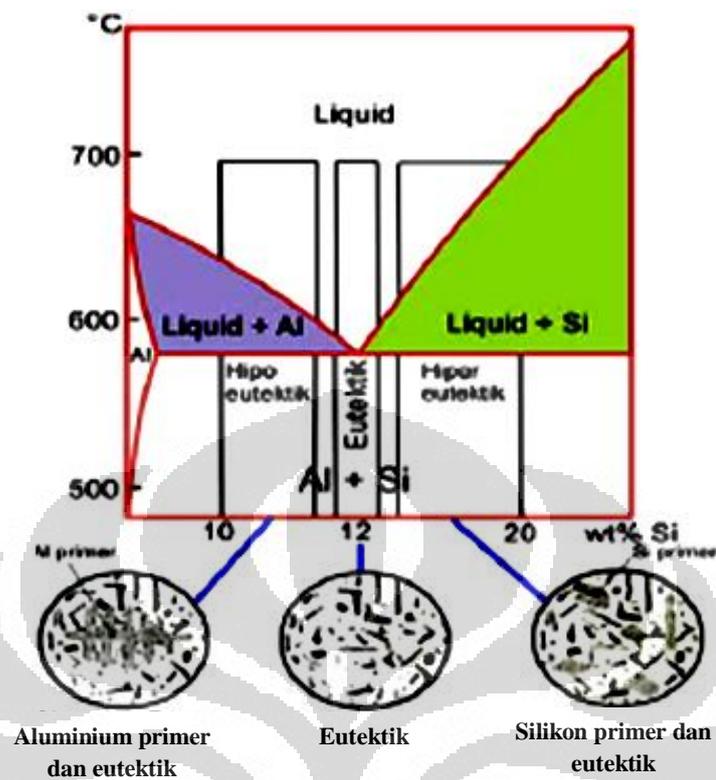
Gambar 2.7 Prinsip dasar pepaduan aluminium ^[26]

2.2.1 Paduan Aluminium Silikon

Paduan aluminium silikon memiliki daerah sistem biner mulai dari sistem yang paling sederhana hingga sistem paduan yang lebih kompleks. Secara garis besar, paduan aluminium-silikon dibagi menjadi tiga daerah utama, yaitu komposisi hipoeutektik, komposisi eutektik dan komposisi hypereutektik.

Struktur utama dari ketiga komposisi paduan ini adalah berupa fasa α -Al, yang sangat kaya akan kandungan aluminium. Struktur ini akan tetap muncul walaupun pada komposisi hipereutektik, karena bentuk struktur ini akan selalu terpisah pada fasa padatnya 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 silikon yang kasar ini juga dapat ditemui pada paduan eutektik. ^[28]

Diagram fasa Al-Si dan mikrostruktur hipoeutektik, eutektik dan hypereutektik dapat dilihat pada Gambar 2.8 berikut ini.



Gambar 2.8 Diagram fasa Al-Si dan mikrostruktur paduan pada komposisi hipoeutektik, eutektik, dan hipereutektik.^[27]

2.2.2 Paduan Aluminium-12wt%Silikon (Al-12%Si)

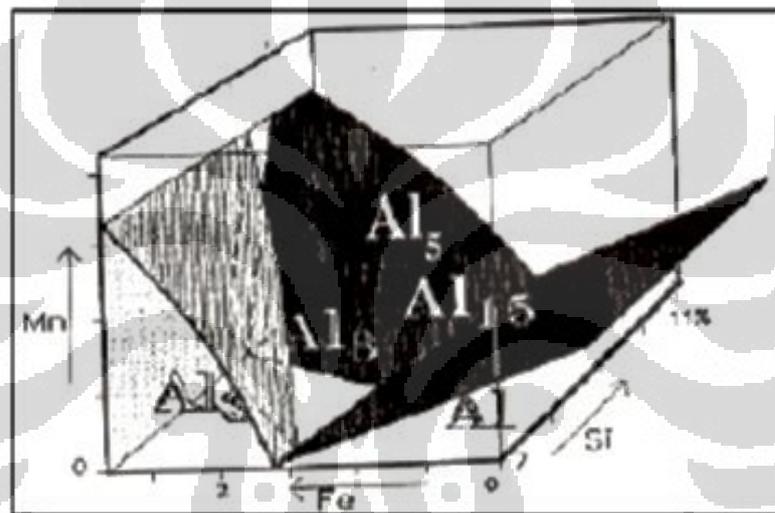
Paduan aluminium-silikon merupakan jenis paduan yang paling banyak digunakan untuk keperluan komersil (80-95% dari total aluminium tuang yang diproduksi). Hal tersebut dikarenakan paduan aluminium-silikon memiliki karakteristik cor yang lebih baik dibandingkan dengan jenis paduan lainnya. Selain itu paduan ini memiliki variasi sifat mekanis, sifat *castability* (mampu cor), ketahanan korosi, dan sifat mampu permesinan yang baik serta dapat dilas.^[27]

Paduan aluminium silikon yang digunakan dalam penelitian ini adalah paduan Al-12%Si yang termasuk kedalam jenis paduan aluminium silikon eutektik. Komposisi eutektik merupakan daerah dimana paduan Al-Si dapat membeku secara langsung dari fasa cair ke fasa padatnya. Proses pembekuan yang berlangsung menyerupai proses pembekuan logam murni, dimana temperatur awal dan temperatur akhir peleburan adalah sama (*isothermal*). Adanya struktur eutektik ini yang mengakibatkan paduan aluminium-silikon memiliki

karakteristik mampu cor yang baik. Komposisi ini memiliki kandungan silikon bervariasi mulai dari 11,7% - 12,2%.^[28]

2.2.3 Sistem Al-Fe-Mn-Si

Pada paduan standar dengan kadar silikon tertentu, jumlah besi dan mangan memegang peranan penting dalam peningkatan sifat mekanis material yang akan diproduksi. Pada Gambar 2.9. menunjukkan diagram fasa sederhana, menampilkan sistem Al-Fe-Mn-Si yang paling banyak terjadi. Mulai dari pojok kanan bawah, dapat terlihat semakin meningkatnya jumlah Mn dan Fe akan menyebabkan semakin banyak pengendapan berbagai jenis fasa intermetalik.



Gambar 2.9 Diagram fasa sederhana AlFeMnSi^[9]

2.3 MATERIAL CETAKAN

Pada penelitian ini digunakan baja perkakas H13 dengan perlakuan panas *normal temper* sebagai material *dies*. Baja AISI H13 adalah jenis baja yang dikenal luas pemakaiannya untuk proses pengerjaan temperatur tinggi seperti cetakan pada proses pengecoran cetak tekan (*die casting*), *mold* dan silinder untuk proses dari plastik serta berbagai penggunaan lainnya^[29].

Paduan utama dari baja jenis ini adalah unsur kromium (Cr) yang menyebabkan tingginya daya tahan terhadap reaksi logam cair. Adanya unsur vanadium (V) sebesar 1% mempunyai efek mencegah terjadinya pertumbuhan butir dan menaikkan sifat tahan baja terhadap efek pelunakan pada temperatur

operasi. Adanya unsur lain seperti molybdenum (Mo) dapat menaikkan sifat kemampukerasan dari baja perkakas tersebut^[24].

Tabel 2.2 Komposisi Kimia Baja Perkakas H 13^[30]

AISI	JIS	Komposisi (Wt%)									
		C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	V	Cu	P	S
H13	SKD61	0,32-	0,80-	0,20-	0,3	4,75-	1,10-	0,80-	0,25	0,03	0,03
		0,45	1,20	0,50		5,50	1,75	1,20			

Baja H13 yang digunakan dilakukan perlakuan panas normal temper untuk mendapatkan kekerasan yang lebih tinggi. H13 *as anneal* di-temper pada temperatur 550 °C selama satu jam dan didinginkan pada udara ruang. Dengan perlakuan *temper* ini akan diperoleh kekerasan baja H13 sebesar 52-54 HRC^[31].

Sifat yang diharapkan dari baja ini adalah daya tahan terhadap deformasi pada temperatur operasi, daya tahan terhadap kejut termal dan mekanis, tahan aus dan erosi pada temperatur tinggi, tahan terhadap deformasi perlakuan panas, tahan terhadap kelelahan panas yang menyebabkan *heat cracking* (retak halus pada permukaan cetakan logam). Selain itu, H13 juga mempunyai ketahanan yang baik terhadap fatik termal. Ketahannya terhadap fatik termal, erosi dan keausan membuat material ini dipilih sebagai material cetakan untuk aluminium dan magnesium *die casting*.

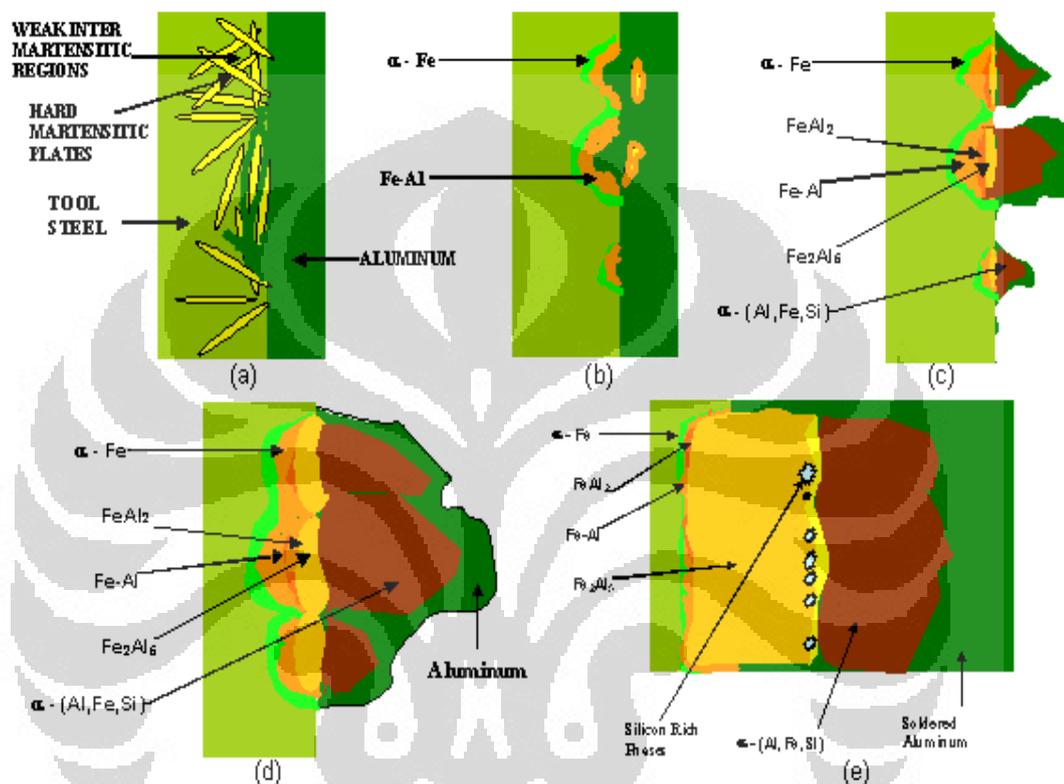
2.4 FENOMENA DIE SOLDERING

2.4.1 Mekanisme Terjadinya Die Soldering

Die soldering adalah proses pelengketan (*sticking*) antara dies dengan logam cair karena terbentuknya lapisan intermetalik pada permukaan. Parameter dominan yang mempengaruhi terjadinya die soldering antara lain^[32]:

- temperatur logam cair dan cetakan
- sifat dan komposisi kimia dari *casting alloy* dan lapisan intermetalik
- pelumasan dan *coating* pada cetakan
- sifat cetakan dan parameter operasi.

Mekanisme terjadinya soldering bergantung pada difusi dan reaksi kimia dari elemen yang terdapat pada cetakan dan logam cair. Menurut Shankar^[8], soldering merupakan reaksi difusi–besi yang terkandung pada cetakan, masuk ke dalam aluminium cair, bereaksi membentuk lapisan intermetalik. Adapun tahapannya dapat dilihat pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Mekanisme *die soldering*^[8]

Mekanisme terjadinya die soldering ini terdiri dari enam tahapan proses, yaitu^[8]:

a. Erosi Pada Permukaan Die

Aluminium cair kontak dengan permukaan die secara berulang pada setiap *cast cycle*. Baja perkakas pada umumnya dilakukan perlakuan panas dengan ditemper dua kali untuk meningkatkan kekerasan. Ketika proses pengecoran, Al cair menyerang daerah yang lebih lunak dari permukaan die. Daerah lunak ini berada diantara *hard martensitic plates* dan partikel karbida yang merupakan daerah intergranular. Ketika Al cair mengerosi daerah lunak pada permukaan cetakan, akan terbentuk *solid solution* primer dari Fe oleh larutan Al.

b. Pitting Pada Permukaan Die

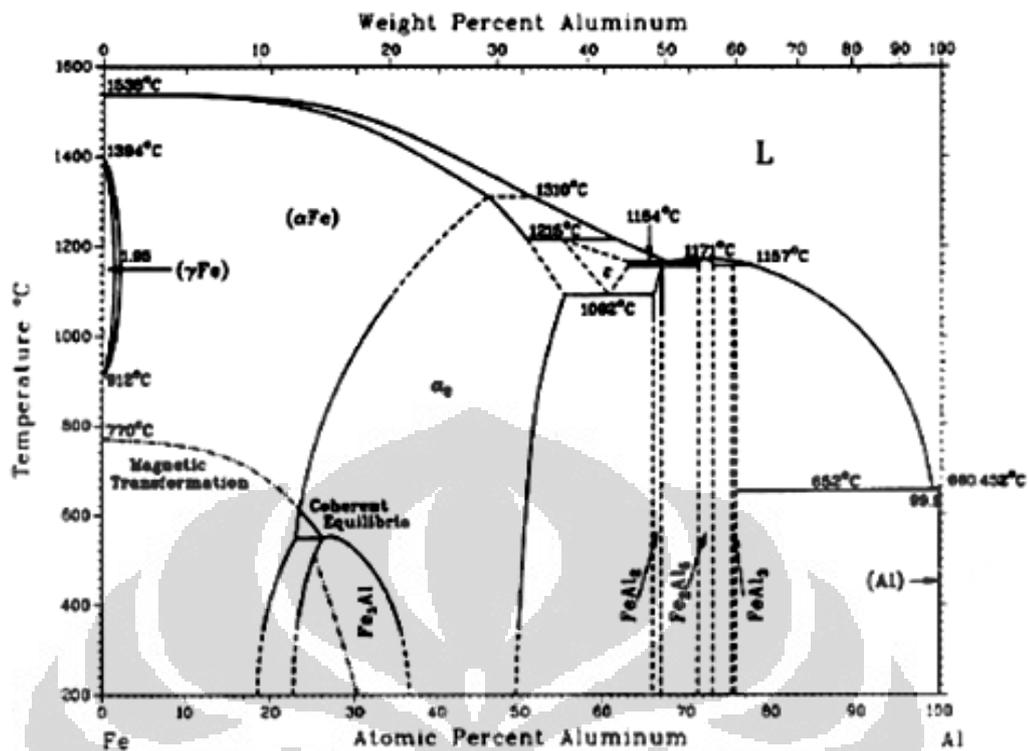
Mula-mula batas butir dan fasa yang lunak pada permukaan baja diserang oleh Al, sehingga terbentuk lubang yang *hemispherical* (sumuran).

c. Pembentukan Senyawa Fe-Al

Al bereaksi dengan permukaan butir yang longgar, dan pada permukaan terbentuk lubang yang memiliki kandungan fasa biner Fe-Al lebih banyak seperti FeAl, FeAl₂, Fe₂Al₅ dan FeAl₃. Pembentukan lapisan senyawa biner ini disebabkan oleh reaksi dari setiap fasa dengan pembaruan molten Al secara terus menerus dan difusi Fe keluar dari permukaan baja. Intermetalik Fe-Al adalah suatu senyawa antara logam besi dengan aluminium.

Intermetalik Fe-Al umumnya memiliki kekuatan, ketahanan mulur, oksidasi dan korosi yang sangat baik pada lingkungan bertemperatur ruang maupun lingkungan bertemperatur tinggi. Namun, kekurangan intermetalik Fe-Al adalah memiliki keuletan yang rendah pada lingkungan bertemperatur ruang dan sulit untuk melakukan perubahan bentuk pada lingkungan bertemperatur tinggi^[32].

Jenis-jenis senyawa intermetalik Fe-Al tergantung pada temperatur dan komposisi dari unsur besi dan aluminiumnya seperti terlihat dalam diagram fasa Fe-Al pada Gambar 2.11. Setiap senyawa intermetalik Fe-Al tersebut masing-masing memiliki karakteristik yang berbeda satu dengan lainnya. Perbedaan karakteristik inilah sangat tergantung pada perbedaan struktur kristal yang dimilikinya.



Gambar 2.11 Diagram fasa biner Fe-Al^[25]

d. Pembentukan Piramid dari Fasa Intermetalik

Fasa FeAl₃ bereaksi dengan Al dan Si pada *alloy melt* sehingga membentuk fasa ternary α -(Al, Fe, Si). Lapisan intermetalik terjadi selama tahapan ini, mempunyai morfologi seperti piramid. Hal ini dikarenakan pertumbuhan radial dari fasa intermetalik keluar dari lubang pada permukaan baja. Fasa terner mempunyai ketebalan yang lebih tinggi dibandingkan fasa lain. Karena volume Al melt berlebih, maka reaksi antara fasa intermetalik dan melt mendominasi difusi Fe dari permukaan baja. Keseluruhan tebal dari lapisan intermetalik pada permukaan baja dikontrol dengan difusi Fe dari permukaan baja. Silikon dan elemen minor lainnya (Cr, Mn, V, dll.) dari cetakan dan Al cair membentuk endapan pada batas butir dari fasa intermetalik Fe₂Al₅.

e. Pelekatan Al ke Fasa Intermetalik

Reaksi yang terakhir antara Fe dan Al-alloy cair adalah fasa terner – (Al, Fe, Si). Segera setelah lapisan intermetalik berbentuk piramid terbentuk pada permukaan cetakan, kelebihan Al akan menempel pada lapisan ini (Gambar 2.10.c). *Initial sticking* awalnya disebabkan oleh penahanan reaksi antara Fe, Al-

alloy cair dan pengaruh energi permukaan dari lapisan intermetalik terhadap Al cair. Penempelan Al ke piramid ini disebabkan karena konduktivitas termal yang rendah dari lapisan fasa intermetalik dibandingkan dengan permukaan baja. Oleh karena itu, ketika benda casting telah memadat dan siap untuk dikeluarkan dari cetakan, logam cair disekitar lapisan intermetalik membeku. Hasilnya terjadi *sticking* (penempelan) (Gambar 2.10.d).

2.4.2 Parameter yang Mempengaruhi *Die Soldering*

Ada beberapa parameter yang mempengaruhi terjadinya *die soldering* pada proses cetak tekan paduan aluminium, yaitu:

a. Temperatur

Temperatur pada permukaan *die* adalah salah satu variabel yang paling penting dalam fenomena *die soldering*. Temperatur yang lebih tinggi meningkatkan keaktifan atom-atom permukaan, meningkatkan koefisien difusi dan laju reaksi, yang akan menyebabkan *die soldering* terjadi lebih awal dan tumbuh lebih cepat. Temperatur yang lebih tinggi juga dapat menyebabkan *tempering effect* pada permukaan *die* dan mengakibatkan pengikisan dan *soldering* karena pelunakan pada permukaan.^[33]

R. Shivpuri *et.al*^[34] melakukan percobaan untuk mengamati pengaruh temperatur aluminium cair terhadap *die soldering* dan erosi pada *die*. Pin H13 diuji pada dua temperatur *melt* yang berbeda, yaitu 650 dan 700 °C pada kecepatan injeksi yang sama (50 m/s). Pin diuji sebanyak 2.000 kali *shot* (proses *casting*). Tingkat *soldering* dan erosi kemudian diukur setiap 1.000 *shot*. Hasil pengukuran untuk 1.000 *shot* pertama dan kedua menunjukkan hasil yang sama. Erosi pin H13 pada temperatur rendah (650 °C) lebih tinggi dibandingkan pada temperatur rendah (700 °C), sementara *soldering* lebih besar pada temperatur yang lebih tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa *melt temperature* yang lebih rendah membuat *soldering resistance* baja H13 lebih baik karena laju difusi dan reaksi kimia yang lebih rendah. Namun, *erosion resistance* baja H13 lebih buruk pada *melt temperature* rendah karena kehadiran sejumlah *presolidified casting alloy* (fraksi solid), yang mengakibatkan keausan erosi.

b. Waktu Kontak

Bambang Suharno dkk^[35] melakukan studi untuk melihat pengaruh waktu kontak terhadap *die soldering*. Baja cetakan SKD61 dicelup ke dalam aluminium cair dengan variasi waktu 10, 30 dan 50 menit kemudian diukur ketebalan lapisan intermetalik yang terbentuk pada baja SKD61 tersebut. Hasil studi ini memperlihatkan ketebalan lapisan kompak (*compact layer*) yang dihasilkan akan semakin meningkat dengan meningkatnya waktu kontak antara cetakan dengan cairan paduan aluminium. Sedangkan ketebalan *broken layer*, akan meningkat secara signifikan dengan meningkatnya waktu kontak sampai titik optimum, kemudian ketebalan akan menurun kembali karena *broken layer* larut kembali dalam *melt*.

c. Coating dan Lubrikasi Permukaan Dies

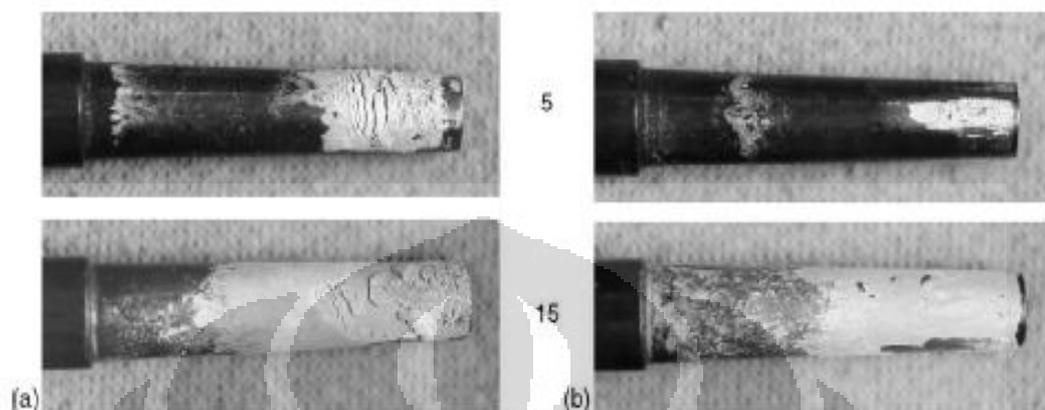
Coating permukaan *dies* dapat mencegah kontak langsung antara paduan aluminium cair dengan baja cetakan H13. *Coating* yang biasa diterapkan pada *dies* adalah *hard coating* menggunakan material CrAlSiN dengan metode PVD (*physical vapor deposition*). *Coating* yang menghalangi kontak aluminium cair dengan permukaan *dies* akan mencegah reaksi *soldering*. *Hard coating* dipilih agar *coating* tidak mudah rusak dan terkikis oleh aliran aluminium cair.^[36, 37] Sementara lubrikasi berfungsi untuk menurunkan friksi antara aluminium cair dengan *dies* sehingga mengurangi risiko pengikisan *coating* dan erosi permukaan *dies*, dengan demikian efek *die soldering* dapat diturunkan.

d. Kecepatan Injeksi (Gate Velocity)

Seperti yang telah dijelaskan oleh Shankar^[8] tentang mekanisme *die soldering*, erosi *die* dan *pitting* adalah tahap awal yang menyebabkan *die soldering*. *Gate velocity* yang tinggi mempercepat erosi ini dan kemudian menuju kepada pembentukan *soldering*. Chu *et.al*^[34] menemukan bahwa pengikisan pin *dies* merupakan faktor utama dalam inisiasi *die soldering*.

Chen^[10] memperlihatkan perbedaan jumlah yang signifikan dari material yang lengket pada permukaan pin baja cetakan yang diuji tergantung arah pin terhadap *gate*. Pin yang menghadap langsung ke *gate* yang mengalirkan aluminium cair dengan kecepatan yang lebih tinggi memiliki lapisan *solder* lebih

tebal dibandingkan dengan pin yang arahnya membelakangi *gate* dimana kecepatan aliran aluminium cair lebih rendah. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12 Hasil *die soldering* a. Pin yang menghadap *gate* (kecepatan lebih tinggi) dan b. Pin yang membelakangi *gate* (kecepatan lebih rendah)^[10]

e. Kondisi Permukaan *Die*

Kondisi permukaan *die* adalah faktor yang kritis dalam pencegahan *soldering*. Dalam skala besar, area pada *die* yang menonjol ke aluminium cair seperti inti dan pin lebih rentan terhadap *solder* karena temperturnya yang lebih tinggi. Pada skala mikro, fenomena yang sama akan terjadi. Pada permukaan yang kasar, tonjolan kecil akan mengalami temperatur lebih tinggi daripada area lokal lain pada permukaan yang halus. Oleh karena itu, permukaan harus halus, tetapi tidak di bawah batas dimana pelumas tidak dapat menempel pada permukaan. Kondisi permukaan dapat diperbaiki dengan teknik pembersihan yang baik melalui modifikasi permukaan dan *coating* untuk menurunkan laju erosi atau memisahkan *die* dengan aliran aluminium cair.^[33]

f. Unsur Paduan

Unsur-unsur paduan yang mempengaruhi pembentukan lapisan intermetalik pada fenomena *die soldering* dalam proses cetak tekan paduan aluminium adalah seperti unsur silikon (Si), mangan (Mn) dan besi (Fe). Selain unsur-unsur tersebut, juga terdapat pengaruh unsur paduan minor seperti kromium (Cr), berilium (Be), magnesium (Mg) dan lain-lain.

1. Pengaruh Unsur Silikon (Si)

Difusi aktif Al dalam fasa Fe-Si-Al menyebabkan pembentukan lapisan intermetalik. Kehadiran Si dalam sistem Fe-Al-Si menurunkan laju difusi atom Al dalam matriks Fe, menyebabkan penurunan laju pembentukan dan menahan pembentukan lapisan intermetalik. Si tidak hanya mengoptimalkan kemampuan baja *die*, tetapi juga menurunkan interaksi antara baja cetakan dengan paduan aluminium cair. Hal ini memiliki signifikansi yang vital dalam proses *die casting*.^[14]

2. Pengaruh Unsur Mangan (Mn)

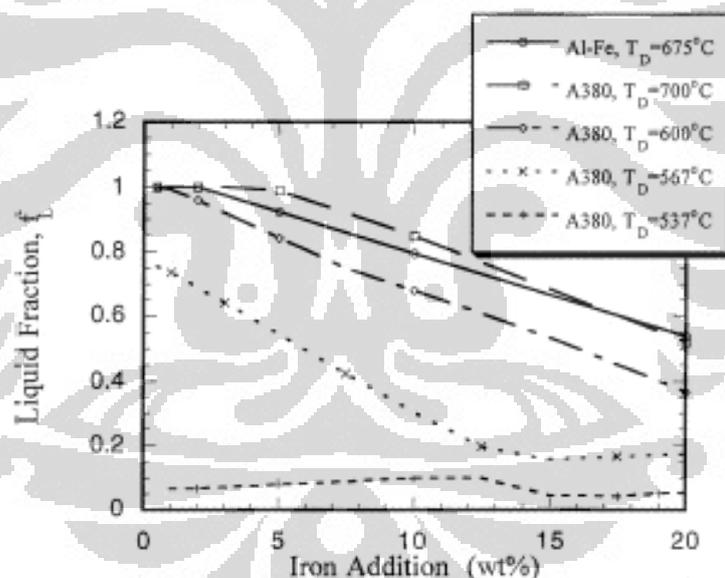
Mn adalah unsur yang sering digunakan sebagai bahan paduan dalam pengecoran aluminium. Kelarutan Mn dalam Al sebesar 1,82 wt% pada temperatur 658 °C. Penambahan Mn pada Al meningkatkan kekuatan, kekerasan, ketahanan temperatur tinggi dan ketahanan korosi. Penambahan Mn juga membantu mengurangi daya adhesi dari logam cair ke cetakan. Kemampuan logam cair lepas dari cetakan akan meningkat dengan penambahan Mn pada batas minimal 0,4%.^[7]

Penambahan Mn menurunkan afinitas Al-Si terhadap Fe, dimana penambahan Mn akan menurunkan kadar Fe yang dibutuhkan untuk membentuk intermetalik. Oleh karena itu, reaksi penyerangan Fe oleh Al akan turun ketika keduanya berinteraksi sehingga mampu menurunkan kecenderungan terjadinya *die soldering*.^[11]

3. Pengaruh Unsur Besi (Fe)

Q. Han dan S. Viswanathan^[18] menjelaskan dari pertimbangan termodinamika, kehadiran Fe dalam aluminium cair meningkatkan jumlah Fe yang tersedia. Hubungan antara fraksi liquid pada temperatur permukaan cetakan dengan konsentrasi Fe pada daerah *soldering* diperlihatkan pada Gambar 2.13. Garis solid menunjukkan hasil pada temperatur *die* 675 °C untuk sistem Al-Fe. Fraksi liquid pada daerah *soldering* turun secara bertahap dengan meningkatnya konsentrasi Fe ketika di atas 2%. Karena kelarutan maksimum Fe dalam Al adalah sekitar 3%, penambahan Fe pada aluminium murni hanya memberikan sedikit efek terhadap *soldering* selama pengecoran aluminium murni pada cetakan

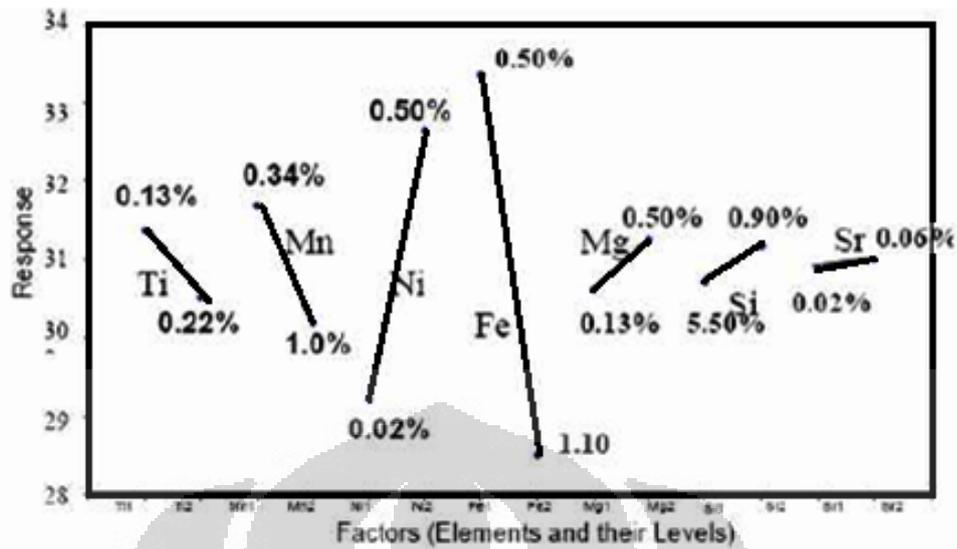
ferrous. Hubungan antara fraksi liquid dengan konsentrasi Fe untuk paduan Al 380 ditunjukkan oleh garis putus-putus pada Gambar 2.13. Pada temperatur *die* tinggi (700 °C), fraksi liquid tidak turun hingga konsentrasi Fe lebih dari 5%. Akibatnya, penambahan Fe memberikan pengaruh yang kecil terhadap *soldering* ketika temperatur permukaan cetakan tinggi. Ketika temperatur permukaan cetakan diturunkan, terjadi penurunan fraksi liquid dengan peningkatan kadar Fe. Pada temperatur *die* 567 °C, kenaikan kadar Fe sebesar 2% menyebabkan penurunan fraksi liquid lebih dari 10%. Pada temperatur tersebut, kehadiran Fe pada paduan dapat menurunkan *soldering*. Pengaruh penambahan Fe terhadap *soldering* tergantung pada temperatur *die* dan komposisi paduan. Namun, secara kinetika, dengan penambahan konsentrasi Fe pada paduan aluminium akan menurunkan difusi Fe dari *die* terhadap *molten* paduan yang dapat menurunkan efek *die soldering*.



Gambar 2.13 Grafik fraksi liquid sebagai fungsi dari kadar Fe pada berbagai temperatur *die* untuk aluminium murni dan paduan A380^[18]

4. Pengaruh Unsur Paduan Lain

Secara ringkas, Gambar 2.14^[33] menunjukkan pengaruh kadar unsur paduan pada aluminium terhadap *die soldering*.

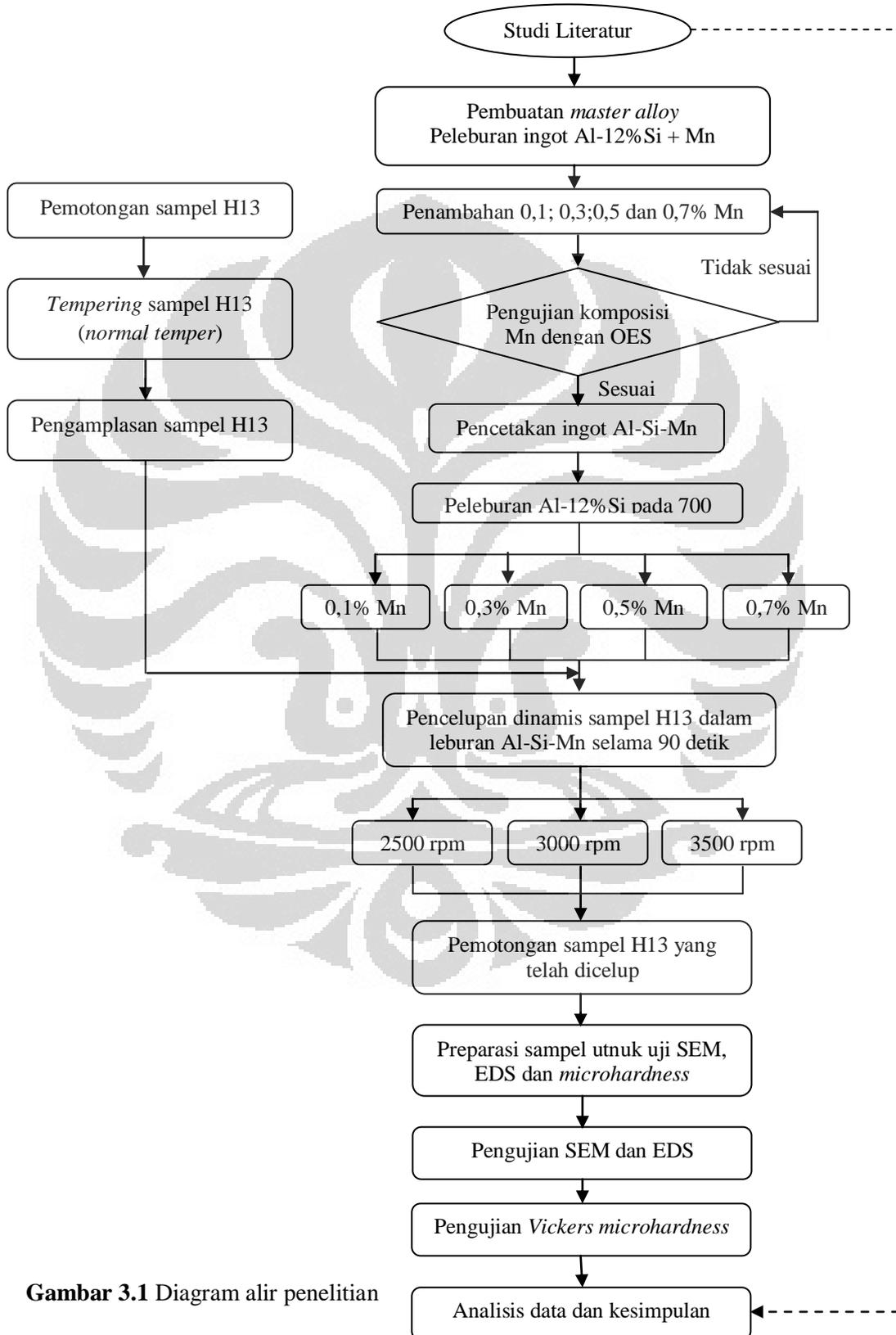


Gambar 2.14 Pengaruh berbagai unsur terhadap ketebalan lapisan intermetalik pada reaksi antara H13 dengan aluminium cair^[33]

Kemiringan positif mengindikasikan bahwa penambahan unsur akan memicu timbulnya *soldering* sementara kemiringan negatif mengindikasikan hal yang sebaliknya. Jika kemiringan semakin besar, maka semakin besar pula pengaruh unsur pada pertumbuhan dari lapisan intermetalik. Peningkatan kadar nikel pada paduan aluminium akan meningkatkan ketebalan lapisan intermetalik dan kecenderungan terjadinya *soldering*, sebaliknya penambahan titanium, besi dan mangan pada kadar tertentu dapat membantu menghindari terjadinya *soldering*.

BAB III METOLOGI PENELITIAN

3.1 DIAGRAM ALIR PENELITIAN



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

Dalam melakukan penelitian ini terlebih dahulu dilakukan studi literatur tentang *die soldering* pada proses *high pressure die casting* (HPDC) paduan aluminium. Studi literatur ini berguna sebagai landasan teori dan pedoman dalam tahap-tahap penelitian selanjutnya sampai dengan analisis hasil penelitian.

Langkah selanjutnya adalah mempersiapkan semua kebutuhan pada penelitian seperti peralatan dan bahan-bahan yang akan digunakan. Paduan aluminium silikon (Al-12%Si) dilebur dan ditambahkan Mn sesuai dengan kadar yang dibutuhkan dalam penelitian ini, yaitu) 0,1%Mn, 0,3%Mn, 0,5%Mn dan 0,7%Mn. Untuk memastikan komposisi paduan telah sesuai dengan yang diinginkan maka dilakukan pengujian komposisi dengan OES. Paduan yang telah sesuai kadarnya kemudian dicetak dalam bentuk ingot.

Sementara itu sampel baja H13 dipersiapkan untuk keperluan pencelupan. Pertama baja H13 dipotong dan dibentuk menjadi pin silinder pejal dengan ukuran yang telah ditentukan. Baja H13 yang telah dipotong kemudian diberikan perlakuan panas *normal temper*. Perlakuan panas ini dilakukan untuk melihat hubungannya dengan fenomena *die soldering* pada proses HPDC. Sampel baja H13 yang telah di-*temper* selanjutnya diampelas agar permukaannya bersih dan rata.

Setelah semua sampel dan peralatan disiapkan, selanjutnya dilakukan peleburan material Al-12%Si yang telah dipadu dengan Mn. Peleburan ini dilakukan sampai paduan mencair dan temperturnya dipertahankan pada 700 °C. Baja H13 kemudian dicelupkan ke dalam paduan aluminium cair dengan variasi kecepatan 2500, 3000 dan 3500 rpm selama 90 detik.

Sampel baja H13 yang telah dicelup kemudian dipotong untuk keperluan karakterisasi. Hasil potongan ini dipreparasi mulai dari *mounting*, pengamplasan dan pemolesan permukaannya sampai halus. Sampel yang telah selesai dipreparasi siap untuk dikarakterisasi berupa pengujian SEM dan EDS serta pengujian kekerasan lapisan intermetalik dengan metode *vickers microhardness*.

Tahap terakhir penelitian ini adalah pengolahan data yang telah diperoleh dan melakukan analisis yang tetap berpedoman pada studi literatur yang telah dilakukan diawal.

3.2 PERALATAN DAN BAHAN

3.2.1 Peralatan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- *Crucible furnace*
- Mesin potong grinda
- Gergaji mesin
- *Medium speed diamond saw*
- Kertas amplas grid 240-1500
- Mesin amplas dan poles
- *Dryer*
- *Thermocouple*
- *Stopwatch*
- Cetakan ingot
- Tang penjepit
- Alat pelindung diri
- Plastik dan label nama
- Alat pemutar sampel (*air die grinder*)
- Kompresor
- Dapur *carbolyte*
- *Vickers Microhardness Tester*
- *Energy Dispersive Spectrometer (EDS)*
- *Scanning Electron Microscope (SEM)*.

3.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan adalah:

- Master alloy Al-12%Si
- Baja perkakas H13 *as-anneal*
- Material Al-80%Mn
- Resin dan hardener untuk *mounting*
- Larutan mikro alumina untuk poles
- Air dan alkohol.

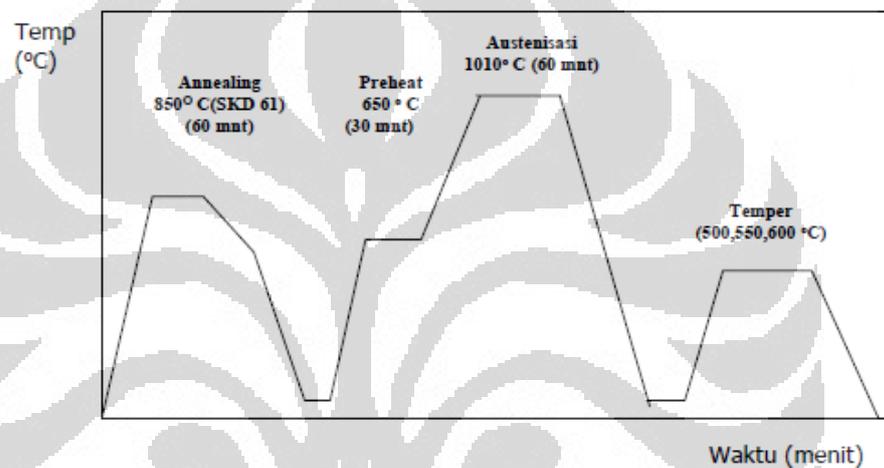
3.3 PROSEDUR PENELITIAN

3.3.1 Perlakuan panas *normal tempering* sampel baja perkakas H13

Perlakuan panas pada baja H13 adalah sebagai berikut:

- Annealing : 850 °C , t = 1 jam
- Austenisasi: preheating 650 °C, t=30 menit, 1010 °C = 1 jam, pendinginan udara
- Tempering: 550 °C, t = 1 jam, pendinginan udara

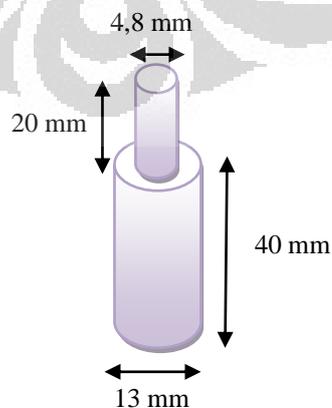
Siklus perlakuan panas pada baja perkakas H13 dapat dilihat pada Gambar 3.2 berikut ini.



Gambar 3.2 Siklus perlakuan panas baja H13

3.3.2 Pemotongan sampel H13 *normal temper*

Pemotongan sampel seperti terlihat pada Gambar 3.3 untuk mempermudah proses pencelupan dinamis sampel ke dalam aluminum cair.



Gambar 3.3 Sampel material H13 normal temper

3.3.3 Pengamplasan sampel material H13 *normal temper*

Sampel yang telah dipotong seperti Gambar 3.3 diampelas dengan *grinding machine* sampai permukaan sampel halus dan mengkilap, tidak ada oksida pada permukaan sampel.

3.3.4 Peleburan Al-12%Si untuk pembuatan master alloy

Sebelum melebur ingot, dilakukan beberapa proses persiapan peleburan seperti pemotongan ingot Al-Si menjadi bagian yang lebih kecil dengan menggunakan mesin potong gerinda dan penimbangan material Al-Si mendekati kapasitas kowi pada dapur krusibel yaitu 1,4 kg dan bervariasi sesuai perhitungan material *balance*. Penimbangan ini menggunakan timbangan digital. Sebelum ditimbang, dilakukan perhitungan material *balance* untuk mendapatkan massa paduan Al-Si dan massa Mn yang akan ditambahkan, dengan rumus:

$$\frac{\% \text{ Kadar Mn}}{(\% \text{ Kadar Mn dalam Al-Mn}) \times \text{Efisiensi Mn}} \times \text{Kapasitas kowi} \dots\dots (3.1)$$

Mn yang ditambahkan merupakan paduan Al-Mn dengan kadar Mn 80% dan efisiensi Mn dalam paduan tersebut sebesar 90%. Kapasitas kowi yang digunakan sebesar 1,4 kg. Bentuk Mn yang ditambahkan pada proses pengecoran berupa padatan sehingga perlu dilakukan penumbukan material Al-80%Mn dengan menggunakan *hammer*. Penumbukan dilakukan sampai material menjadi halus berbentuk serbuk. Kemudian material dibungkus dengan aluminum foil dan dimasukkan ke dalam aluminum cair dengan menggunakan panjer. Hal ini dilakukan agar Mn yang dimasukkan tidak mengambang di permukaan aluminum cair dan terbakar. Master alloy yang telah ditambahkan Mn diperiksa dengan OES untuk mengetahui komposisi Mn yang terkandung pada paduan Al.

3.3.5 Peleburan master alloy

Sebelum peleburan, dilakukan preparasi master alloy berupa *coating* peralatan lebur. Selanjutnya dilakukan peleburan master alloy yang telah mengandung 0,1% Mn; 0,3% Mn; 0,5% Mn dan 0,7% Mn dalam

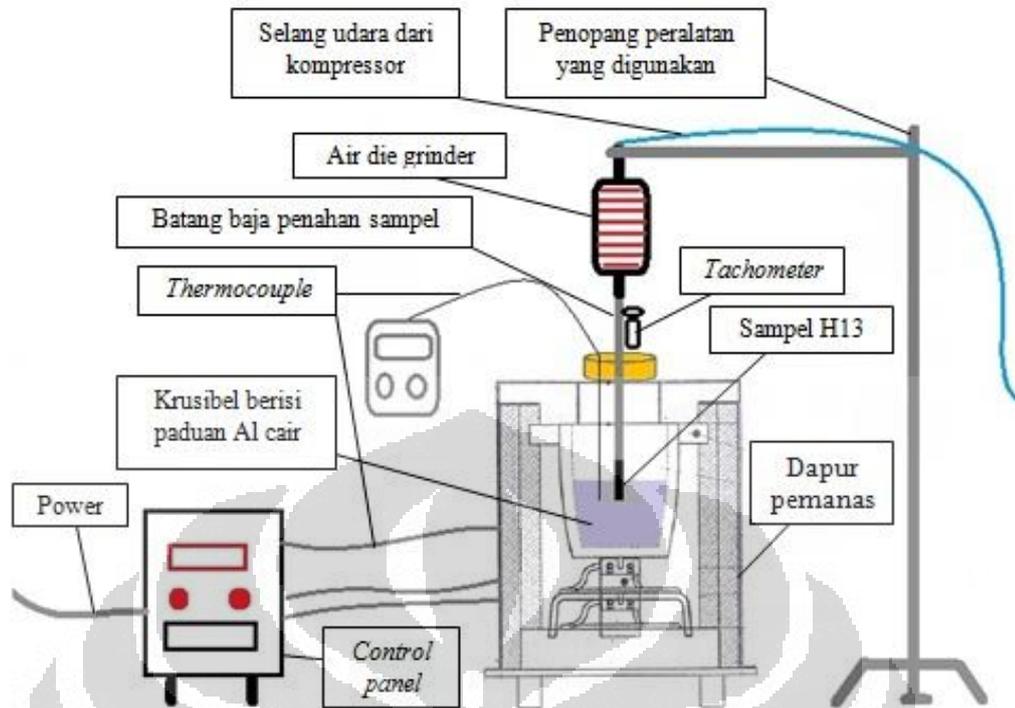
krusibel hingga temperatur 700 °C. Alat yang digunakan untuk peleburan ini adalah *crucible furnace* seperti terlihat pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 *Crucible furnace* (kiri) dilengkapi dengan *control panel* (kanan)

3.3.6 Pencelupan dinamis material H13 *normal temper* pada master alloy

Skema kerja pencelupan dinamis sampel H13 ke dalam paduan aluminium cair dapat dilihat pada Gambar 3.5. Paduan aluminium cair dikondisikan pada temperatur 700 °C sebelum dilakukan pencelupan. Untuk memonitor temperatur paduan aluminium digunakan *thermocouple*. Dapur pemanas diatur pada kisaran temperatur 750 °C dengan menggunakan *control panel* yang ada pada alat. Setelah temperatur paduan aluminium cair konstan, dilakukan proses pencelupan dinamis H13 *normal temper* ke dalam aluminium cair. Sampel dipasang pada batang baja penahan yang dihubungkan dengan *air die grinder* yang berfungsi sebagai pemutar sampel. Untuk menggerakkan *air die grinder* alat tersebut dihubungkan dengan selang udara dari kompresor. Kecepatan putaran *air die grinder* diatur dengan mengatur tekanan udara yang masuk. Untuk mengetahui berapa rpm kecepatannya digunakan alat *tachometer* dengan cara menempelkan alat pada batangan baja pemegang sampel atau sampel itu sendiri sebelum dilakukan pencelupan. Setelah semua parameter diatur dengan baik, sampel sampel kemudian dicelupkan ke dalam paduan aluminium cair selama 90 detik dengan variasi kecepatan putaran sampel 2.500 rpm, 3.000 rpm dan 3.500 rpm.



Gambar 3.5 Skema kerja pencelupan dinamis sampel baja H13

Jika kecepatan putaran sampel dikonversi ke dalam kecepatan linier (m/s) dengan menggunakan persamaan

$$\text{kecepatan} \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right) = \frac{\pi \cdot d \cdot \text{rpm}}{60 \left(\frac{\text{s}}{\text{min}} \right) \cdot 1000 \left(\frac{\text{mm}}{\text{m}} \right)} \dots\dots\dots (3.2)$$

maka akan diperoleh kecepatan linier untuk masing-masing kecepatan putaran seperti terlihat pada Tabel 3.1

Tabel 3.1 Konversi kecepatan putaran sampel ke dalam kecepatan linier

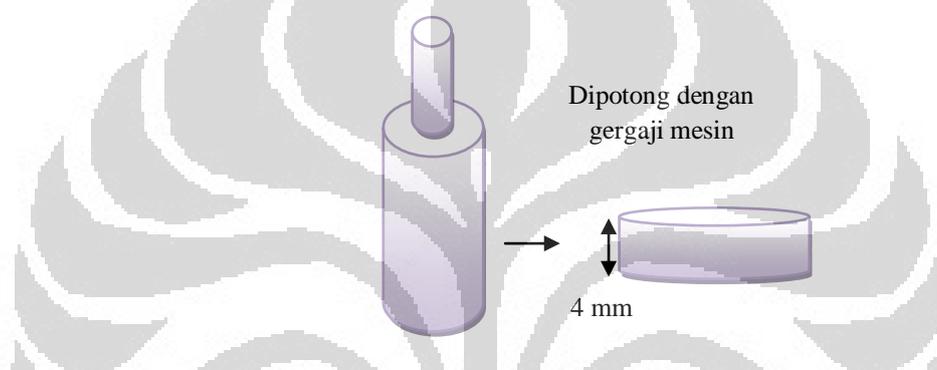
Diameter	Kecepatan putaran	Kecepatan linier
13 mm	2.500 rpm	1,70 m/s
	3.000 rpm	2,04 m/s
	3.500 rpm	2,38 m/s

Dibandingkan dengan data kecepatan injeksi mesin HPDC Toshiba *cold chamber* pada Tabel 2.1 Bab II yang biasa digunakan pada proses cetak tekan paduan aluminium, diharapkan kecepatan putaran sampel ini

cukup dapat menggambarkan kecepatan injeksi paduan aluminium pada proses HPDC sesungguhnya. Dimana banyak dari mesin HPDC *cold chamber* ini memiliki kecepatan injeksi yang berkisar antara 0,1 m/s sampai dengan 4,5 m/s seperti mesin HPDC Toshiba tipe DC1000C, DC1650CS2, DC2250CS2 dan DC3500CS.

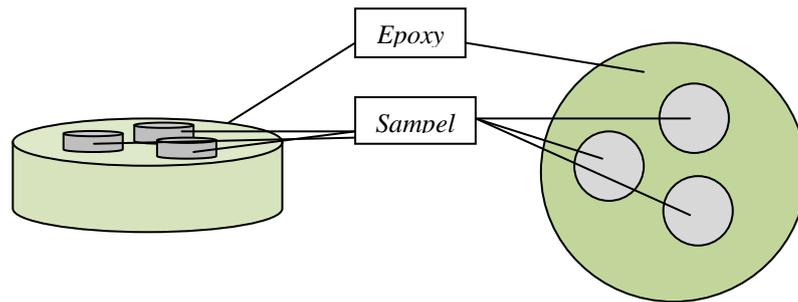
3.3.7 Preparasi metalografi sampel

Sebelum dilakukan pengujian SEM dan EDS perlu dilakukan preparasi sampel. Langkah pertama adalah pemotongan ujung sampel yang telah dicelup seperti terlihat pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Pemotongan sampel baja H13 *normal temper* setelah proses pencelupan dinamis

Sampel baja H13 *normal temper* yang telah dipotong kemudian diberi *mounting* menggunakan resin *epoxy* dan *hardener*. *Mounting* dilakukan untuk memudahkan memegang sampel pada saat pengamplasan, pemolesan, pengujian kekerasan hingga pengujian SEM dan EDS. *Epoxy* dipilih karena resin cairnya mudah dibentuk sesuai cetakan *mounting* dan cepat mengeras dengan penambahan *hardener*. Selain itu kekerasan *epoxy* juga cukup tinggi. Dalam penelitian ini tiga sampel dimasukkan dalam satu *mounting* karena ukuran sampel yang tidak terlalu besar dibandingkan dengan *mounting*. Bentuk sampel setelah dilakukan *mounting* adalah seperti Gambar 3.7.



Gambar 3.7 Sampel setelah di-*mounting*

Setelah sampel di-*mounting*, langkah selanjutnya dalam preparasi sampel adalah pengamplasan. Pengamplasan sampel menggunakan mesin amplas seperti pada Gambar 3.8. Pengamplasan dimulai dengan kertas amplas seperti pada Gambar 3.8. Pengamplasan dimulai dengan kertas amplas kasar grid 240 mesh sampai dengan grid halus 1500 mesh. Kertas amplas dipasang pada permukaan piringan mesin amplas. Permukaan sampel kemudian digesekkan/ditekan pada piringan mesin amplas yang berputar sambil ditetesi air agar geram dari sampel tidak terkumpul pada permukaan kertas amplas.



Gambar 3.8 Mesin amplas

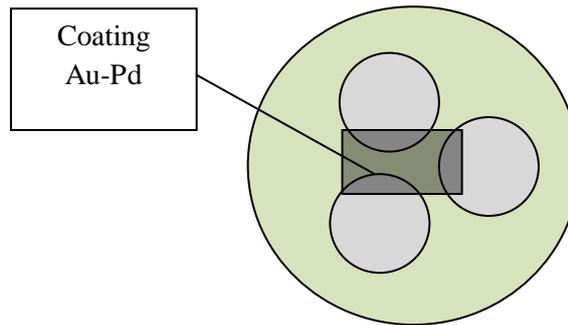
Sampel yang telah diampelas sampai dengan grid 1500 kemudian dipoles menggunakan cairan mikro alumina pada mesin poles. Mesin poles bentuknya hampir sama dengan mesin ampelas seperti terlihat pada Gambar 3.9. Perbedaannya jika pada pengampelasan dipasang kertas ampelas, pada pemolesan dipasang kain beludru pada piringan mesin dan pada saat sampel ditekan di atas permukaan kain beludru ditetesi cairan mikro alumina. Kain beludru dan cairan mikro alumina inilah yang akan menghaluskan permukaan sampel yang masih terdapat bekas pengampelasan. Pemolesan selesai apabila permukaan sampel telah halus dan mengkilap. Setelah pemolesan selesai, sampel dicuci dengan air kemudian dengan alkohol agar lebih mudah dikeringkan.



Gambar 3.9 Mesin poles logam

3.3.8 Pengamatan dan pengukuran ketebalan lapisan intermetalik

Pengamatan dan pengukuran ketebalan lapisan intermetalik dilakukan dengan menggunakan SEM yang dilengkapi dengan EDS. Sebelum pengujian SEM, sampel uji dilapisi dengan Au-Pd pada permukaannya seperti terlihat pada Gambar 3.10 dengan tujuan agar elektron dapat dihantarkan.



Gambar 3.10 Coating Au-Pd pada permukaan sampel pengujian SEM

Pengujian SEM bertujuan untuk mengamati karakteristik lapisan intermetalik serta mengukur ketebalan dari lapisan tersebut. Sementara pengujian EDS dilakukan untuk mengetahui unsur-unsur kimia dari lapisan intermetalik yang terbentuk.

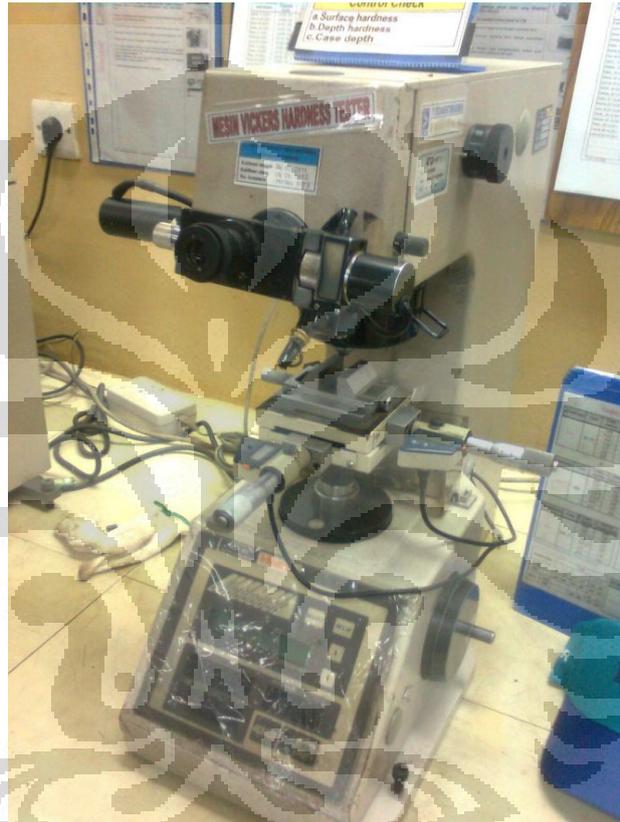
Peralatan SEM yang digunakan di Departemen Teknik Metalurgi dan Material FT UI seperti terlihat pada Gambar 3.11. Hasil pengujian SEM ini disajikan dalam bentuk gambar permukaan sampel dengan perbesaran 1000X. Pada gambar inilah dapat dilihat lapisan intermetalik yang terbentuk serta dapat diukur ketebalannya. Sementara hasil pengujian EDS/EDX berupa spektrum energi sesuai dengan kadar/komposisi kimia dari titik uji sampel.



Gambar 3.11 SEM di DTMM FT UI

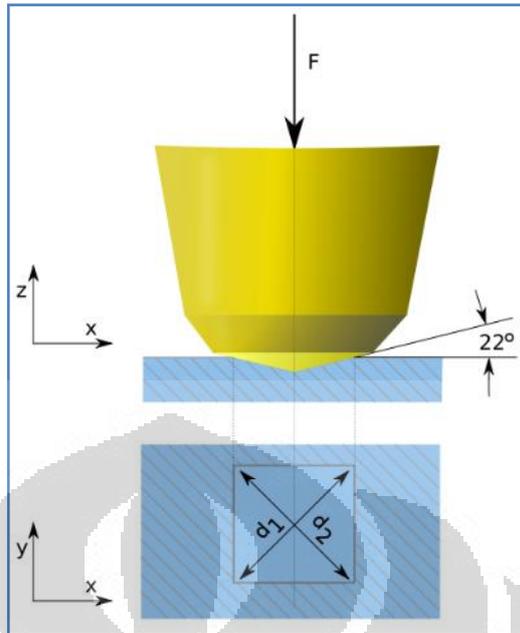
3.3.9 Pengujian kekerasan lapisan intermetalik

Pengujian kekerasan mikro dilakukan dengan menggunakan *vickers microhardness tester* di PT FSCM Manufacturing Indonesia Pulo Gadung seperti yang terlihat pada Gambar 3.12. Alat ini dilengkapi mikroskop optik dengan pembesaran sampai dengan 400X yang berguna untuk melihat bagian sampel yang akan diuji dengan lebih jelas.



Gambar 3.12 Vickers microhardness tester

Prinsip pengujian kekerasan ini adalah dengan melakukan penjejakan dengan beban tertentu pada permukaan sampel yang ingin diukur kekerasannya. Alat pengujian kekerasan mikro ini menggunakan indenter intan berbentuk *square pyramidal*. Hasil dari uji ini adalah berupa jejak indentasi pada permukaan sampel seperti terlihat pada Gambar 3.13.



Gambar 3.13 Jejak indentasi pada pengukuran kekerasan dengan *vickers microhardness tester*

Nilai kekerasan sampel dalam VHN (*vickers hardness number*) dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$HVN = \frac{2F \sin \frac{136^\circ}{2}}{d^2} \approx 1,854 \frac{F}{d^2} \dots\dots (3.3)$$

dimana F adalah beban indentasi dalam satuan kgf dan d adalah diagonal rata-rata dari jejak indentasi yang dihasilkan dalam satuan mm.

Untuk mengukur kekerasan lapisan intermetalik pada penelitian ini digunakan beban indentasi sebesar 200 gf karena lapisan intermetalik yang terlihat cukup tipis, sehingga jika digunakan beban yang lebih besar jejak yang terbentuk akan keluar dari area lapisan intermetalik. Alat yang dipakai dalam pengujian ini langsung menampilkan nilai kekerasan mikro sampel yang diuji pada display digital sehingga tidak perlu dihitung lagi secara manual.

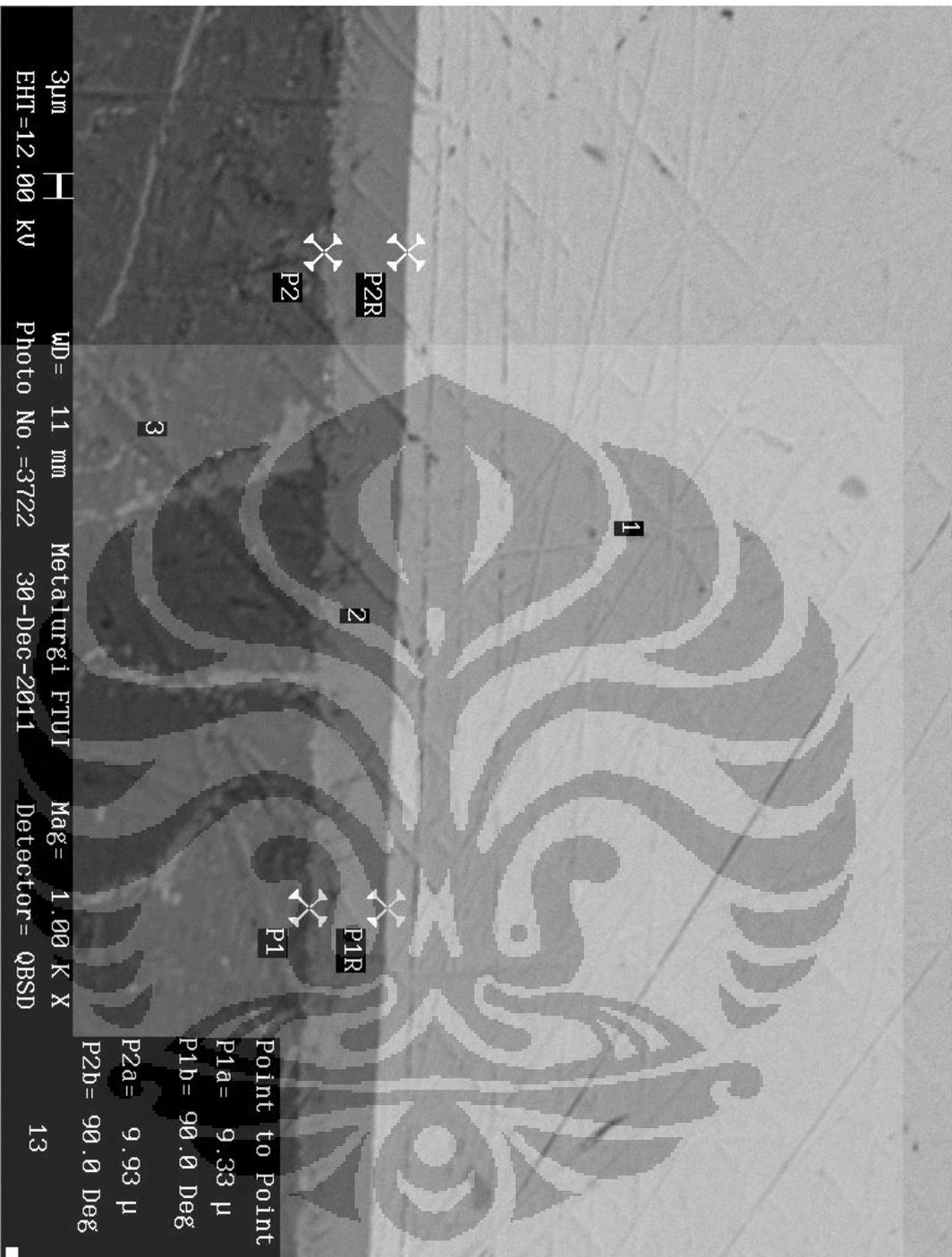
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

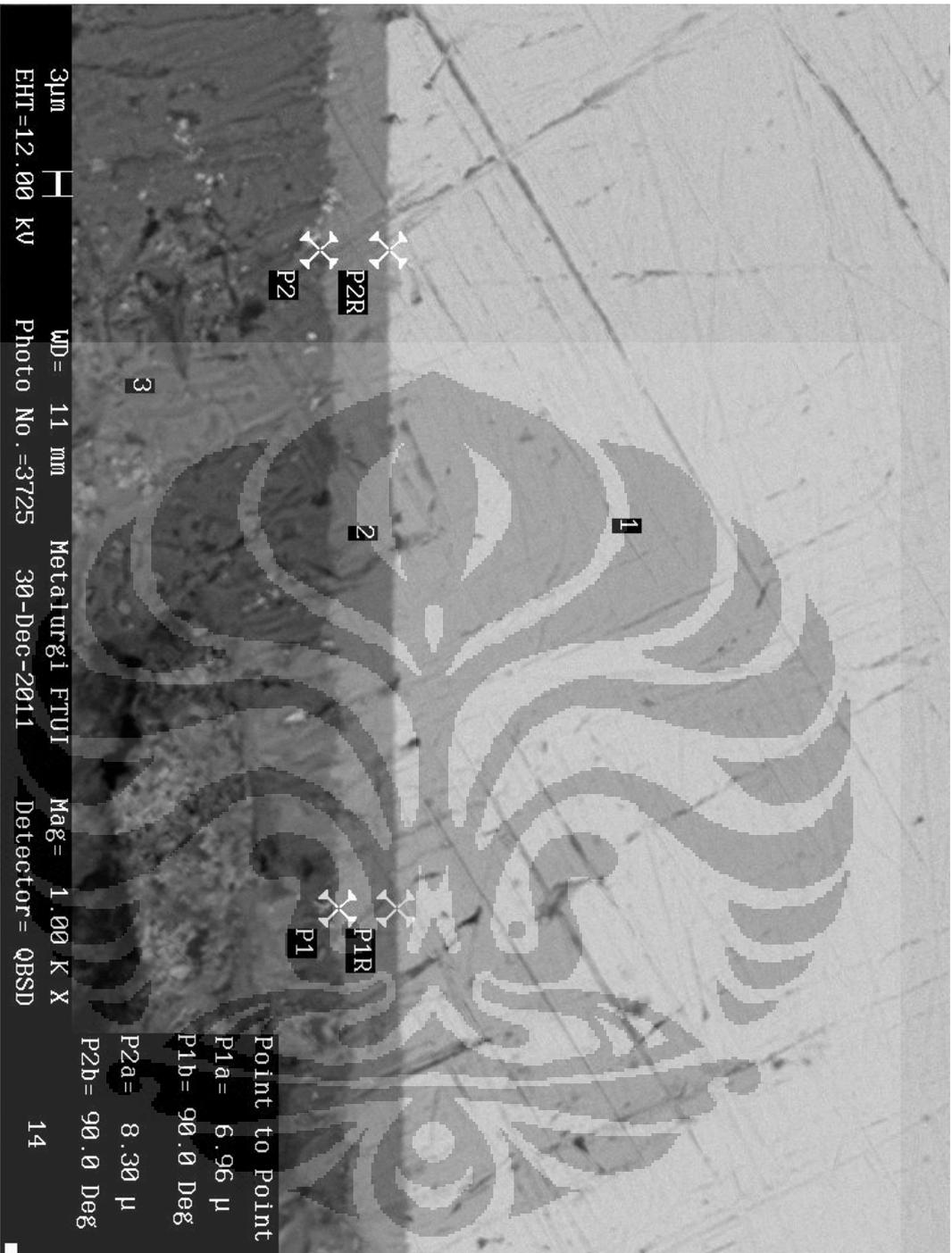
4.1 INDIKASI FASA LAPISAN INTERMETALIK

Gambar 4.1 sampai dengan Gambar 4.12 berikut ini menunjukkan foto hasil SEM untuk sampel-sampel baja H13 *normal temper* yang telah dilakukan pencelupan dinamis pada *molten* paduan Al-12%Si dengan penambahan 0,1%Mn, 0,3%Mn, 0,5%Mn dan 0,7%Mn dengan kecepatan 2.500, 3.000 dan 3.500 rpm dan temperatur 700 °C. Bagian yang paling terang pada foto SEM (ditandai dengan nomor 1) merupakan baja H13, bagian yang paling gelap (ditandai dengan nomor 3) adalah paduan Al-Si, sedangkan lapisan yang ada di antaranya adalah lapisan intermetalik (ditandai dengan nomor 2). Dari foto-foto ini dapat dilihat bahwa lapisan intermetalik yang terbentuk hanya satu *layer*, yaitu *compact layer*.

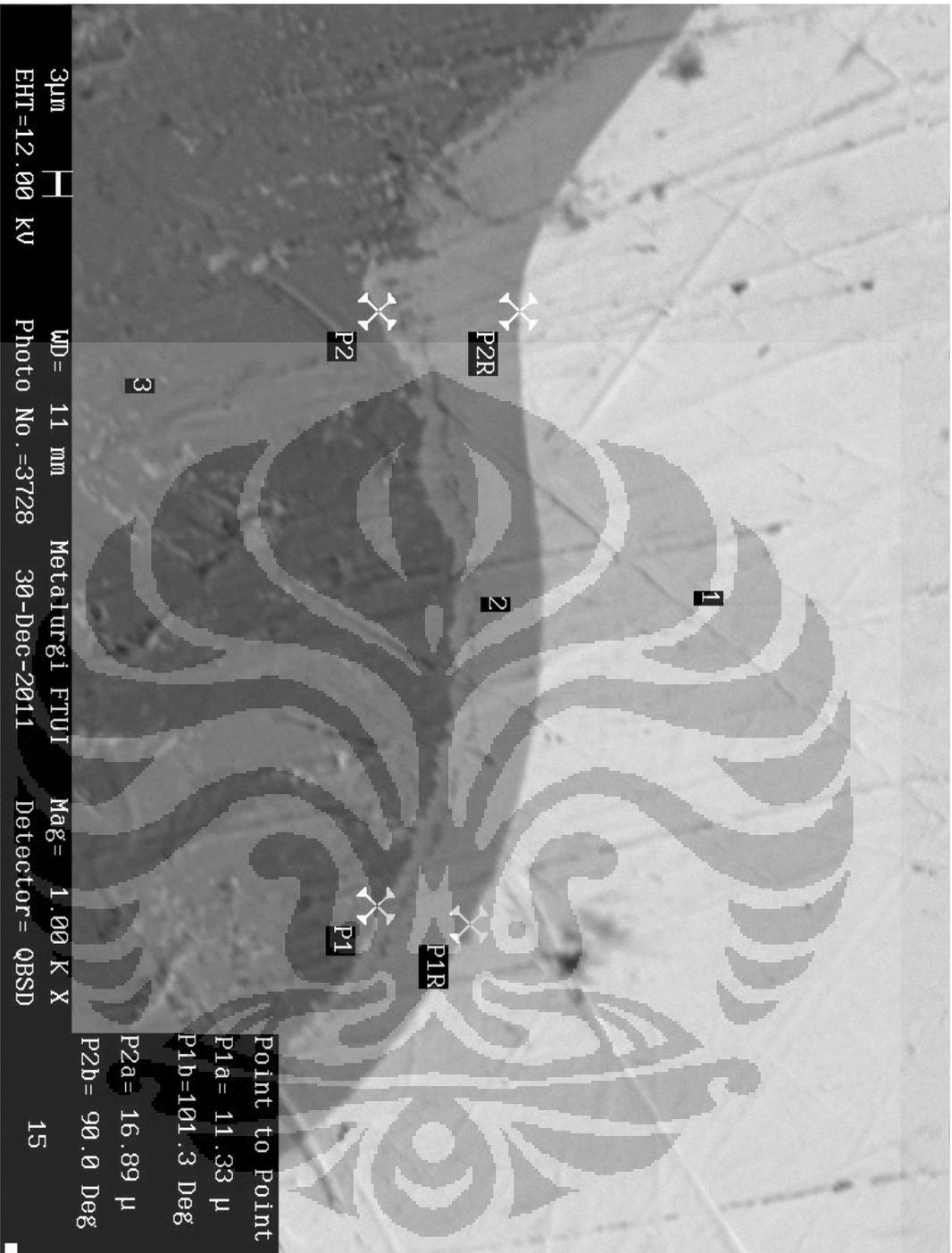
Berbeda dengan lapisan intermetalik yang terbentuk pada proses pencelupan statis, yaitu *compact layer* dan *broken layer*,^[15] pada proses pencelupan dinamis ini hanya terbentuk satu lapisan intermetalik *compact layer*. Tidak munculnya *broken layer* pada pengujian ini dapat disebabkan oleh karena pada saat proses pembentukan lapisan intermetalik disertai dengan proses pengikisan dan pelarutan kembali lapisan tersebut, terutama bagian paling luar yang langsung bersentuhan dengan aliran aluminium cair. Mekanisme pelarutan dan pengikisan ini diperkuat dengan adanya aliran aluminium cair dengan kecepatan tinggi dan pada temperatur yang tinggi selama proses pencelupan. Selain itu, sifat *broken layer* yang lebih lunak dibandingkan *compact layer* menyebabkan lapisan ini lebih mudah terkikis dan larut kembali sehingga tidak muncul dalam pengamatan.



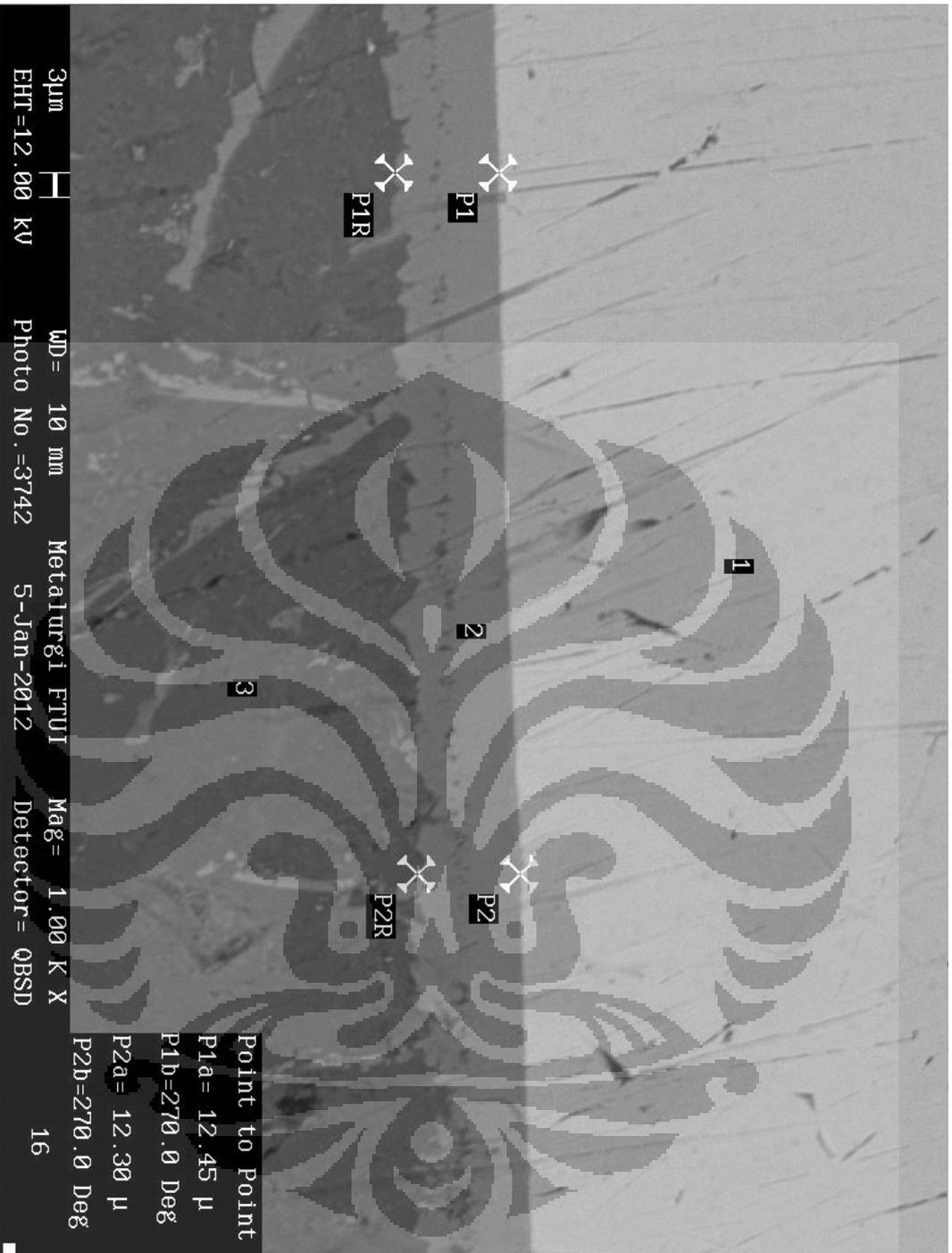
Gambar 4.1 Foto SEM sampel H13 *normal temper* setelah pencelupan pada paduan Al-12%Si 0,1%Mn dengan kecepatan 2500 rpm. No.1 merupakan baja H13, No.2 lapisan intermetalik yang terbentuk dan No.3 paduan Al-Si



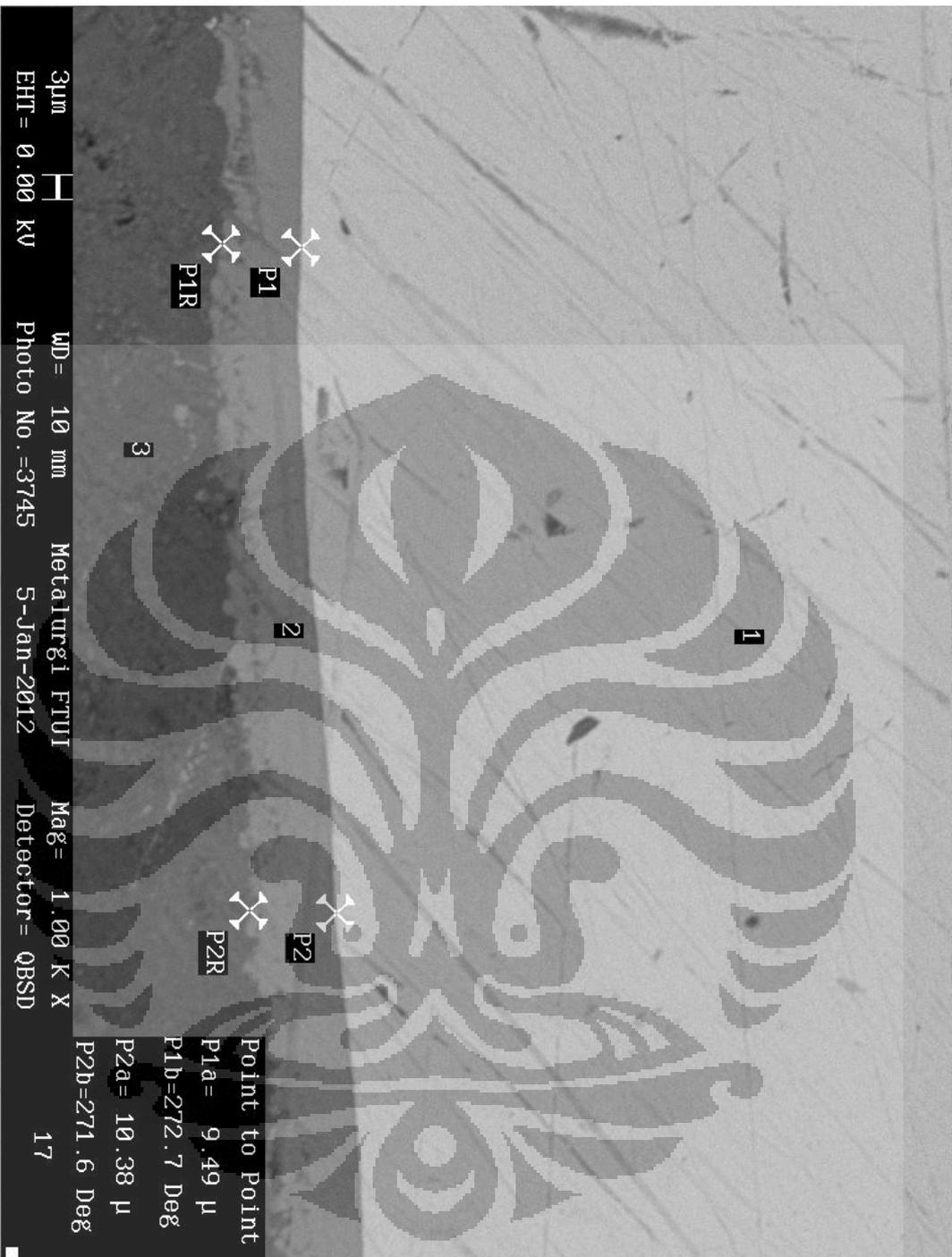
Gambar 4.2 Foto SEM sampel H13 *normal temper* setelah pencelupan pada paduan Al-12%Si 0,1% Mn dengan kecepatan 3000 rpm. No.1 merupakan baja H13, No.2 lapisan intermetalik yang terbentuk dan No.3 paduan Al-Si



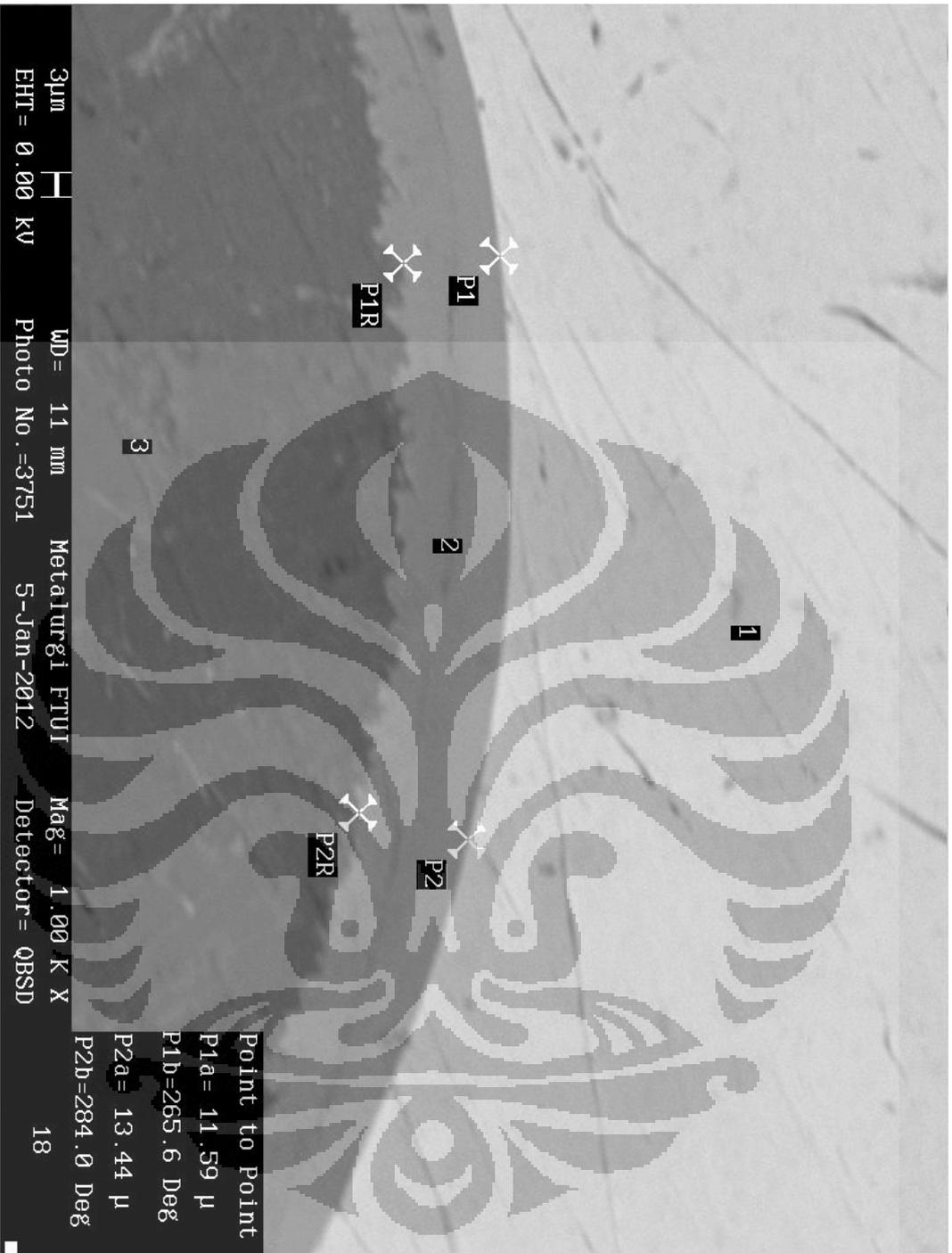
Gambar 4.3 Foto SEM sampel H13 *normal temper* setelah pencelupan pada paduan Al-12%Si 0,1%Mn dengan kecepatan 3500 rpm. No.1 merupakan baja H13, No.2 lapisan intermetalik yang terbentuk dan No.3 paduan Al-Si



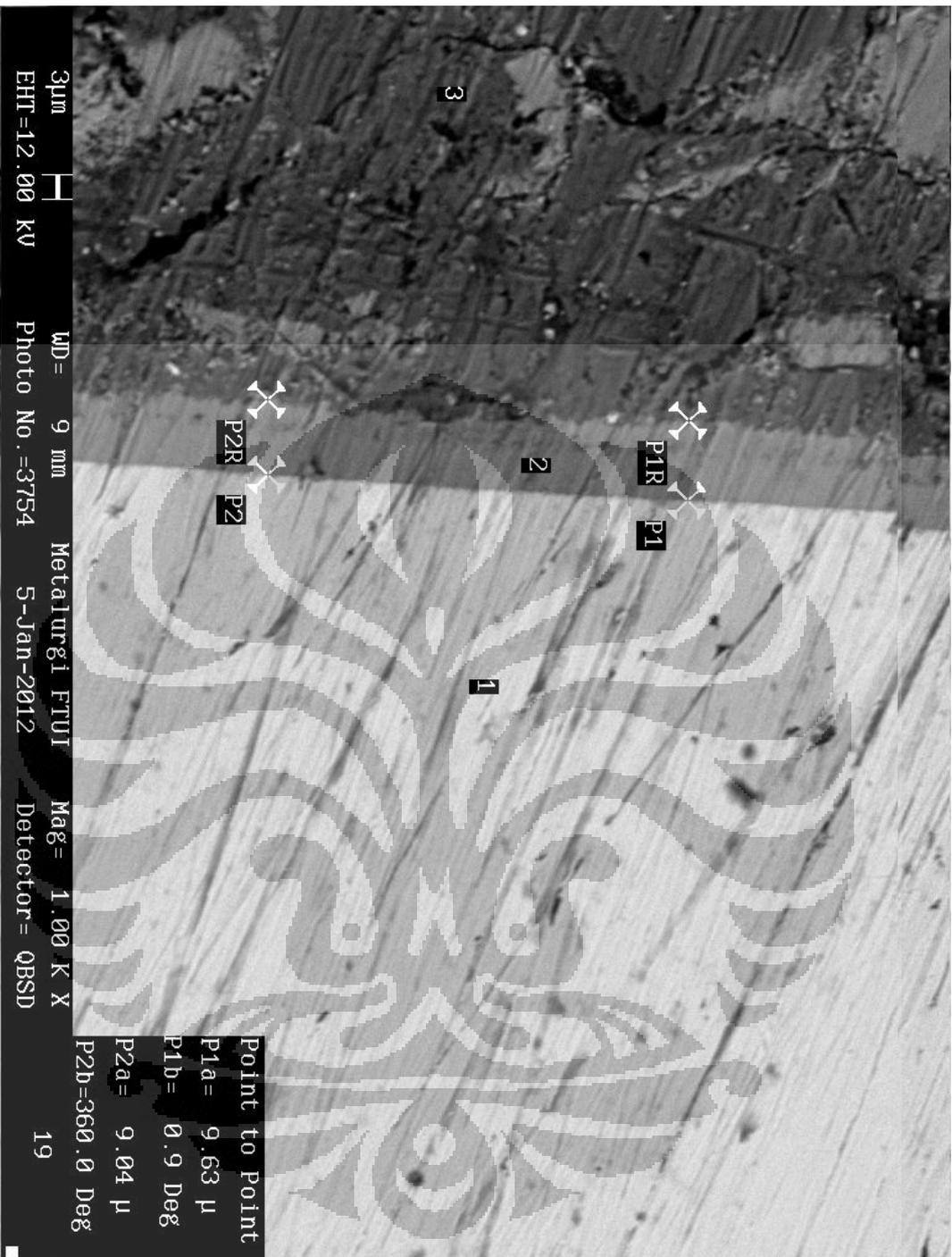
Gambar 4.4 Foto SEM sampel H13 *normal temper* setelah pencelupan pada paduan Al-12%Si 0,3%Mn dengan kecepatan 2500 rpm. No.1 merupakan baja H13, No.2 lapisan intermetalik yang terbentuk dan No.3 paduan Al-Si



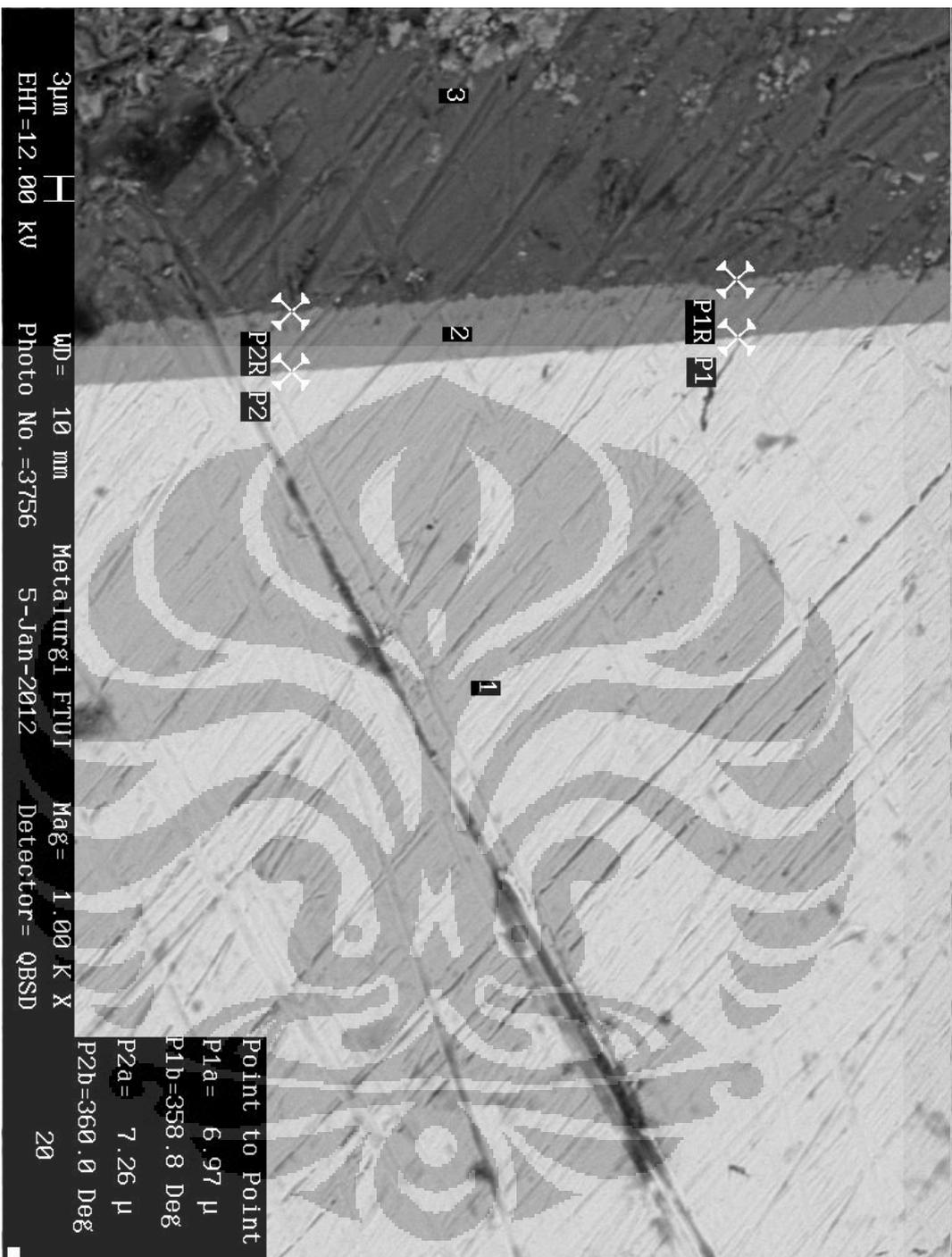
Gambar 4.5 Foto SEM sampel H13 *normal temper* setelah pencelupan pada paduan Al-12%Si 0,3%Mn dengan kecepatan 3000 rpm. No.1 merupakan baja H13, No.2 lapisan intermetalik yang terbentuk dan No.3 paduan Al-Si



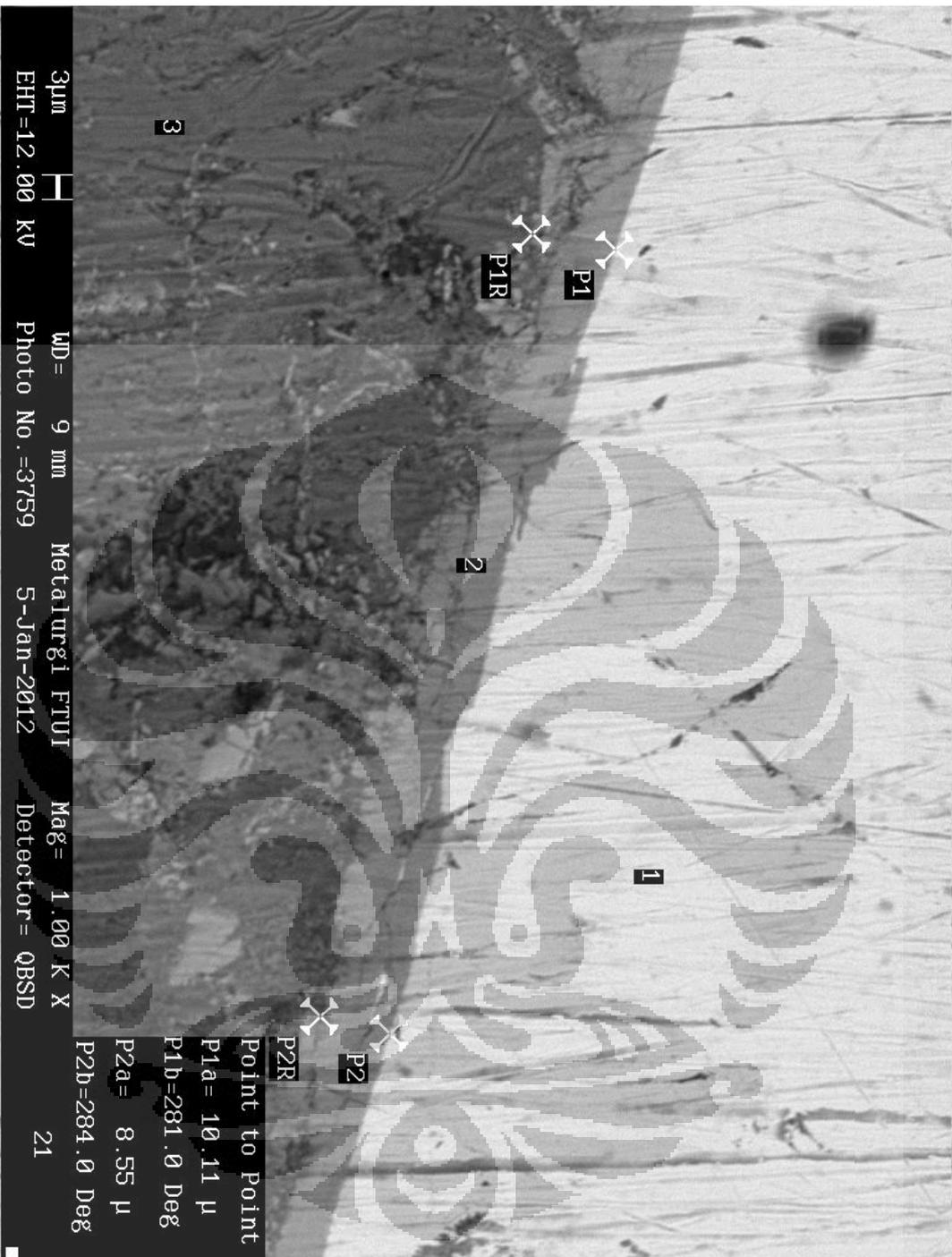
Gambar 4.6 Foto SEM sampel H13 *normal temper* setelah pencelupan pada paduan Al-12%Si 0,3%Mn dengan kecepatan 3500 rpm. No.1 merupakan baja H13, No.2 lapisan intermetalik yang terbentuk dan No.3 paduan Al-Si



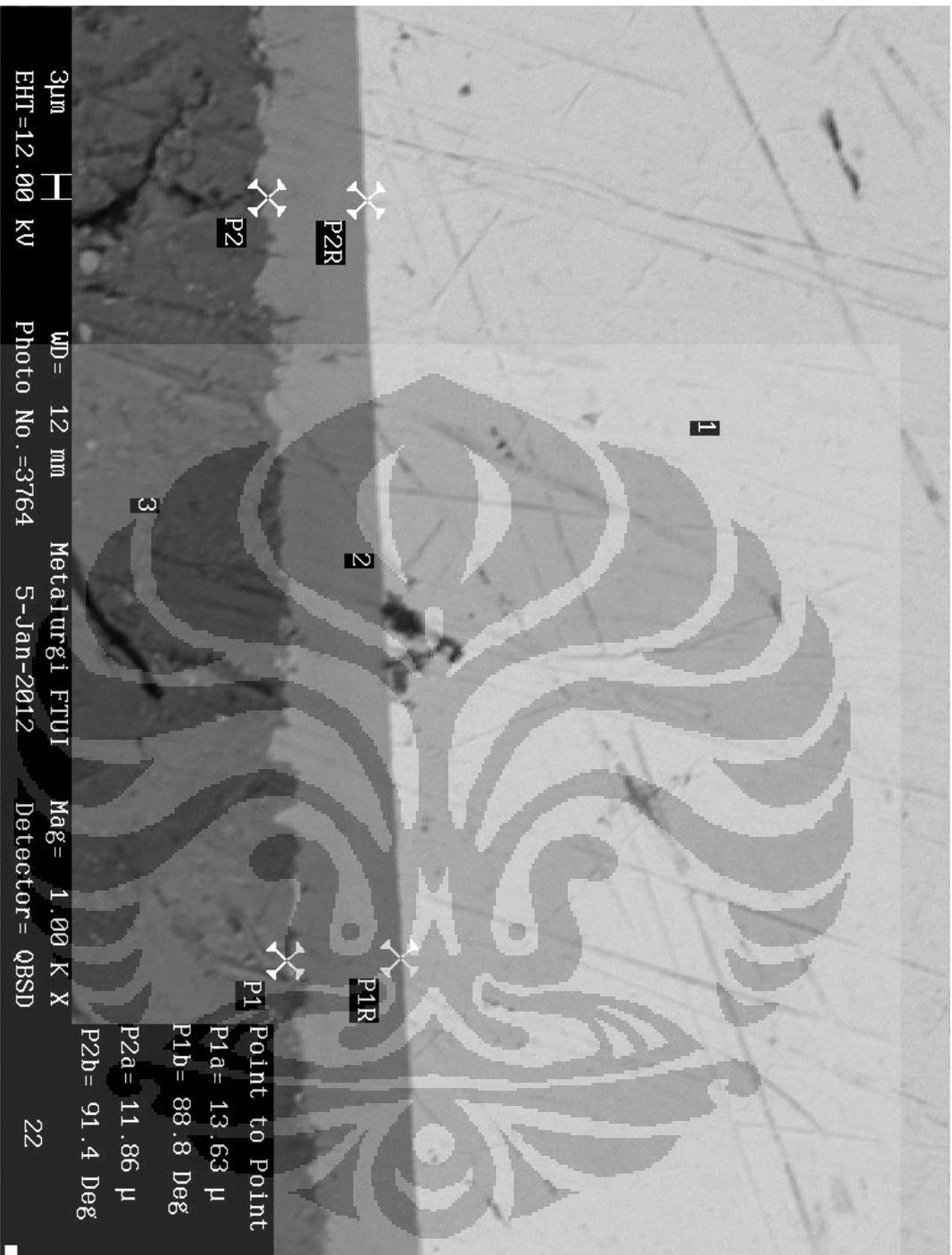
Gambar 4.7 Foto SEM sampel H13 *normal temper* setelah pencelupan pada paduan Al-12%Si 0,5%Mn dengan kecepatan 2500 rpm. No.1 merupakan baja H13, No.2 lapisan intermetalik yang terbentuk dan No.3 paduan Al-Si



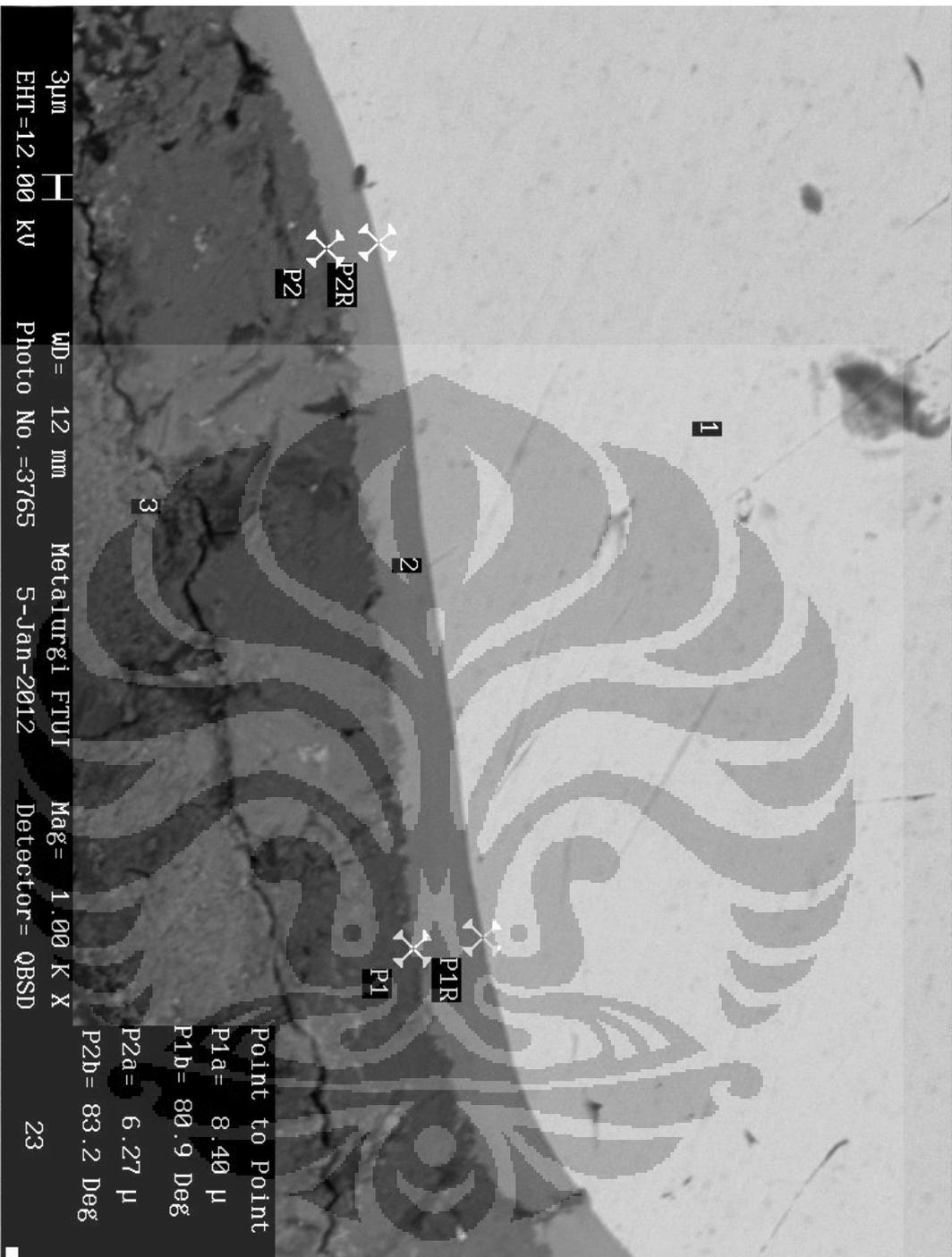
Gambar 4.8 Foto SEM sampel H13 *normal temper* setelah pencelupan pada paduan Al-12%Si 0,5% Mn dengan kecepatan 3000 rpm. No.1 merupakan baja H13, No.2 lapisan intermetalik yang terbentuk dan No.3 paduan Al-Si



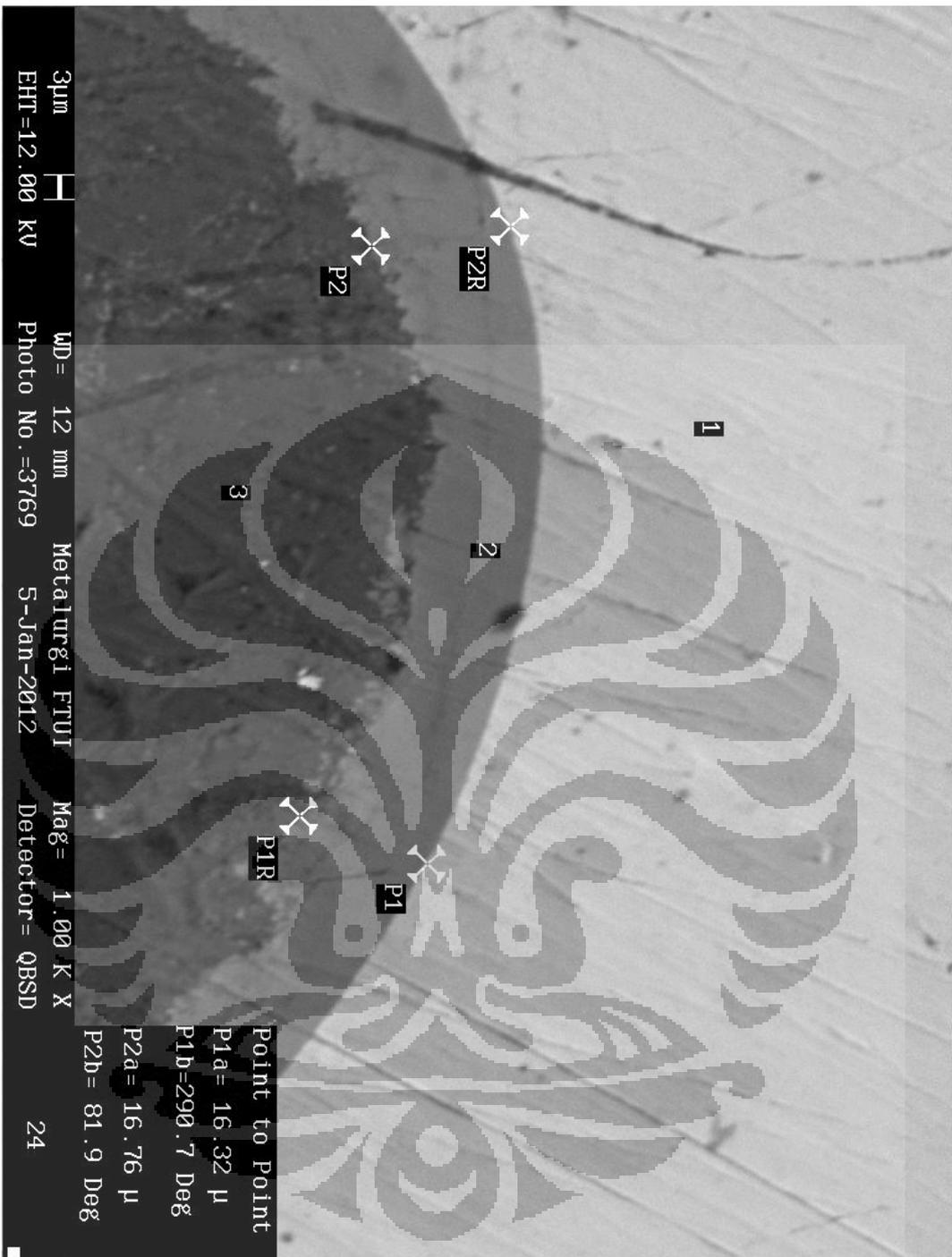
Gambar 4.9 Foto SEM sampel H13 *normal temper* setelah pencelupan pada paduan Al-12%Si 0,5% Mn dengan kecepatan 3500 rpm. No.1 merupakan baja H13, No.2 lapisan intermetalik yang terbentuk dan No.3 paduan Al-Si



Gambar 4.10 Foto SEM sampel H13 *normal temper* setelah pencelupan pada paduan Al-12%Si 0,7% Mn dengan kecepatan 2500 rpm. No.1 merupakan baja H13, No.2 lapisan intermetalik yang terbentuk dan No.3 paduan Al-Si



Gambar 4.11 Foto SEM sampel H13 *normal temper* setelah pencelupan pada paduan Al-12%Si 0,7% Mn dengan kecepatan 3000 rpm. No.1 merupakan baja H13, No.2 lapisan intermetalik yang terbentuk dan No.3 paduan Al-Si



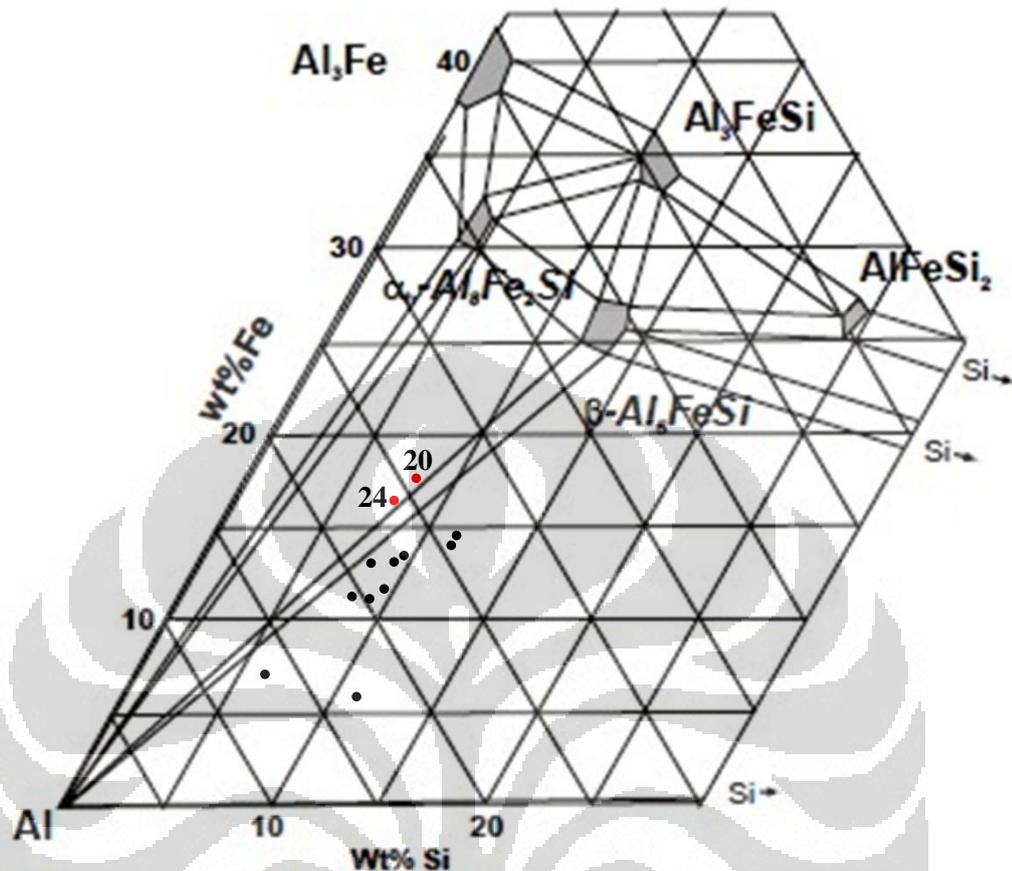
Gambar 4.12 Foto SEM sampel H13 *normal temper* setelah pencelupan pada paduan Al-12%Si 0,7% Mn dengan kecepatan 3500 rpm. No.1 merupakan baja H13, No.2 lapisan intermetalik yang terbentuk dan No.3 paduan Al-Si

Untuk mengetahui fasa yang terbentuk dilakukan pengujian komposisi kimia lapisan intermetalik dengan metode *energy dispersive spectroscopy* (EDS) yang terintegrasi dengan *scanning electron microscopy* (SEM). Hasil pengujian yang diperoleh adalah persentase berat Al, Fe dan Si pada lapisan intermetalik seperti terlihat pada Tabel 4.1 berikut ini.

Tabel 4.1 Komposisi kimia lapisan intermetalik hasil pencelupan dinamis baja H13 pada paduan Al-12%Si

No. Sampel	Komposisi Kimia Lapisan Intermetalik (Wt%)	Al	Fe	Si	Indikasi Fasa yang Terbentuk	
13	0,1%Mn	2500 rpm	76,11	5,85	10,32	β -Al ₅ FeSi
14		3000 rpm	74,56	13,07	8,32	β -Al ₅ FeSi
15		3500 rpm	76,55	11,50	8,48	β -Al ₅ FeSi
16	0,3%Mn	2500 rpm	75,12	11,38	9,14	β -Al ₅ FeSi
17		3000 rpm	73,11	13,29	9,70	β -Al ₅ FeSi
18		3500 rpm	80,52	7,65	7,02	β -Al ₅ FeSi
19	0,5%Mn	2500 rpm	70,15	14,52	10,60	β -Al ₅ FeSi
20		3000 rpm	70,62	17,70	8,44	α -Al ₈ Fe ₂ Si
21		3500 rpm	73,53	13,25	9,31	β -Al ₅ FeSi
22	0,7%Mn	2500 rpm	75,99	11,91	9,39	β -Al ₅ FeSi
23		3000 rpm	72,57	14,44	10,65	β -Al ₅ FeSi
24		3500 rpm	74,05	16,09	8,58	α -Al ₈ Fe ₂ Si

Persentase Fe dan Si pada Tabel 4.1 kemudian diplot ke dalam diagram fasa terner Al-Fe-Si sebagai titik potong kadar Fe dengan kadar Si seperti terlihat pada Gambar 4.13. Dari plot pada gambar tersebut dapat diketahui fasa intermetalik yang terbentuk adalah β -Al₅FeSi kecuali untuk sampel yang dicelup pada Al-12%Si-0,5%Mn dengan kecepatan 3000 rpm (nomor sampel 20) dan sampel yang dicelup pada Al-12%Si-0,7%Mn dengan kecepatan 3500 rpm (nomor sampel 24). Pada kedua sampel tersebut indikasi fasa intermetalik yang terbentuk adalah α -Al₈Fe₂Si.



Gambar 4.13 Diagram fasa terner Al-Fe-Si pada Al-rich (sudut Al)^[40]

4.2 PENGARUH KECEPATAN DAN UNSUR Mn TERHADAP KETEBALAN LAPISAN INTERMETALIK

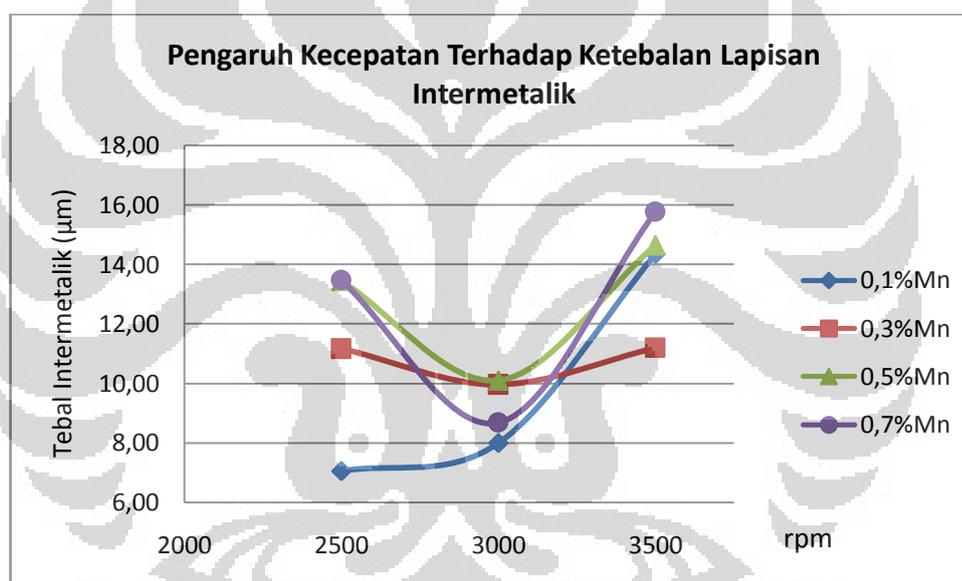
Pengujian SEM yang dilakukan selain untuk mengetahui lapisan intermetalik yang terbentuk juga untuk mengukur ketebalan lapisan. Pengukuran ketebalan lapisan intermetalik untuk satu sampel diukur sebanyak tiga kali dan satu kali pengukuran pada dua titik sehingga diperoleh enam data kekerasan. Hal ini dilakukan agar hasil pengukuran lebih akurat dan valid.

Nilai rata-rata ketebalan lapisan intermetalik yang diperoleh melalui pengujian SEM untuk masing-masing sampel ditampilkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Nilai rata-rata ketebalan lapisan intermetalik

Kadar Mn	Ketebalan Rata-rata Lapisan Intermetalik (μm)		
	2.500 rpm	3.000 rpm	3.500 rpm
0,1%Mn	7,06	8,00	14,37
0,3%Mn	11,17	9,97	11,20
0,5%Mn	13,45	10,11	14,65
0,7%Mn	13,48	8,69	15,77

Dari Tabel 4.2 dibuat grafik pengaruh kecepatan terhadap ketebalan lapisan intermetalik dan pengaruh Mn terhadap ketebalan lapisan intermetalik. Grafik ini berguna untuk mempermudah melihat hubungan kecepatan dan kadar Mn dengan ketebalan lapisan intermetalik.

**Gambar 4.14** Grafik pengaruh kecepatan terhadap ketebalan lapisan intermetalik

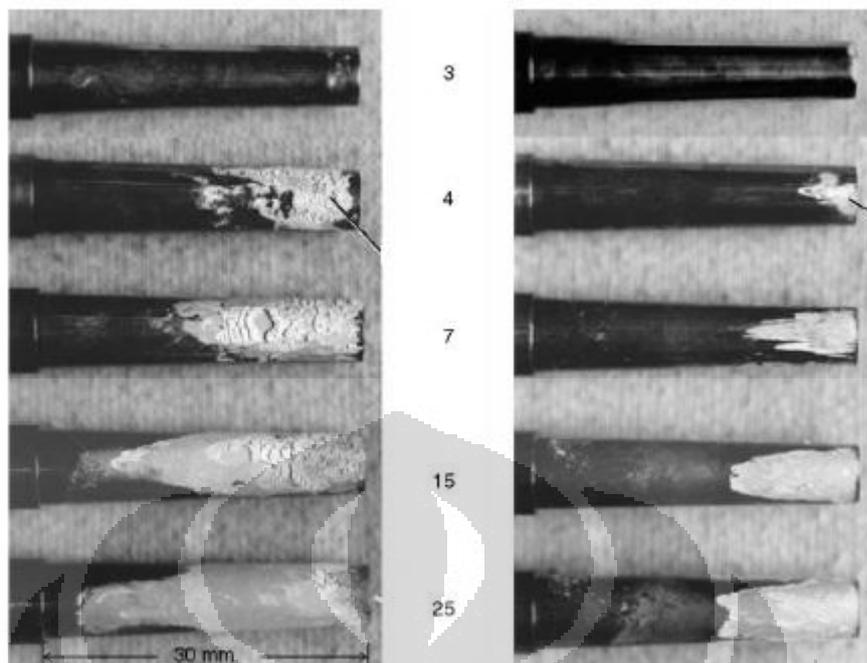
Dari Gambar 4.14 dapat dilihat pengaruh kecepatan terhadap ketebalan lapisan intermetalik yang terbentuk. Pada penambahan 0,3%Mn, 0,5%Mn dan 0,7%Mn terjadi kecenderungan yang sama, yaitu ketebalan lapisan intermetalik turun dengan naiknya kecepatan dari 2.500 rpm ke 3.000 rpm. Pada kecepatan 3.000 rpm ketebalan lapisan intermetalik kembali meningkat bahkan lebih tinggi daripada kecepatan 2.500 rpm. Hal ini dapat terjadi karena hubungan antara proses pembentukan dan pelarutan lapisan intermetalik. Pada kecepatan 2.500 rpm lapisan intermetalik terbentuk dengan pelarutan yang sedikit. Pada kecepatan 3.000 rpm laju kelarutan lapisan intermetaliknya lebih tinggi sehingga lapisan

intermetalik yang menempel pada permukaan baja H13 lebih tipis. Pada kecepatan yang lebih tinggi, yaitu 3.500 rpm, ketebalan lapisan intermetalik kembali meningkat bahkan lebih tinggi. Ini dapat disebabkan oleh laju pembentukan intermetalik menjadi lebih tinggi mengalahkan laju pelarutannya karena keaktifan permukaan logam *die* terhadap paduan aluminium cair meningkat.

Berbeda dengan yang lainnya, pada penambahan 0,1%Mn ketebalan lapisan intermetalik yang terbentuk terus meningkat dengan naiknya kecepatan. Pada paduan Mn yang rendah ini kemungkinan keaktifan permukaan baja H13 semakin tinggi dengan naiknya kecepatan sehingga pembentukan lapisan intermetalik terus meningkat dan pelarutannya sedikit.

Penelitian Chen^[10] tentang pengaruh kecepatan injeksi aluminium cair terhadap ketebalan lapisan intermetalik yang terbentuk pada permukaan baja cetakan H13 menunjukkan meningkatnya lapisan intermetalik dengan naiknya kecepatan injeksi. Pada penelitian ini Chen mengamati perbedaan lapisan intermetalik yang terbentuk pada pin baja H13 yang dipasang dekat dengan *gate* (kecepatan injeksi lebih tinggi) dengan pin yang dipasang jauh dari *gate* (kecepatan injeksi lebih rendah). Secara visual lapisan intermetalik yang terbentuk pada permukaan baja dapat dilihat pada Gambar 4.15.

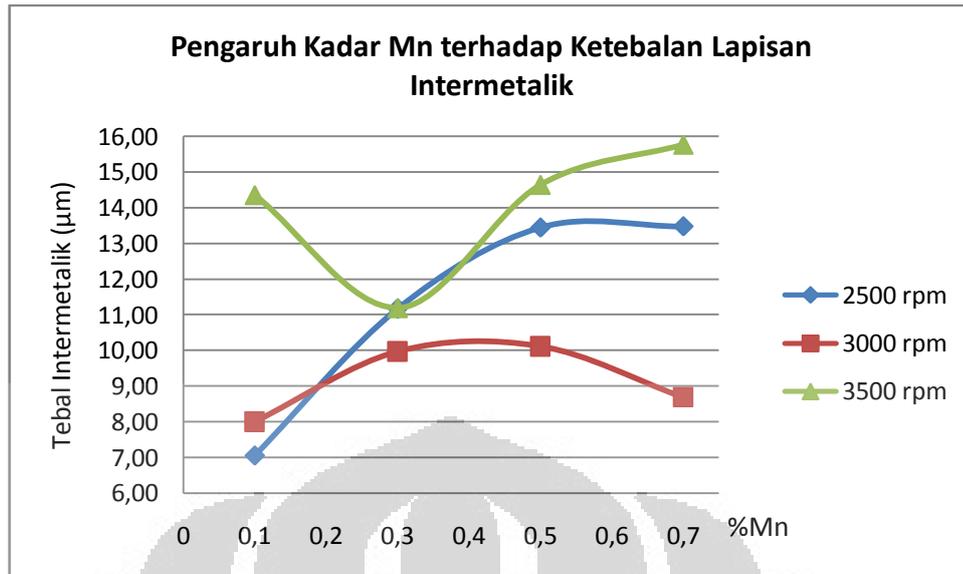
Penelitian Chen ini hanya mengamati dua perbedaan kecepatan sehingga tidak ditemukan variasi hasil yang diperoleh seperti pada penelitian yang dilakukan terhadap baja H13 normal temper yang dicelup dengan kecepatan 2500, 3000 dan 3500 rpm. Namun terlihat kecenderungan yang sama bahwa kecepatan injeksi yang lebih tinggi akan menyebabkan terbentuknya lapisan intermetalik yang lebih tebal.



Gambar 4.15 Pengaruh naiknya kecepatan injeksi terhadap tebal lapisan intermetalik.
Kiri: Kecepatan tinggi, Kanan: Kecepatan lebih rendah^[10]

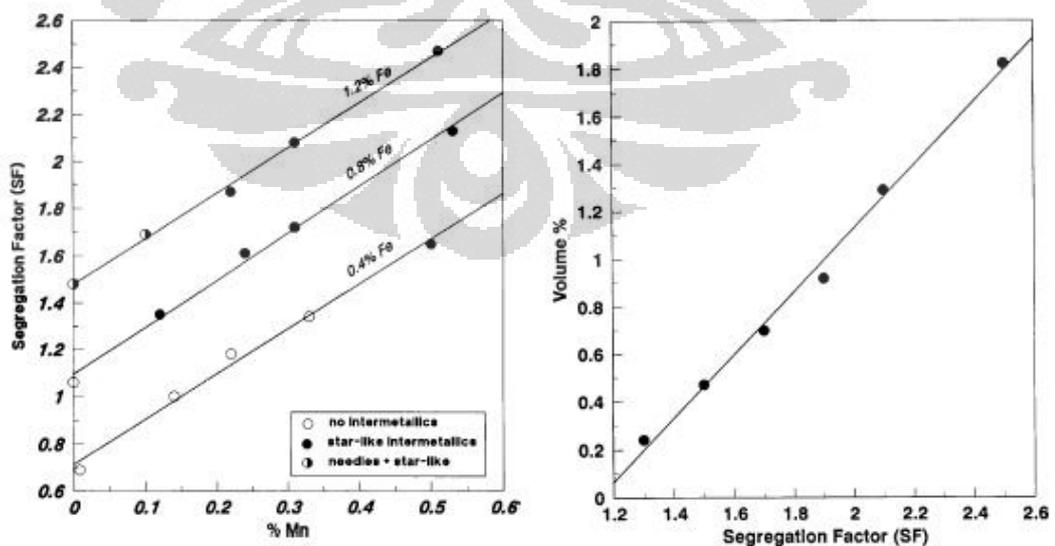
Untuk pengaruh kadar Mn terhadap ketebalan lapisan intermetalik disajikan pada grafik dalam Gambar 4.16. Kecepatan 2.500 rpm dan 3.500 rpm memberikan tren yang sama yaitu ketebalan lapisan intermetalik naik sampai dengan maksimum pada penambahan 0,5%Mn dan mulai turun dari penambahan 0,5%Mn sampai dengan 0,7%Mn. Unsur Mn pada kadar tertentu berfungsi sebagai inhibitor untuk memperlambat terjadinya *die soldering*. Dari penelitian ini dapat dilihat bahwa kadar Mn yang menurunkan efek *die soldering* adalah antara 0,5-0,7%.

Pada kecepatan 3.500 rpm tidak terlihat pengaruh yang signifikan dari penambahan Mn dengan terbentuknya grafik yang tidak beraturan, ketebalan lapisan intermetalik turun dari 0,1% ke 0,3% Mn kemudian naik lagi. Hal ini dapat disebabkan oleh efek pelarutan dan pengikisan lapisan intermetalik yang lebih dominan oleh kecepatan aliran aluminium cair yang tinggi sehingga kecenderungannya berbeda dengan pengaruh Mn pada kecepatan 2.500 rpm dan 3.000 rpm.



Gambar 4.16 Grafik pengaruh kadar Mn terhadap ketebalan lapisan intermetalik

S.G. Shabestari^[41] meneliti tentang pengaruh kadar Mn dan Fe terhadap intermetalik yang terbentuk pada paduan Al-12,7%Si. Shabestari mengombinasikan Mn dan Fe dalam beberapa variasi kadar. Dari penelitian tersebut terlihat bahwa penambahan Mn sampai dengan kadar 0,5% pada paduan Al-12,7%Si akan meningkatkan faktor segregasi seperti terlihat dalam grafik sebelah kiri pada Gambar 4.17. Sementara kenaikan faktor segregasi pada paduan ini akan meningkatkan volume intermetalik yang terbentuk seperti terlihat dalam grafik sebelah kanan pada Gambar 4.17.



Gambar 4.17 Grafik pengaruh kadar Mn terhadap Faktor Segregasi (kiri) dan pengaruh Faktor Segregasi terhadap volume % intermetalik (kanan)^[42]

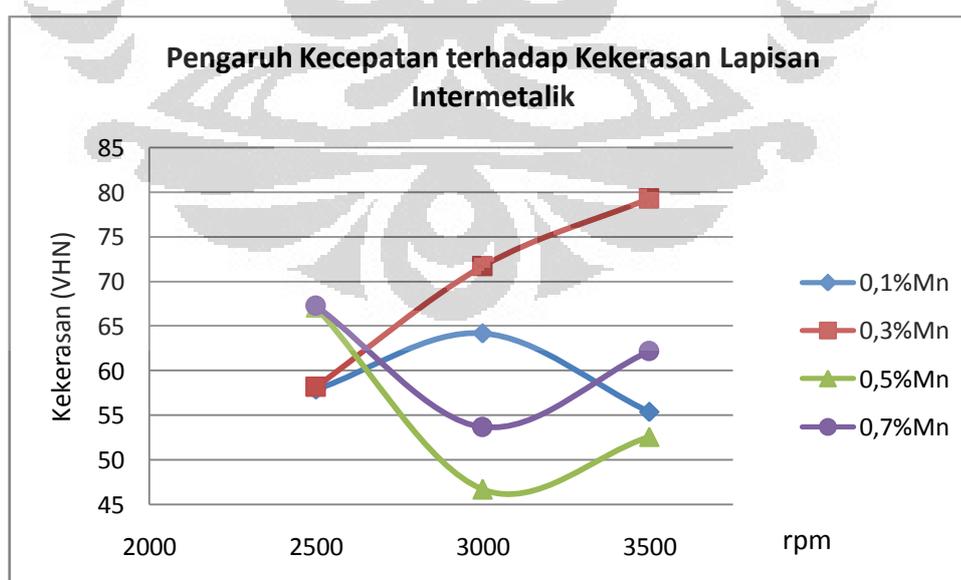
4.3 PENGARUH KECEPATAN DAN UNSUR Mn TERHADAP KEKERASAN LAPISAN INTERMETALIK

Kekerasan lapisan intermetalik yang terbentuk setelah proses pencelupan sampel baja H13 ke dalam paduan aluminium cair dilakukan dengan metode *Vickers micro-hardness test* karena ukuran lapisan intermetalik yang berada dalam skala mikro. Hasil pengujian untuk tiap sampel diberikan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Kekerasan lapisan intermetalik yang terbentuk setelah proses pencelupan dinamis sampel baja H13 dalam paduan Al-12%Si

Kadar Mn	Kekerasan Lapisan Intermetalik (VHN)		
	2.500 rpm	3.000 rpm	3.500 rpm
0,1%Mn	57,9	64,2	55,4
0,3%Mn	58,2	71,7	79,3
0,5%Mn	67,1	46,7	52,6
0,7%Mn	67,3	53,7	62,2

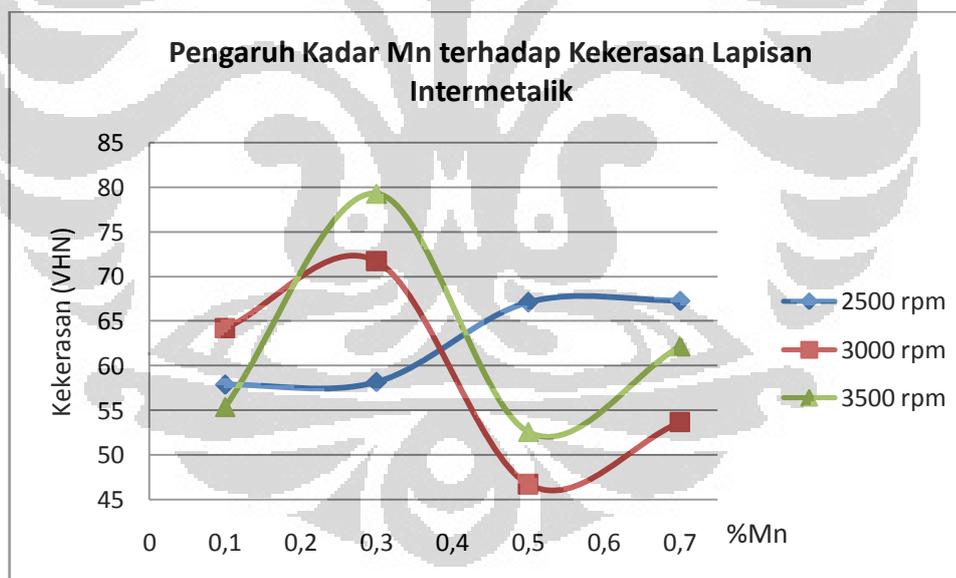
Dari data kekerasan lapisan intermetalik pada Tabel 4.3 dibuat grafik pengaruh kecepatan terhadap kekerasan lapisan intermetalik seperti terlihat pada Gambar 4.18 dan grafik pengaruh kadar Mn terhadap kekerasan lapisan intermetalik pada Gambar 4.19.



Gambar 4.18 Grafik pengaruh kecepatan terhadap kekerasan lapisan intermetalik

Pada penambahan 0,1%Mn, kekerasan lapisan intermetalik meningkat dengan naiknya kecepatan aliran aluminium cair dari 2.500 rpm ke 3.000 rpm kemudian turun dari kecepatan 3.000 rpm ke 3.500 rpm. Pada penambahan 0,3%Mn kekerasan lapisan intermetalik terus meningkat dengan naiknya kecepatan. Dari dua grafik ini tidak terlihat pengaruh nyata dari kecepatan terhadap kekerasan lapisan intermetalik. Hal ini dimungkinkan terjadi karena kadar unsur-unsur yang terkandung pada lapisan intermetalik cukup beragam, terutama unsur Fe yang berpengaruh terhadap kekerasan.

Penambahan 0,5%Mn dan 0,7%Mn memperlihatkan kecenderungan yang sama terhadap kekerasan lapisan intermetalik dengan naiknya kecepatan. Kekerasan lapisan intermetalik turun dengan naiknya kecepatan dari 2.500 rpm ke 3.000 rpm kemudian kekerasan meningkat lagi dari kecepatan 3.000 rpm ke 3.500 rpm. Hal ini dapat terjadi karena unsur Mn sebagai inhibitor *die soldering* bekerja optimal pada kecepatan 3.000 rpm.



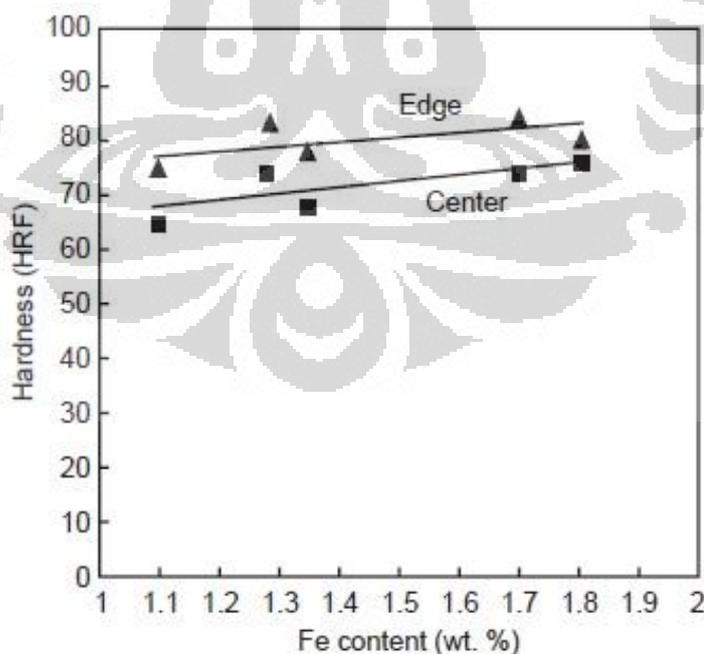
Gambar 4.19 Grafik pengaruh kadar Mn terhadap kekerasan lapisan intermetalik

Dari Gambar 4.19 terlihat bahwa kekerasan lapisan intermetalik cenderung terus naik dengan peningkatan kadar Mn pada kecepatan 2.500 rpm. Pada kecepatan 3.000 rpm dan 3.500 rpm menunjukkan kecenderungan yang sama. Kekerasan lapisan intermetalik naik dengan penambahan 0,1%Mn ke 0,3%Mn kemudian turun dengan penambahan 0,5%Mn dan naik lagi pada penambahan

0,7%Mn. Hal ini mengindikasikan bahwa pada kecepatan 3.000 rpm dan 3.500 rpm penambahan unsur Mn sebesar 0,5% berfungsi dengan baik untuk menurunkan difusi atom Fe dari baja H13 ke aluminium cair sehingga kekerasan lapisan intermetalik yang terbentuk menjadi lebih rendah.

Temuan pada sub-bab ini dan pembahasan sebelumnya menunjukkan bahwa kadar Mn yang paling baik untuk mengurangi efek *die soldering* pada proses cetak tekan paduan aluminium adalah 0,5%Mn dan injeksi paduan aluminium cair dilakukan pada kecepatan 3.000 rpm. Sementara itu, kecepatan 2.500 rpm dan 3.500 rpm berdampak negatif terhadap *die* dengan tingginya efek *die soldering* dan penambahan unsur Mn tidak berpengaruh signifikan.

Kecepatan injeksi dan kadar Mn yang ditambahkan tidak berpengaruh langsung terhadap kekerasan lapisan intermetalik yang terbentuk. Namun Mn berpengaruh terhadap jumlah Fe yang bereaksi membentuk lapisan intermetalik. Mn dalam sistem Al-Fe-Si akan membentuk fasa $Al_{15}(FeMn)_3Si_2$ yang lebih stabil. Adanya kandungan Mn ini akan menurunkan kadar Fe yang dibutuhkan dalam sistem Al-Fe-Si tersebut. Dengan turunnya kadar Fe dalam sistem intermetalik, maka kekerasan lapisan intermetalik akan ikut turun. Pengaruh kadar Fe terhadap kekerasan lapisan intermetalik diperlihatkan oleh Gambar 4.20.



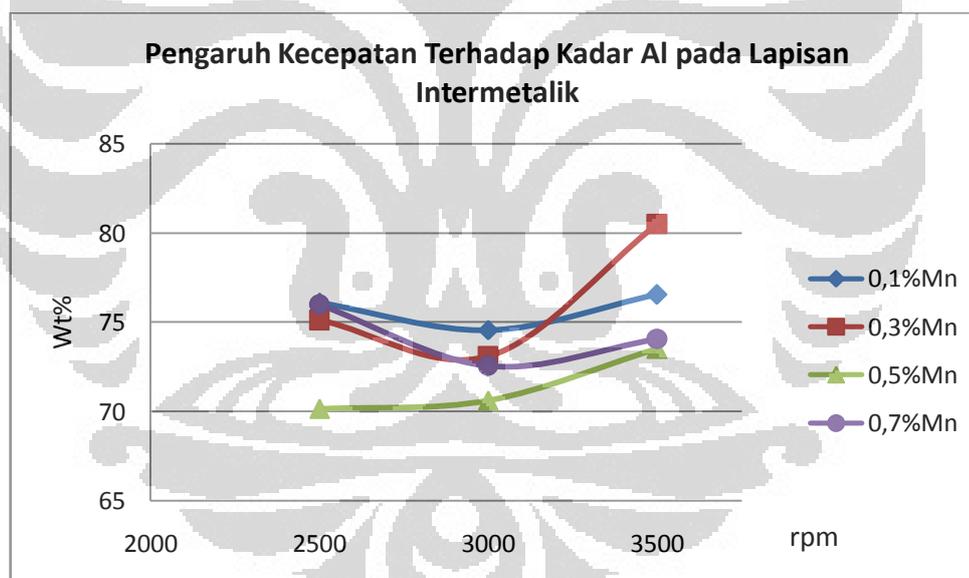
Gambar 4.20 Grafik pengaruh kadar Fe terhadap kekerasan lapisan intermetalik^[42]

4.4 PENGARUH KECEPATAN DAN KADAR Mn TERHADAP KOMPOSISI KIMIA LAPISAN INTERMETALIK

Komposisi kimia lapisan intermetalik hasil pencelupan dinamis baja H13 pada paduan Al-12%Si telah disajikan pada Tabel 4.1. Data pada tabel tersebut menunjukkan variasi dari persentase unsur-unsur yang terkandung pada lapisan intermetalik, seperti Al, Fe dan Si. Pada bagian ini akan dibahas tentang pengaruh kecepatan dan kadar Mn terhadap persentase masing-masing unsur yang terkandung pada lapisan intermetalik.

4.4.1 Pengaruh Kecepatan dan Kadar Mn terhadap Persentase Al pada Lapisan Intermetalik

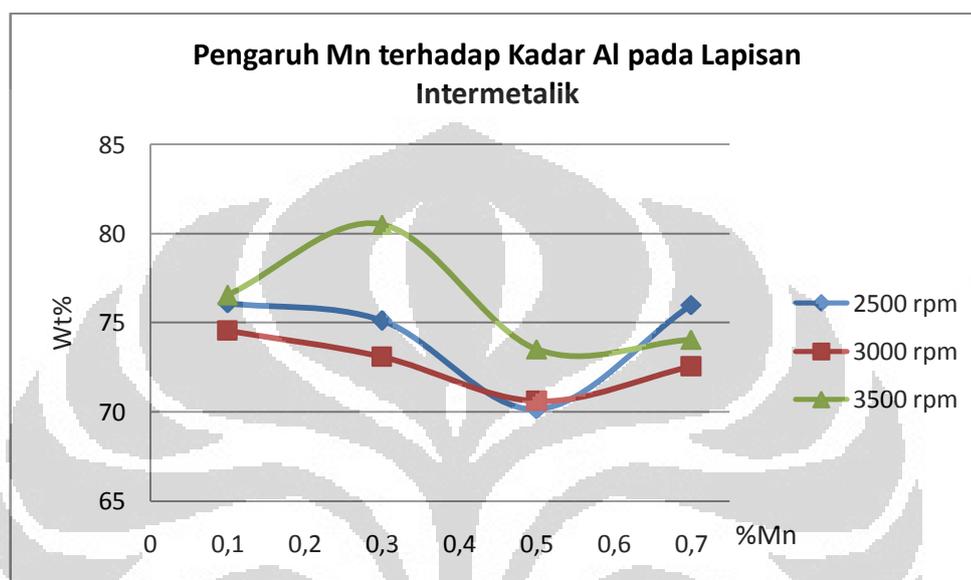
Hubungan antara kecepatan dengan kadar Al yang terdapat pada lapisan intermetalik diberikan oleh grafik pada Gambar 4.9.



Gambar 4.21 Grafik pengaruh kecepatan terhadap kadar Al pada lapisan intermetalik

Grafik pada Gambar 4.21 memperlihatkan kecenderungan yang hampir sama pada penambahan 0,1%Mn, 0,3%Mn dan 0,7%Mn dengan meningkatnya kecepatan. Kadar Al turun dengan naiknya kecepatan dari 2.500 rpm ke 3.000 rpm. Sementara ketika kecepatan naik dari 3.000 rpm ke 3.500 rpm kadar Al kembali naik. Berbeda dengan penambahan 0,5%Mn, pada penambahan Mn dengan kadar, persentase Al pada lapisan intermetalik terus meningkat dengan

naiknya kecepatan walaupun peningkatannya tidak tajam. Grafik pengaruh kecepatan terhadap kadar Al yang terkandung pada lapisan intermetalik ini memiliki korelasi dengan pengaruh kecepatan terhadap ketebalan lapisan intermetalik. Hal ini mengindikasikan bahwa ketebalan lapisan intermetalik tergantung pada jumlah Al yang terkandung pada lapisan tersebut.

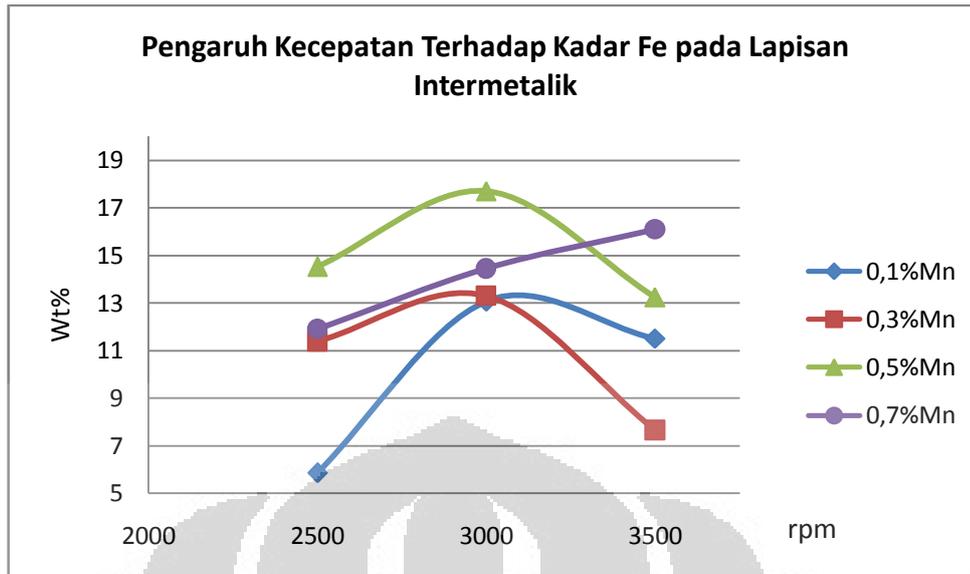


Gambar 4.22 Grafik pengaruh Mn terhadap kadar Al pada lapisan intermetalik

Hubungan antara penambahan Mn terhadap kadar Al yang terdapat pada lapisan intermetalik ditunjukkan pada Gambar 4.22. Pada umumnya terlihat penurunan kadar Al pada lapisan intermetalik dengan penambahan 0,3% Mn sampai 0,5% Mn. Penambahan 0,7% Mn kembali memperlihatkan kenaikan pada kadar Al dalam lapisan intermetalik. Grafik ini memberi indikasi bahwa penambahan 0,5% Mn memiliki pengaruh yang paling signifikan dalam menurunkan kadar Al yang terkandung dalam lapisan intermetalik.

4.4.2 Pengaruh Kecepatan dan Kadar Mn terhadap Persentase Fe dalam Lapisan Intermetalik

Hubungan antara kecepatan dengan persentase Fe dalam lapisan intermetalik diberikan oleh grafik pada Gambar 4.23.



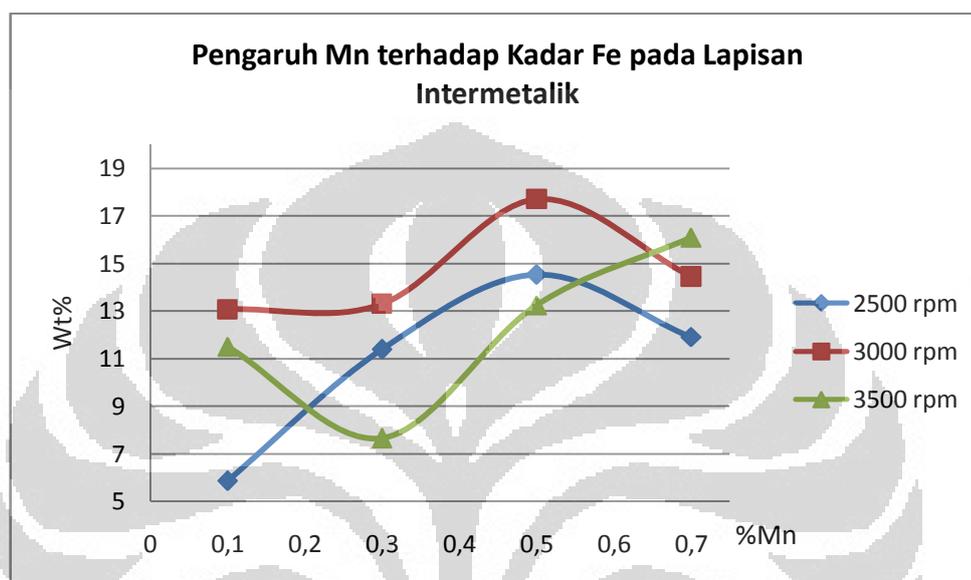
Gambar 4.23 Grafik pengaruh kecepatan terhadap kadar Fe pada lapisan intermetalik

Pada Gambar 4.23 dapat dilihat dengan penambahan Mn dari 0,1-0,5% kadar Fe meningkat dengan naiknya kecepatan dari 2.500 rpm ke 3.000 rpm. Hal ini dapat disebabkan karena naiknya interaksi antara permukaan baja H13 dengan paduan aluminium cair sehingga Fe yang berdifusi dari baja H13 ke paduan aluminium dan membentuk lapisan intermetalik semakin tinggi. Pada kecepatan 3.500 rpm kadar Fe pada lapisan intermetalik kembali turun. Hal ini dapat terjadi karena Fe yang berdifusi dari permukaan baja H13 ke paduan aluminium cair tidak seluruhnya tersolidifikasi menjadi lapisan intermetalik tetapi ikut dengan aliran paduan aluminium cair yang memiliki kecepatan tinggi.

Pengaruh kadar Mn terhadap persentase Fe yang terdapat pada lapisan intermetalik dapat dilihat pada Gambar 4.24. Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa pada kecepatan 2.500 rpm dan 3.000 rpm kadar Fe pada lapisan intermetalik naik dengan penambahan Mn sebesar 0,1% sampai dengan 0,5%. Dari 0,5%Mn ke 0,7%Mn kadar Fe pada lapisan intermetalik mengalami penurunan. Hal ini menjadi indikasi bahwa penambahan 0,5-0,7% Mn pada paduan aluminium dapat menurunkan afinitas Al terhadap Fe sehingga *die soldering* dapat dikurangi.

Pada kecepatan yang lebih tinggi, 3.500 rpm, terlihat perbedaan kadar Fe yang ada pada lapisan intermetalik. Penambahan 0,3%Mn menurunkan kadar Fe

pada lapisan intermetalik jika dibandingkan dengan penambahan 0,1%Mn. Tetapi kadar Fe terus naik dengan penambahan 0,5%Mn dan 0,7%Mn. Pada kecepatan ini tidak terlihat fungsi Mn dalam menurunkan afinitas Al terhadap Fe. Hal ini dapat terjadi karena faktor kecepatan yang tinggi lebih dominan pengaruhnya terhadap pembentukan lapisan intermetalik.

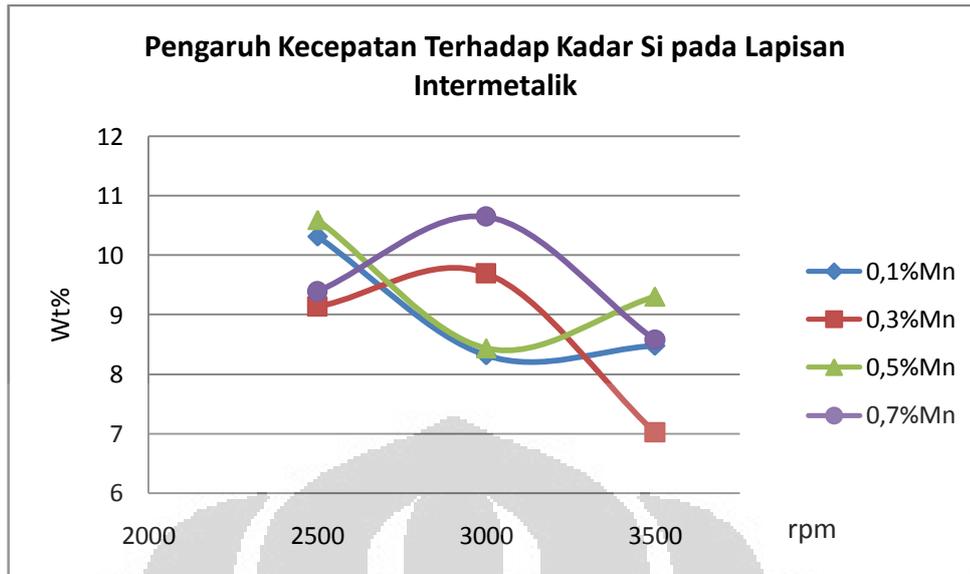


Gambar 4.24 Grafik pengaruh Mn terhadap kadar Fe pada lapisan intermetalik

4.4.3 Pengaruh Kecepatan dan Kadar Mn terhadap Persentase Si dalam Lapisan Intermetalik

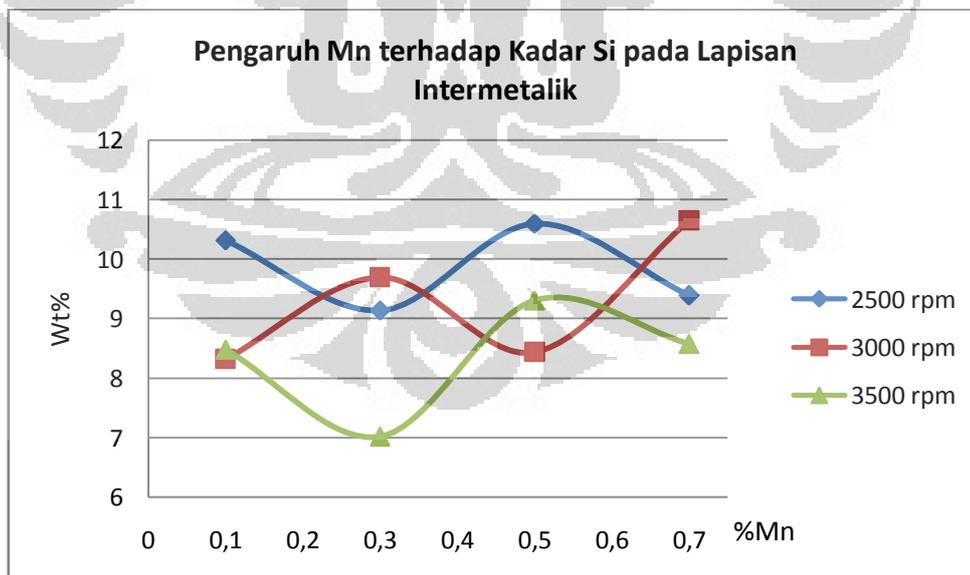
Hubungan kecepatan dan kadar Mn yang ditambahkan pada paduan aluminium dengan persentase Si yang terdapat pada lapisan intermetalik dapat dilihat dalam grafik pada Gambar 4.25 dan 4.26.

Dari Gambar 4.25 terlihat bahwa pada penambahan 0,1%Mn dan 0,5%Mn kadar Si turun dari kecepatan 2.500 rpm ke 3.000 rpm kemudian naik lagi pada kecepatan 3.500 rpm. Hal sebaliknya terjadi pada penambahan 0,3%Mn dan 0,7%Mn dimana kadar Si naik dari kecepatan 2.500 rpm ke 3.000 rpm dan kembali turun pada kecepatan 3.500 rpm. Dari hasil ini tidak terlihat hubungan yang jelas antara kecepatan dengan kadar Si yang terkandung pada lapisan intermetalik dengan kata lain kecepatan tidak mempengaruhi kadar Si yang terdapat pada lapisan intermetalik.



Gambar 4.25 Grafik pengaruh kecepatan terhadap kadar Si pada lapisan intermetalik

Sementara pada Gambar 4.26 jumlah Si yang ada pada lapisan intermetalik naik turun dengan adanya penambahan Mn pada paduan aluminium dalam berbagai kecepatan. Hal ini juga menunjukkan bahwa kadar Mn yang ditambahkan tidak mempengaruhi Si yang terkandung dalam lapisan intermetalik secara langsung.



Gambar 4.26 Grafik pengaruh Mn terhadap kadar Si dalam lapisan intermetalik

4.5 PERBANDINGAN HASIL PENGUJIAN SAMPEL *NORMAL TEMPER* DENGAN *OVER TEMPER*

Data tentang lapisan intermetalik yang terbentuk pada sampel baja H13 *normal temper* pada penelitian ini dibandingkan dengan data hasil penelitian Hilmi Aziz^[44] dengan tema yang sama dengan penelitian ini tetapi menggunakan sampel baja H13 *over temper*. Perbandingan ini dilakukan untuk melihat pengaruh *over temper* yang terjadi pada *dies* jika *dies* dioperasikan terlalu lama dalam temperatur tinggi sehingga menimbulkan efek *softening* pada baja H13 dalam pembentukan lapisan intermetalik pada fenomena *die soldering*.

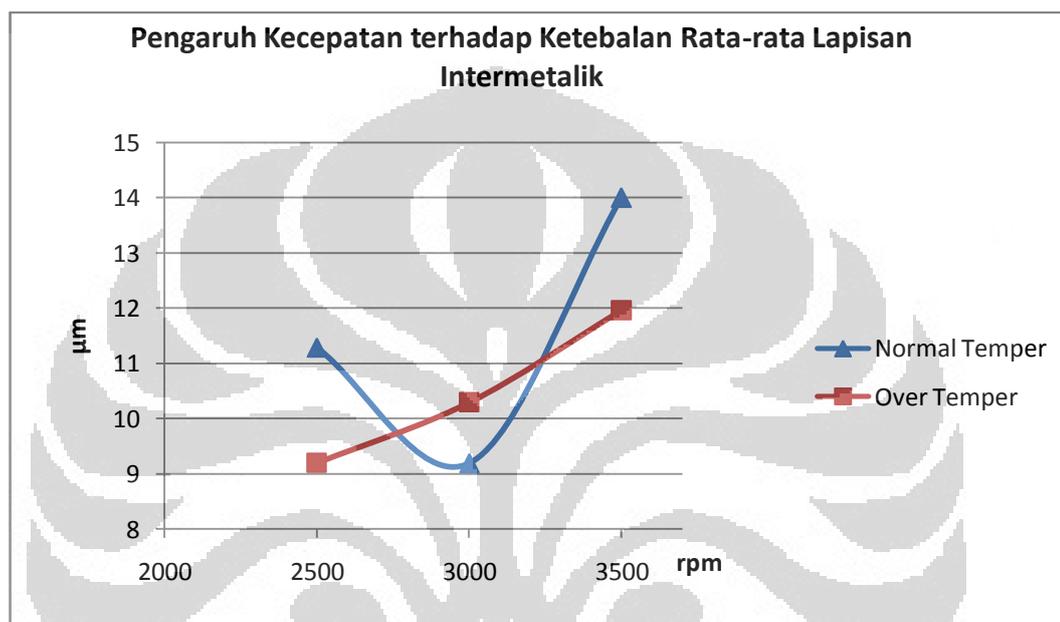
Perbedaan perlakuan panas antara *normal tempering* dengan *over tempering* adalah pada temperatur tempernya. Normal temper dilakukan pada temperatur 550 °C selama satu jam, sedangkan *over tempering* pada 600 °C selama satu jam. Temperatur yang lebih tinggi pada *over tempering* membuat kekerasan baja H13 *over temper* lebih rendah daripada *normal temper*. Perbedaan kekerasan ini membuat efek *die soldering* pada kedua sampel juga berbeda.

Pada Tabel 4.4 berikut ini ditampilkan perbandingan ketebalan lapisan intermetalik yang terbentuk pada sampel *normal temper* dengan *over temper*.

Tabel 4.4 Perbandingan ketebalan lapisan intermetalik yang terbentuk pada sampel H13 *normal temper* dengan *over temper*

rpm	%Mn	Ketebalan Lapisan Intermetalik (µm)		Rata-rata Ketebalan (µm)	
		Normal Temper	Over Temper	Normal Temper	Over Temper
2500	0,1	7,06	11,49	11,29	9,20
	0,3	11,17	8,71		
	0,5	13,45	11,35		
	0,7	13,48	5,25		
3000	0,1	8,00	9,88	9,19	10,29
	0,3	9,97	10,89		
	0,5	10,11	11,64		
	0,7	8,69	8,76		
3500	0,1	14,37	13,54	14,00	11,96
	0,3	11,20	13,26		
	0,5	14,65	12,33		
	0,7	15,77	8,70		

Untuk mempermudah perbandingan, pada tabel tersebut ditampilkan ketebalan rata-rata lapisan intermetalik yang terbentuk berdasarkan perbedaan kadar penambahan Mn untuk masing-masing kecepatan. Dari tabel tersebut dibuat grafik tentang pengaruh kecepatan terhadap ketebalan rata-rata lapisan intermetalik yang terbentuk pada sampel baja H13 *normal temper* dan *over temper* seperti terlihat pada Gambar 4.27.



Gambar 4.27 Grafik pengaruh kecepatan terhadap ketebalan rata-rata lapisan intermetalik sampel baja H13 *normal temper* dan *over temper*

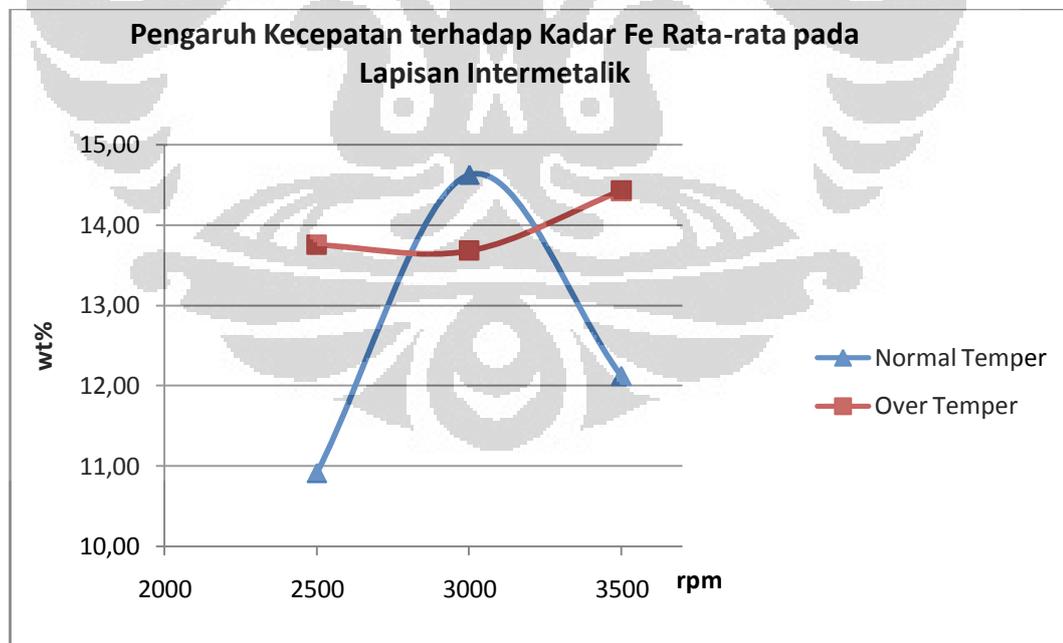
Dari grafik pada Gambar 4.27 terlihat bahwa lapisan intermetalik pada sampel baja H13 *normal temper* umumnya cenderung lebih tebal dibandingkan dengan sampel H13 *over temper* dan meningkat seiring dengan naiknya kecepatan injeksi paduan aluminium cair. Hal ini disebabkan oleh kadar Al+Si dalam lapisan intermetalik yang terbentuk pada sampel baja H13 *normal temper* lebih tinggi dibandingkan dengan kadar Al+Si dalam lapisan intermetalik pada sampel baja H13 *over temper*.

Hal ini dibuktikan lagi dengan perbandingan kadar Fe dalam lapisan intermetalik yang terbentuk pada sampel baja H13 *normal temper* dengan sampel baja H13 *over temper*. Perbandingan kadar Fe ini dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Perbandingan kadar Fe dalam lapisan intermetalik pada sampel baja H13
normal temper dengan over temper

rpm	%Mn	Wt%Fe pada Intermetalik		Rata-rata Wt%Fe	
		Normal Temper	Over Temper	Normal Temper	Over Temper
2500	0,1	5,85	14,07	10,92	13,76
	0,3	11,38	11,82		
	0,5	14,52	11,00		
	0,7	11,91	18,13		
3000	0,1	13,07	7,53	14,63	13,68
	0,3	13,29	19,32		
	0,5	17,70	13,44		
	0,7	14,44	14,43		
3500	0,1	11,50	12,54	12,12	14,42
	0,3	7,65	22,03		
	0,5	13,25	11,90		
	0,7	16,09	11,22		

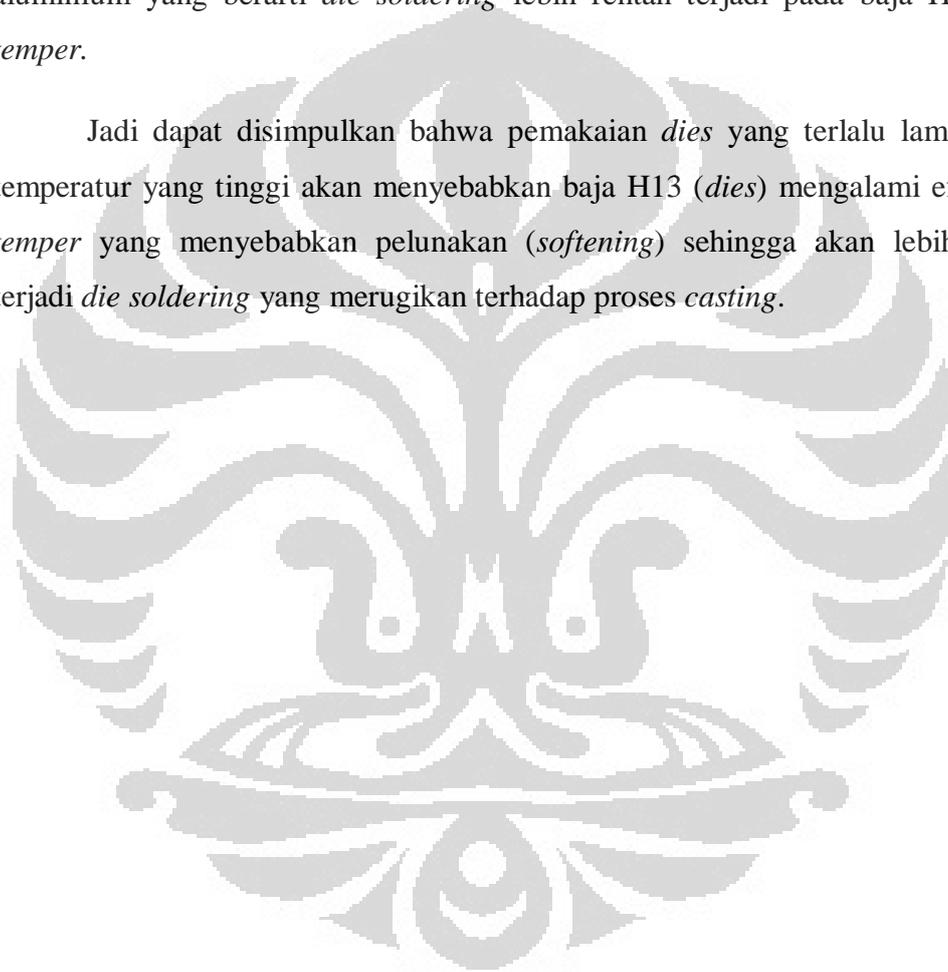
Rata-rata kadar Fe untuk kedua jenis sampel tersebut kemudian ditampilkan dalam bentuk grafik seperti terlihat pada Gambar 4.28 berikut ini.



Gambar 4.28 Pengaruh kecepatan terhadap kadar Fe rata-rata dalam lapisan intermetalik pada sampel baja H13 *normal temper* dan *over temper*

Dari grafik pada Gambar 4.28 dapat dilihat bahwa pada sampel baja H13 *over temper* cenderung terbentuk lapisan intermetalik dengan kadar Fe yang lebih tinggi dibandingkan dengan yang terbentuk pada sampel baja H13 *normal temper*. Kadar Fe yang lebih tinggi pada lapisan intermetalik ini tidak disukai dalam *die soldering* karena akan meningkatkan kekerasan lapisan intermetalik seperti yang telah dijelaskan sebelumnya oleh penelitian X. P. Niu^[42]. Kadar Fe yang lebih tinggi juga mengindikasikan lebih tingginya difusi atom Fe dari *dies* terhadap aluminium yang berarti *die soldering* lebih rentan terjadi pada baja H13 *over temper*.

Jadi dapat disimpulkan bahwa pemakaian *dies* yang terlalu lama dalam temperatur yang tinggi akan menyebabkan baja H13 (*dies*) mengalami efek *over temper* yang menyebabkan pelunakan (*softening*) sehingga akan lebih rentan terjadi *die soldering* yang merugikan terhadap proses *casting*.



BAB V

KESIMPULAN

1. Ketebalan lapisan intermetalik meningkat dengan naiknya kecepatan, kecuali pada kecepatan 3.000 rpm dalam penelitian ini ketebalan lapisan intermetalik turun karena mekanisme pelarutan intermetalik yang lebih dominan dibandingkan dengan mekanisme pembentukannya. Sedangkan pengaruh kecepatan terhadap kekerasan lapisan intermetalik tidak terlihat secara langsung yang disebabkan oleh kadar unsur-unsur dalam lapisan intermetalik cukup beragam, terutama unsur Fe.
2. Penambahan unsur Mn antara 0,5-0,7% dapat menurunkan ketebalan lapisan intermetalik kecuali pada kecepatan 3.500 rpm dalam penelitian ini. Pada kecepatan 3.500 rpm, pengaruh kecepatan yang tinggi lebih dominan terhadap ketebalan lapisan intermetalik. Penambahan Mn tidak berpengaruh langsung terhadap kekerasan lapisan intermetalik, namun mempengaruhi kadar Fe yang terkandung dalam lapisan intermetalik. Semakin tinggi kadar Mn yang ditambahkan maka afinitas Fe terhadap Al akan semakin rendah sehingga kandungan Fe dalam lapisan intermetalik akan lebih rendah. Kandungan Fe dalam lapisan intermetalik turun dengan penambahan Mn dari 0,5-0,7%.
3. Dalam penelitian ini, kecepatan injeksi yang paling efektif untuk meminimalisasi terjadinya *die soldering* adalah 3.000 rpm dimana pada kecepatan ini terbentuk lapisan intermetalik yang paling tipis.
4. Kadar Mn yang paling optimal dalam menurunkan efek *die soldering* pada penelitian ini adalah 0,5-0,7%Mn dimana dengan penambahan Mn pada kadar ini akan terbentuk lapisan intermetalik yang lebih tipis dan kekerasannya lebih rendah.

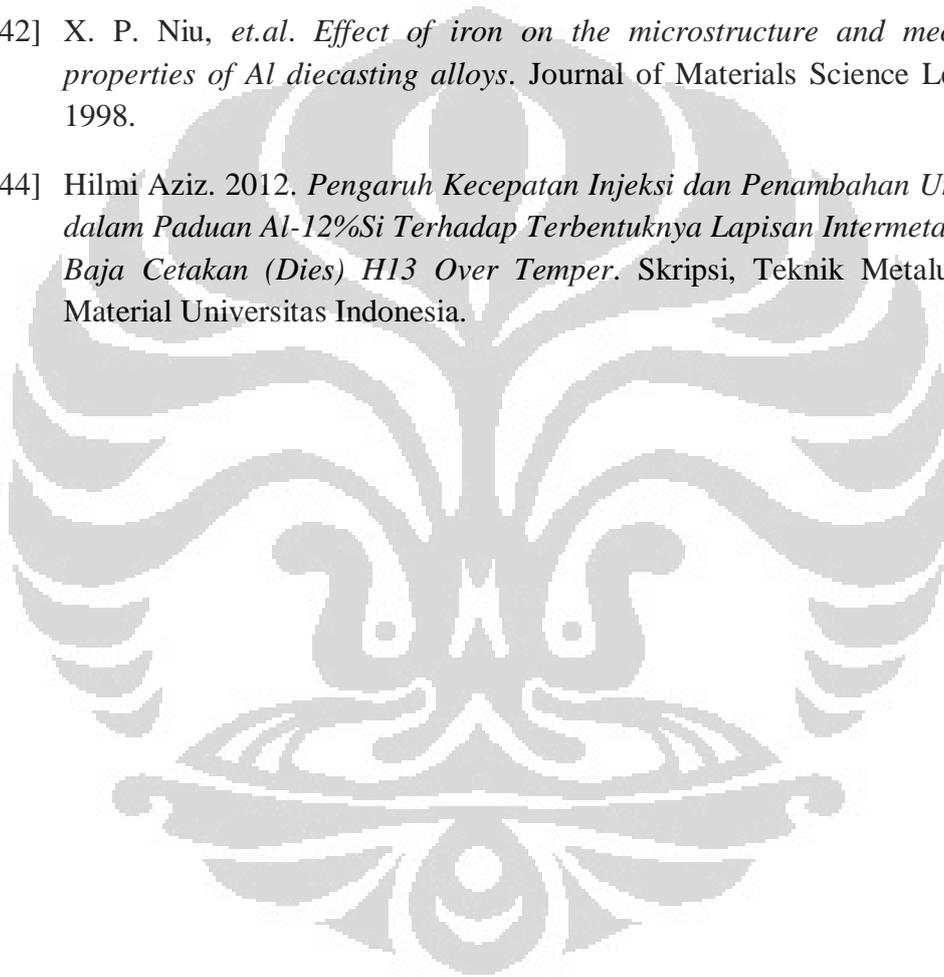
DAFTAR PUSTAKA

- [1] George, T. E. 2003. *Handbook of Aluminum Vol. 1, Physical Metallurgy and Process*. New York: Marcel Dekker Inc.
- [2] Vadim, Z. S. 2007. *Casting Aluminum Alloys*. Elsevier.
- [3] Zhu, Yulong., et al. 2004. *Evaluation of soldering, washout and thermal fatigue resistance of advanced metal materials for aluminum die-casting dies*. Materials Science and Engineering A, 379.
- [4] Hanliang Zhu, Jingjie Guo, Jun Jia. 2001. *Experimental study and theoretical analysis on die soldering in aluminum die casting*. Journal of Material Processing and Technology.
- [5] Sumanth Shankar, Diran Apelian. *Soldering Tendencies of Alternate Non-Ferrous Die Materials*. North American Die Casting Association.
- [6] K. Vankestan, R. Shivpuri. 1995. *Indian Polis: Transaction of 18th International Casting Congress and Exposition*.
- [7] Sumanth Shankar, Diran Apelian. 2000. *Die Soldering: Mechanism of the Interface Reaction between Molten Aluminum Alloy and Tool Steel*. Worcester Polytechnic Institute.
- [8] Sumanth Shankar, Diran Apelian. *Investigation of Die Soldering Characteristics of Aluminum Die Casting Alloys*. <http://www.wpi.edu/academics/Research/ACRC/Research/13.html>. Diakses tanggal 11 November 2011 pukul 20.35
- [9] P. Hairy, M. Richard. 1997. *Transactions in: Proceedings of the 19th International Die-Casting Congress and Exposition*. NADCA.
- [10] Z.W. Chen. *Formation and progression of die soldering during high pressure die casting*. Materials Science and Engineering: A. Volume 397, Issues 1-2, 25 April 2005, Pages 356-369.
- [11] V. Joshi, A. Srivastava, R. Shivpuri. *Intermetallic formation and its relation to interface mass loss and tribology in die casting dies*. Wear Volume 256, Issues 11-12, June 2004, Pages 1232-1235.

- [12] Holz, E. K. *Trouble-Shooting Aluminum Die Casting Quality Problems*. Transactions of 7th SDCE International Die Casting Congress, 1972, Paper No. 4372.
- [13] Yasuhiro Arisuda, et. al. 2008. *Improvement of die life in high speed injection die casting*. China Foundry Vol.5 No.4.
- [14] Hou Xiaoxia, Yang Hua, Zhao Yan, Pan Fuzhen. *Effect of Si on the interaction between die casting die and aluminum alloy*. Materials Letter 58 (2004) 3424-3427.
- [15] Habib Muntadzar. 2010. *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 fenomena die soldering*.
- [16] Antonius Hutasoit. 2010. *Pembentukan lapisan intermetalik pada penambahan unsur Mangan 0,1%, 0,3%, 0,5% dan 0,7% dalam paduan Al-7%Si dan Al-12%Si di material H13 dengan perlakuan over temper*.
- [17] 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*
- [18] Q. Han and S. Viswanathan. *Analysis of the mechanism of die soldering in aluminum die casting*. Metallurgical and Materials Transactions A. Vol. 34A. January 2003.
- [19] 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-(0.15/0.60) Fe cast alloy/die steel couples*.
- [20] W. Kojach, A. F. 1991. *Testing the soldering tendencies of aluminum die casting alloy*. NADCA Transaction, 67-74.
- [21] WPI Advanced Casting Research Center. 2002. *Investigation of Die Soldering Characteristics of Aluminum Die Casting Alloys*.
- [22] http://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=die_casting.
Diakses tanggal 8 Januari 2012 pukul 23.03
- [23] <http://www.azom.com/details.asp?ArticleID=1392>. Diakses tanggal 8 Januari 2012 pukul 23.05
- [24] ASM International. 1998. *ASM Handbook Volume 15- Casting*.

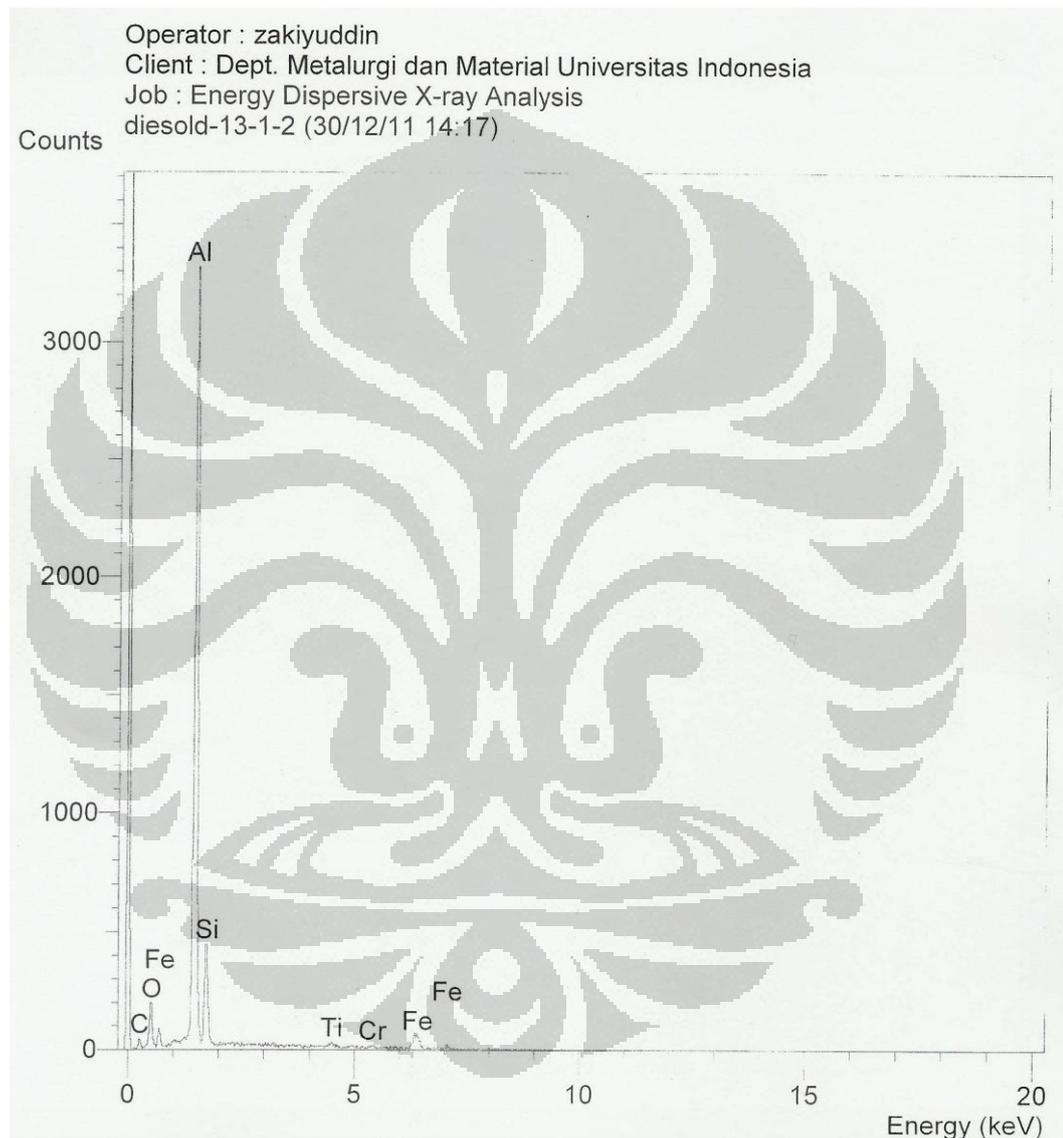
- [25] Joseph R. Davis. 1993. *Aluminum and Aluminum Alloys*. Ohio: ASM International.
- [26] Jhon E Hatch. 1995. *Aluminum: Properties and Physical Metallurgy*. Ohio: ASM Metals Park.
- [27] Gilbert J. Kaufman dan Elwin L. Rooy. 2004. *Aluminum Alloy Casting Properties, Processes, and Application*. ASM International.
- [28] Mondolfo, L. F. 1979. *Aluminium Alloys: Structure and Properties*. London-Boston: Butterworths.
- [29] Shivpuri, R., *et al.* 1991. *An Evaluation of H-13 Die Steel, Surface Treatments and Coatings for Wearing Die Casting Dies*. NADCA Transactions.
- [30] http://www.efunda.com/materials/alloys/tool_steels/show_tool.cfm?ID=AISI_H13&prop=all&Page_Title=AISI%20H13. Diakses tanggal 9 Januari 2012 pukul 9.01
- [31] http://www.tatasteelnz.com/downloads/ToolSteel_AISI13.pdf. Diakses tanggal 9 Januari 2012 pukul 9.15
- [32] Makhlof M. Makhlof, Diran Apelian. 2002. *Casting Characteristics of Aluminum Die Casting*. Worcester Polytechnic Institute.
- [33] Patrick A. Hogan. 2008. *Die Solder Prediction and Reduction*. A Thesis, Worcester Polytechnic Institute.
- [34] R. Shivpuri, M. Yu, K. Venkatesan, and K-L. Chu. *A Study of Erosion in Die Casting Dies by a Multiple Pin Accelerated Erosion Test*. Journal of Materials Engineering and Performance Volume 4(2) April 1995-145.
- [35] Bambang Suharno dkk. *Pengaruh Waktu Kontak terhadap Reaksi Antar Muka Paduan Aluminium 7%-Si dan Aluminium 11%-Si dengan Baja Cetakan SKD61*. Makara, Teknologi, Vol. 11, No. 2, Nov 2007: 85-91.
- [36] M. Rosso *et.al.* *Performance enhancements of die casting tools trough PVD nanocoatings*. Int J Mater Form (2008) Suppl 1:1259 –1262.
- [37] D. Ugues *et.al.* *Hard Coatings to Prevent the Washout Phenomena in High Pressure Die Casting Tools*. BHM, 151. Jg. (2006), Heft 3.
- [38] <http://www.toshiba-machine.co.jp/english/product/diecast/index.html>. Diakses tanggal 15 Januari 2012 pukul 9.45.

- [39] <http://ankushdiecastingsolutions.com/LPDC%20Casting%20process.pdf>.
Diakses tanggal 16 Januari 2012 pukul 14.20.
- [40] N.C.W. Kuijpers *et.al.* *Predicting the Effect of Alloy Composition on the Intermetallic Phase Transformation Kinetics in 6XXX Extrusion Alloys*. Materials Forum Volume 28 – 2004.
- [41] S.G. Shabestari. *The effect of iron and manganese on the formation of intermetallic compounds in aluminum–silicon alloys*. Materials Science and Engineering A 383. 2004.
- [42] X. P. Niu, *et.al.* *Effect of iron on the microstructure and mechanical properties of Al diecasting alloys*. Journal of Materials Science Letter 17. 1998.
- [44] Hilmi Aziz. 2012. *Pengaruh Kecepatan Injeksi dan Penambahan Unsur Mn dalam Paduan Al-12%Si Terhadap Terbentuknya Lapisan Intermetalik pada Baja Cetakan (Dies) H13 Over Temper*. Skripsi, Teknik Metalurgi dan Material Universitas Indonesia.



LAMPIRAN

Spektrum hasil uji EDS lapisan intermetalik pencelupan sampel pada penambahan 0,1%Mn dan kecepatan 2.500 rpm



Hasil uji EDS lapisan intermetalik pencelupan sampel pada penambahan 0,1%Mn dan kecepatan 2.500 rpm

SEMQuant results. Listed at 03:32:46 on 06/01/12
 Operator: zakiyuddin
 Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
 Job: Energy Dispersive X-ray Analysis
 Spectrum label: diesold-13-1-2

System resolution = 60 eV

Quantitative method: ZAF (3 iterations).
 Analysed all elements and normalised results.

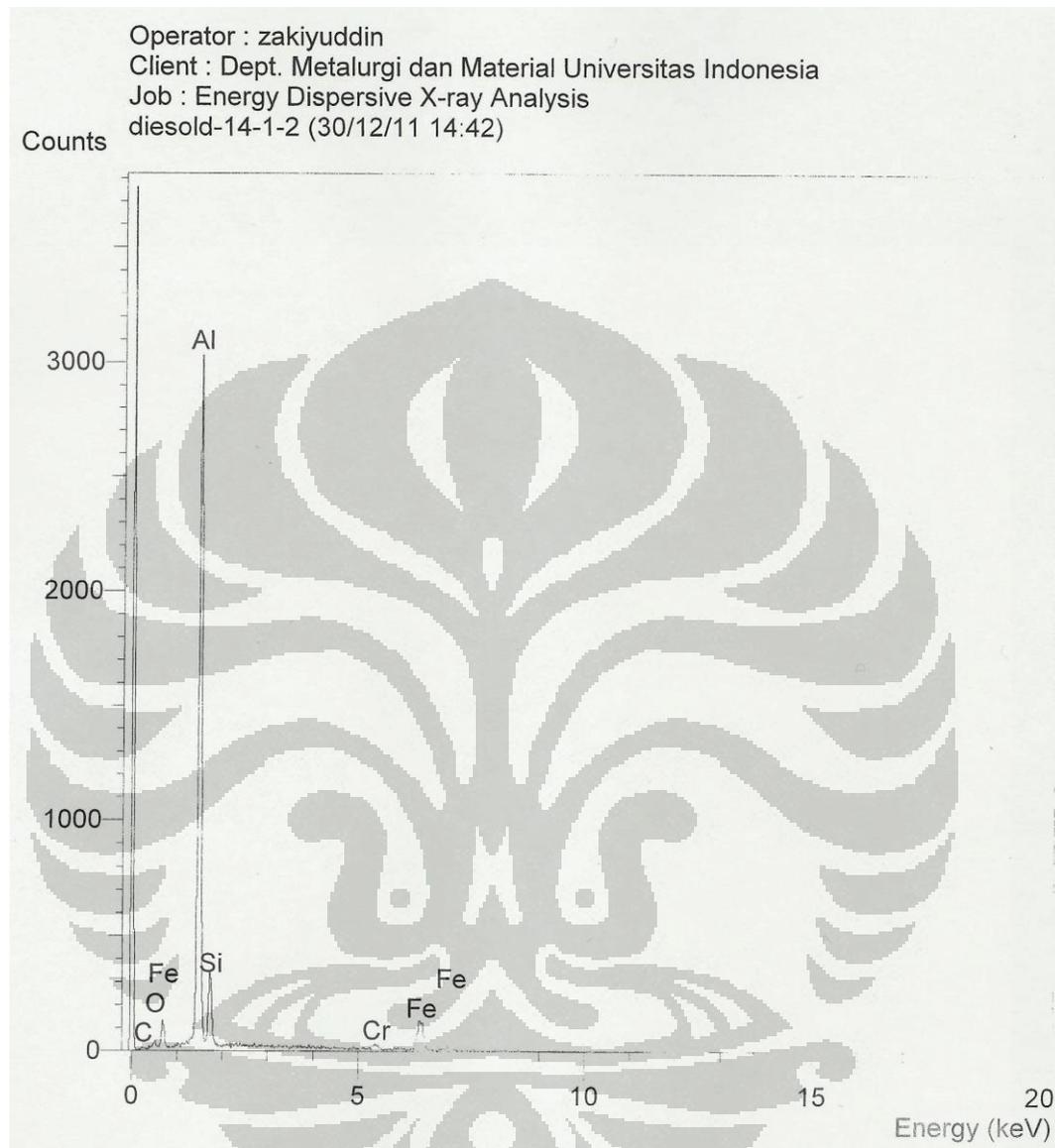
Standards :

C K	Carbon Low 13/09/06
O K	AL2O3 20/05/11
Al K	AL2O3 20/05/11
Si K	Jadeite 18/05/11
Ti K	Titanium 18/05/11
Cr K	Chromium 18/05/11
Fe K	FeS2 18/05/11

Elmt	Spect.	Element	Atomic
	Type	%	%
C K	ED	2.99	6.56
O K	ED	3.66	6.03
Al K	ED	76.11	74.39
Si K	ED	10.32	9.69
Ti K	ED	0.54	0.30
Cr K	ED	0.54	0.27
Fe K	ED	5.85	2.76
Total		100.00	100.00

* = <2 Sigma

Spektrum hasil uji EDS lapisan intermetalik pencelupan sampel pada penambahan 0,1%Mn dan kecepatan 3.000 rpm



Hasil uji EDS lapisan intermetalik pencelupan sampel pada penambahan 0,1%Mn dan kecepatan 3.000 rpm

SEMQuant results. Listed at 03:34:01 on 06/01/12
Operator: zakiyuddin
Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job: Energy Dispersive X-ray Analysis
Spectrum label: diesold-14-1-2

System resolution = 60 eV

Quantitative method: ZAF (3 iterations).
Analysed all elements and normalised results.

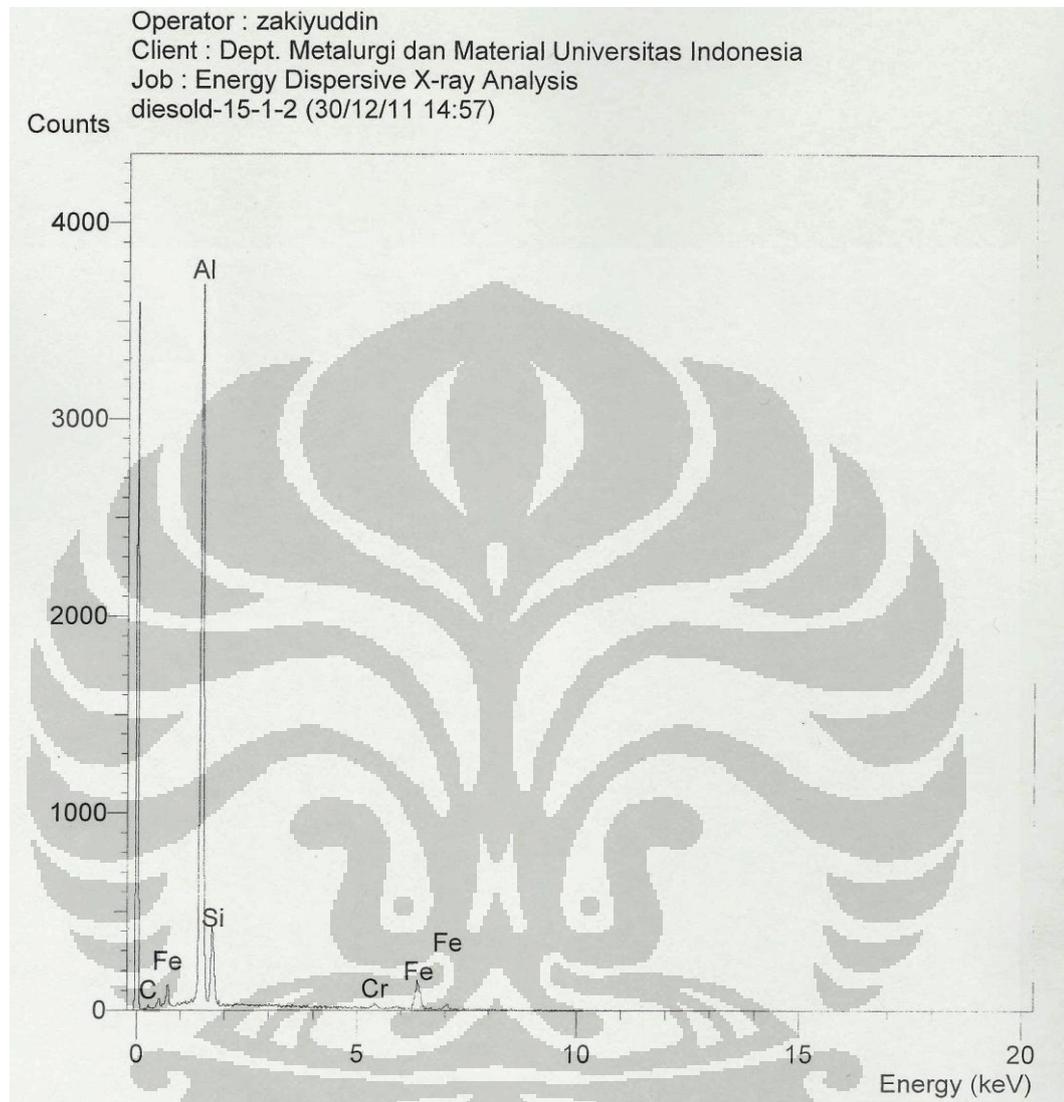
Standards :

C K	Carbon Low 13/09/06
Al K	AL2O3 20/05/11
Si K	Jadeite 18/05/11
Cr K	Chromium 18/05/11
Fe K	FeS2 18/05/11

Elmt	Spect. Type	Element %	Atomic %
C K	ED	2.80	6.56
Al K	ED	74.56	77.82
Si K	ED	8.32	8.34
Cr K	ED	1.26	0.68
Fe K	ED	13.07	6.59
Total		100.00	100.00

* = <2 Sigma

Spektrum hasil uji EDS lapisan intermetalik pencilupan sampel pada penambahan 0,1%Mn dan kecepatan 3.500 rpm



Hasil uji EDS lapisan intermetalik pencelupan sampel pada penambahan 0,1%Mn dan kecepatan 3.500 rpm

SEMQuant results. Listed at 03:34:45 on 06/01/12
Operator: zakiyuddin
Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job: Energy Dispersive X-ray Analysis
Spectrum label: diesold-15-1-2

System resolution = 60 eV

Quantitative method: ZAF (3 iterations).
Analysed all elements and normalised results.

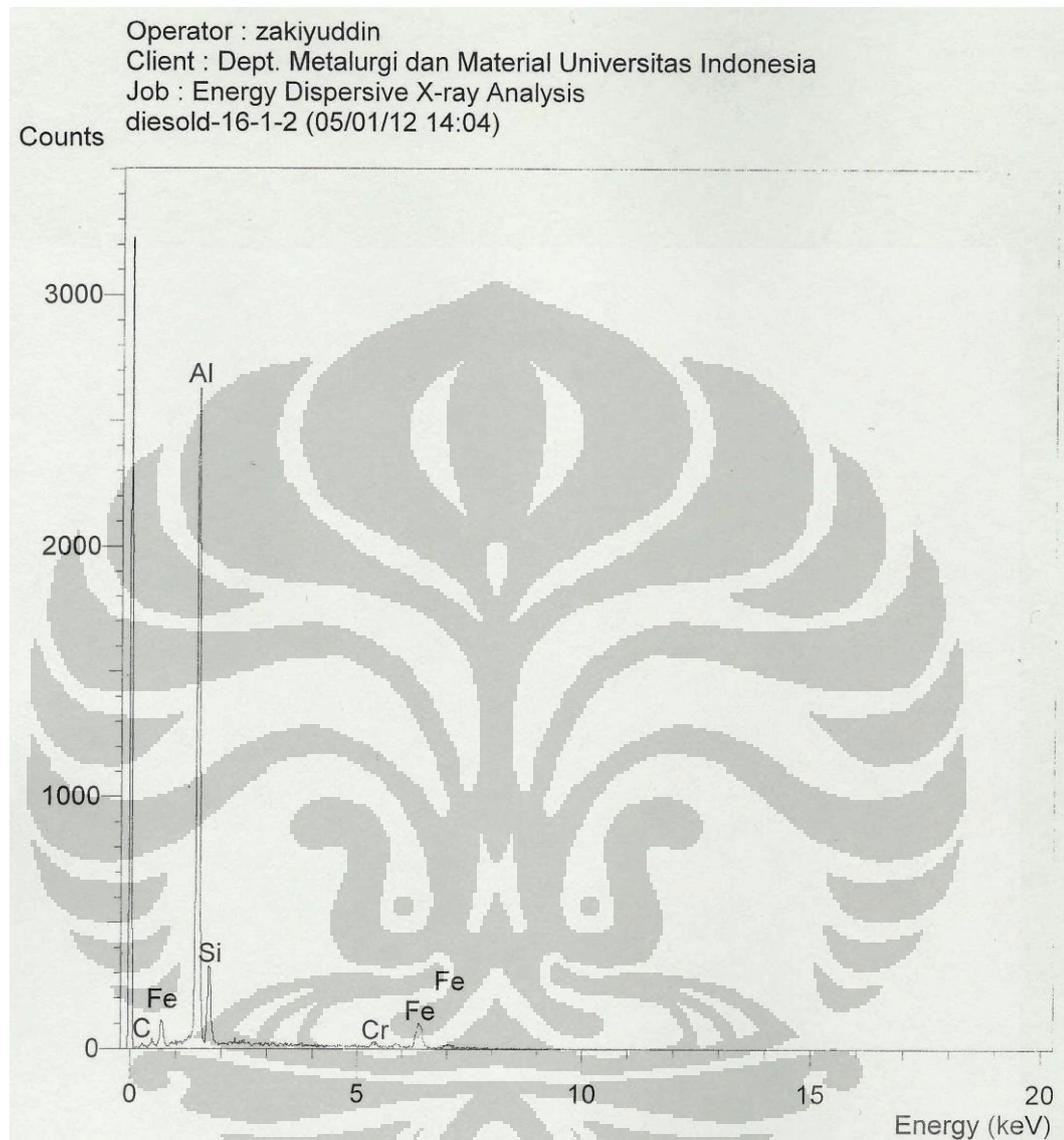
Standards :

C K Carbon Low 13/09/06
Al K AL2O3 20/05/11
Si K Jadeite 18/05/11
Cr K Chromium 18/05/11
Fe K FeS2 18/05/11

Elmt	Spect.	Element	Atomic
	Type	%	%
C K	ED	2.44	5.69
Al K	ED	76.55	79.52
Si K	ED	8.48	8.46
Cr K	ED	1.03	0.55
Fe K	ED	11.50	5.77
Total		100.00	100.00

* = <2 Sigma

Spektrum hasil uji EDS lapisan intermetalik pencelupan sampel pada penambahan 0,3%Mn dan kecepatan 2.500 rpm



Hasil uji EDS lapisan intermetalik pencelupan sampel pada penambahan 0,3%Mn dan kecepatan 2.500 rpm

```

SEMQuant results. Listed at 03:35:30 on 06/01/12
Operator: zakiyuddin
Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job: Energy Dispersive X-ray Analysis
Spectrum label: diesold-16-1-2

System resolution = 60 eV

Quantitative method: ZAF ( 3 iterations).
Analysed all elements and normalised results.

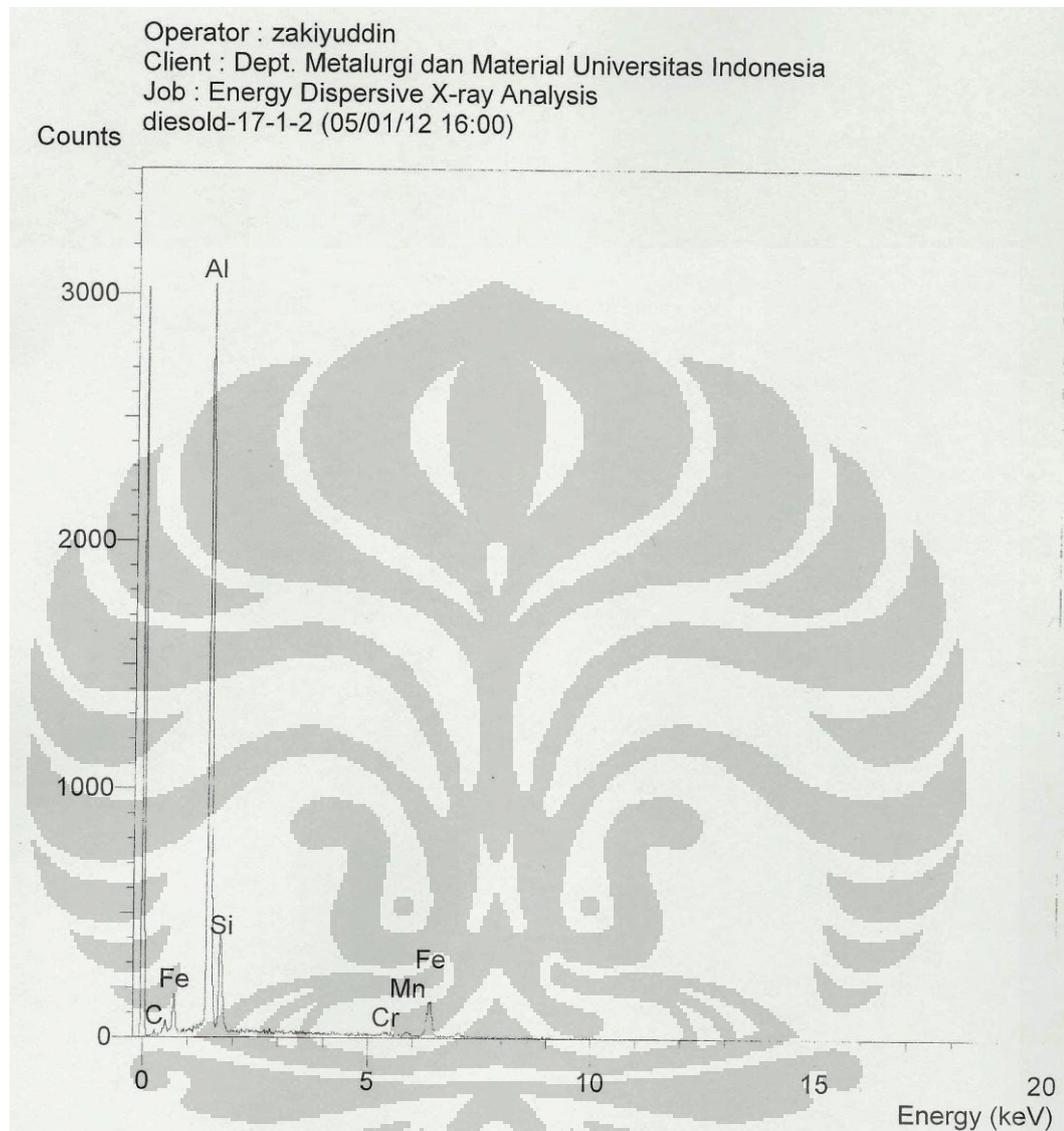
Standards :
C K      Carbon Low 13/09/06
Al K     AL2O3 20/05/11
Si K     Jadeite 18/05/11
Cr K     Chromium 18/05/11
Fe K     FeS2 18/05/11

Elmt   Spect. Element   Atomic
      Type          %           %
C K    ED            2.98       6.91
Al K    ED           75.12     77.60
Si K    ED            9.14       9.07
Cr K    ED            1.39       0.74
Fe K    ED           11.38      5.68
Total  ED           100.00    100.00

* = <2 Sigma

```

Spektrum hasil uji EDS lapisan intermetalik pencelupan sampel pada penambahan 0,3%Mn dan kecepatan 3.000 rpm



Hasil uji EDS lapisan intermetalik pencelupan sampel pada penambahan 0,3%Mn dan kecepatan 3.000 rpm

```

SEMQuant results. Listed at 03:36:07 on 06/01/12
Operator: zakiyuddin
Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job: Energy Dispersive X-ray Analysis
Spectrum label: diesold-17-1-2

System resolution = 62 eV

Quantitative method: ZAF ( 3 iterations).
Analysed all elements and normalised results.

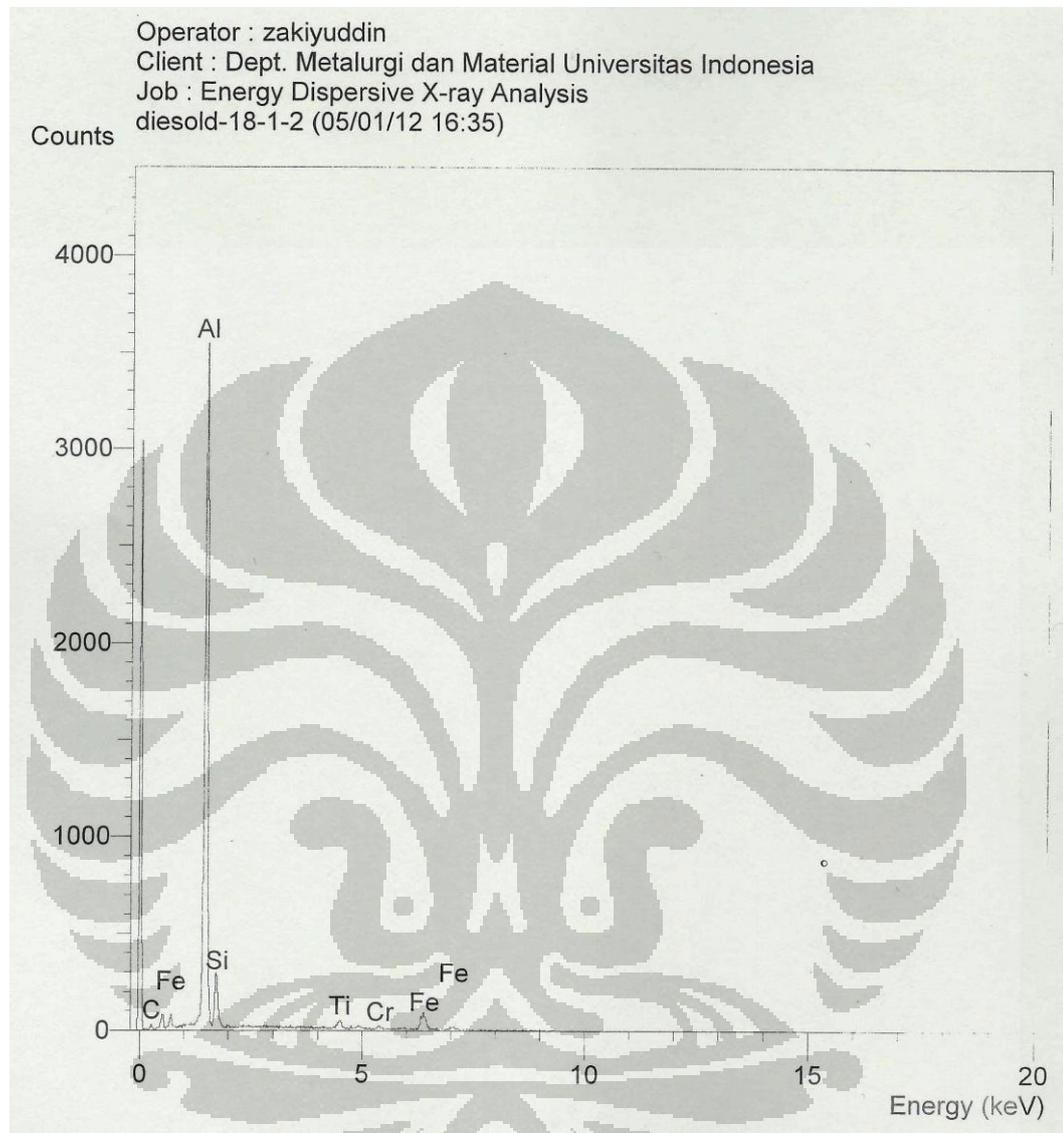
Standards :
C K      Carbon Low 13/09/06
Al K     AL2O3 20/05/11
Si K     Jadeite 18/05/11
Cr K     Chromium 18/05/11
Mn K     Mangan 18/05/11
Fe K     FeS2 18/05/11

Elmt  Spect. Element  Atomic
Type  %              %
C K   ED           2.25   5.33
Al K   ED           73.11  77.18
Si K   ED           9.70   9.84
Cr K   ED           0.55   0.30
Mn K   ED           1.10   0.57
Fe K   ED           13.29  6.78
Total          100.00 100.00

* = <2 Sigma

```

Spektrum hasil uji EDS lapisan intermetalik pencelupan sampel pada penambahan 0,3%Mn dan kecepatan 3.500 rpm



Hasil uji EDS lapisan intermetalik pencelupan sampel pada penambahan 0,3%Mn dan kecepatan 3.500 rpm

SEMQuant results. Listed at 03:36:43 on 06/01/12
 Operator: zakiyuddin
 Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
 Job: Energy Dispersive X-ray Analysis
 Spectrum label: diesold-18-1-2

System resolution = 60 eV

Quantitative method: ZAF (3 iterations).
 Analysed all elements and normalised results.

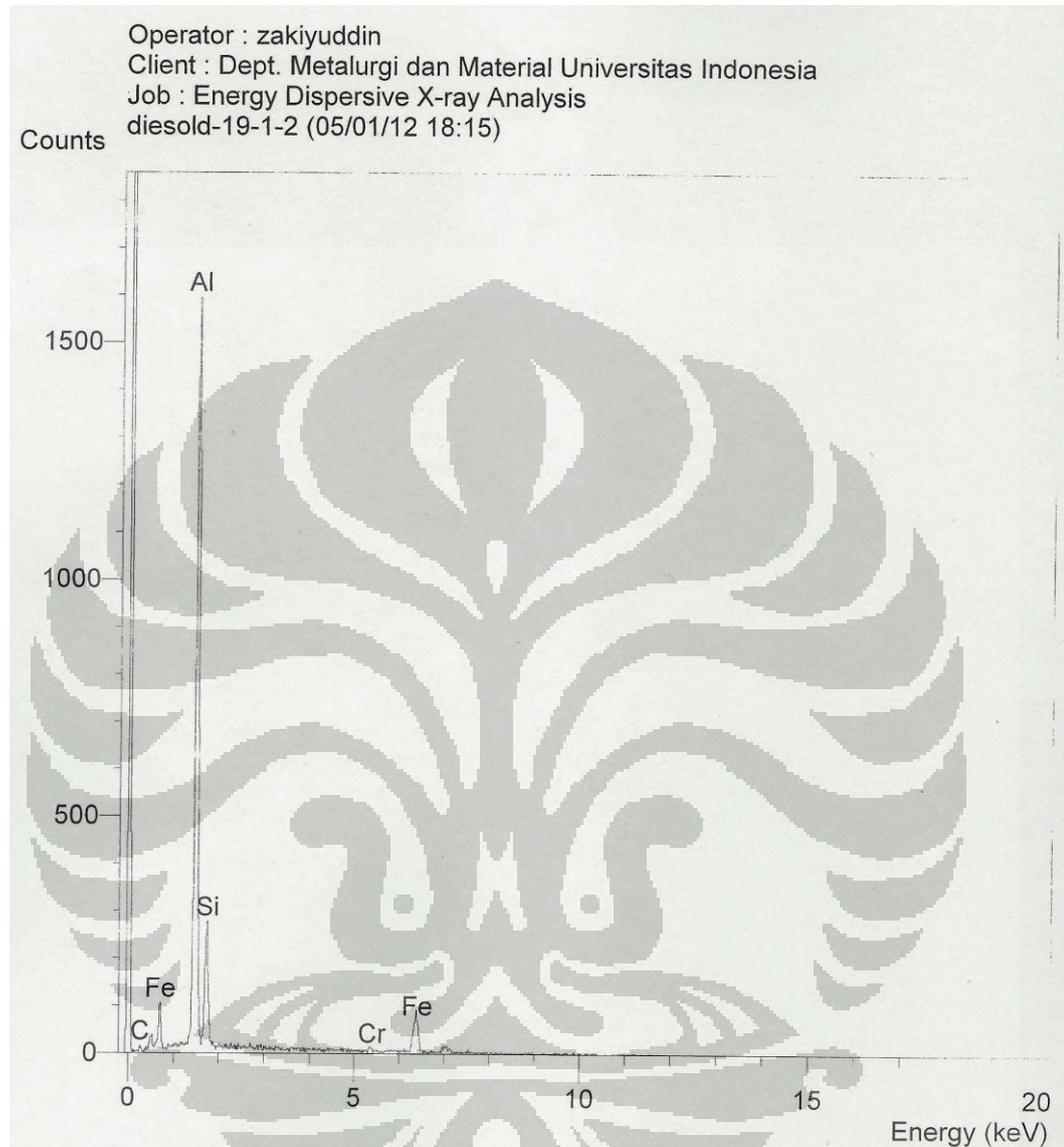
Standards :

C K	Carbon Low 13/09/06
Al K	AL2O3 20/05/11
Si K	Jadeite 18/05/11
Ti K	Titanium 18/05/11
Cr K	Chromium 18/05/11
Fe K	FeS2 18/05/11

Elmt	Spect. Type	Element %	Atomic %
C K	ED	2.45	5.62
Al K	ED	80.52	82.37
Si K	ED	7.02	6.90
Ti K	ED	1.47	0.85
Cr K	ED	0.89	0.47
Fe K	ED	7.65	3.78
Total		100.00	100.00

* = <2 Sigma

Spektrum hasil uji EDS lapisan intermetalik pencelupan sampel pada penambahan 0,5%Mn dan kecepatan 2.500 rpm



Hasil uji EDS lapisan intermetalik pencelupan sampel pada penambahan 0,5%Mn dan kecepatan 2.500 rpm

SEMQuant results. Listed at 03:37:18 on 06/01/12
 Operator: zakiyuddin
 Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
 Job: Energy Dispersive X-ray Analysis
 Spectrum label: diesold-19-1-2

System resolution = 60 eV

Quantitative method: ZAF (3 iterations).
 Analysed all elements and normalised results.

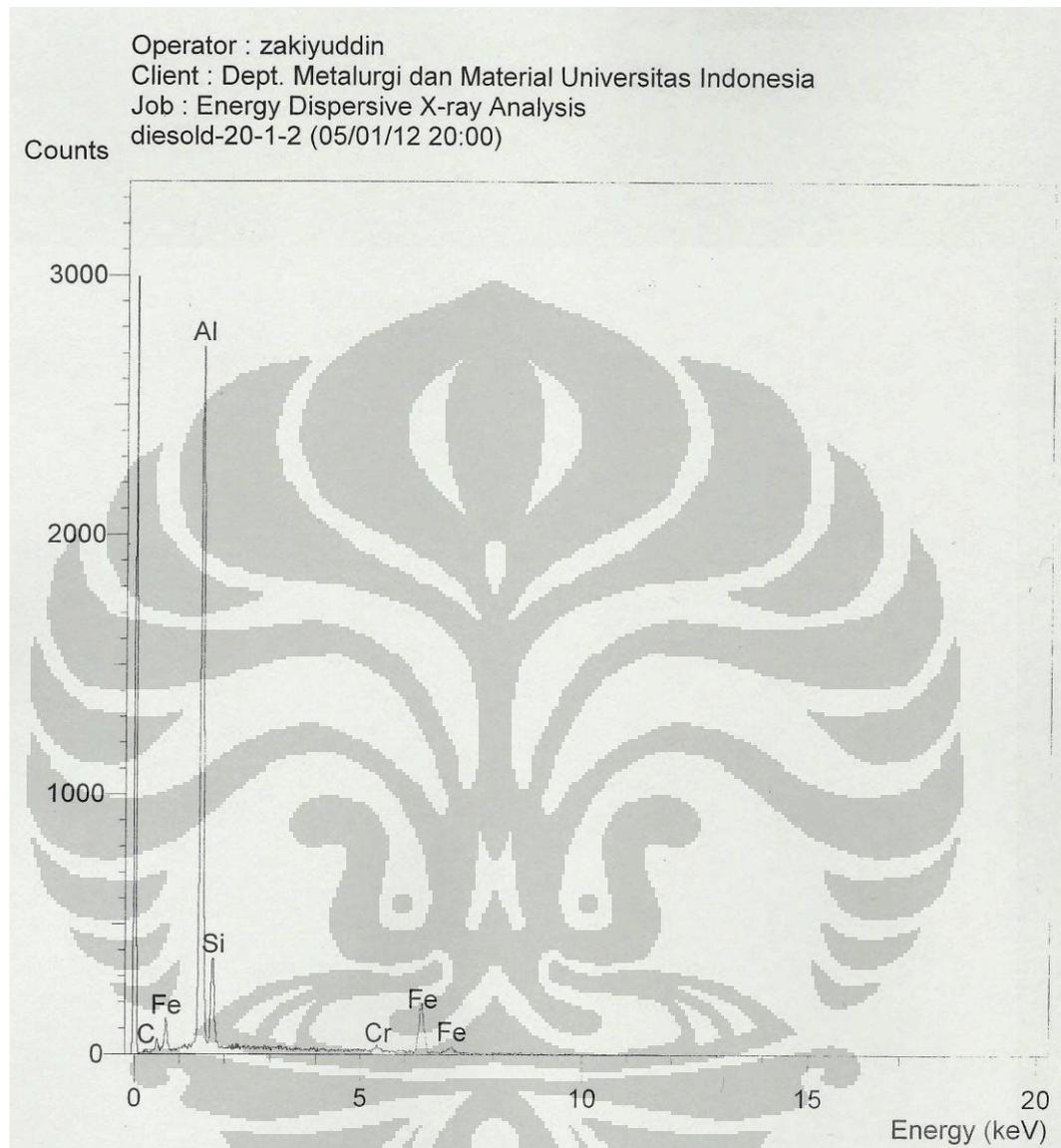
Standards :

C K Carbon Low 13/09/06
 Al K Al₂O₃ 20/05/11
 Si K Jadeite 18/05/11
 Cr K Chromium 18/05/11
 Fe K FeS₂ 18/05/11

Elmt	Spect. Type	Element %	Atomic %
C K	ED	4.07	9.45
Al K	ED	70.15	72.44
Si K	ED	10.60	10.52
Cr K	ED	0.66	0.35
Fe K	ED	14.52	7.24
Total		100.00	100.00

* = <2 Sigma

Spektrum hasil uji EDS lapisan intermetalik pencelupan sampel pada penambahan 0,5%Mn dan kecepatan 3.000 rpm



Hasil uji EDS lapisan intermetalik pencelupan sampel pada penambahan 0,5%Mn dan kecepatan 3.000 rpm

SEMQuant results. Listed at 03:37:47 on 06/01/12
 Operator: zakiyuddin
 Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
 Job: Energy Dispersive X-ray Analysis
 Spectrum label: diesold-20-1-2

System resolution = 60 eV

Quantitative method: ZAF (3 iterations).
 Analysed all elements and normalised results.

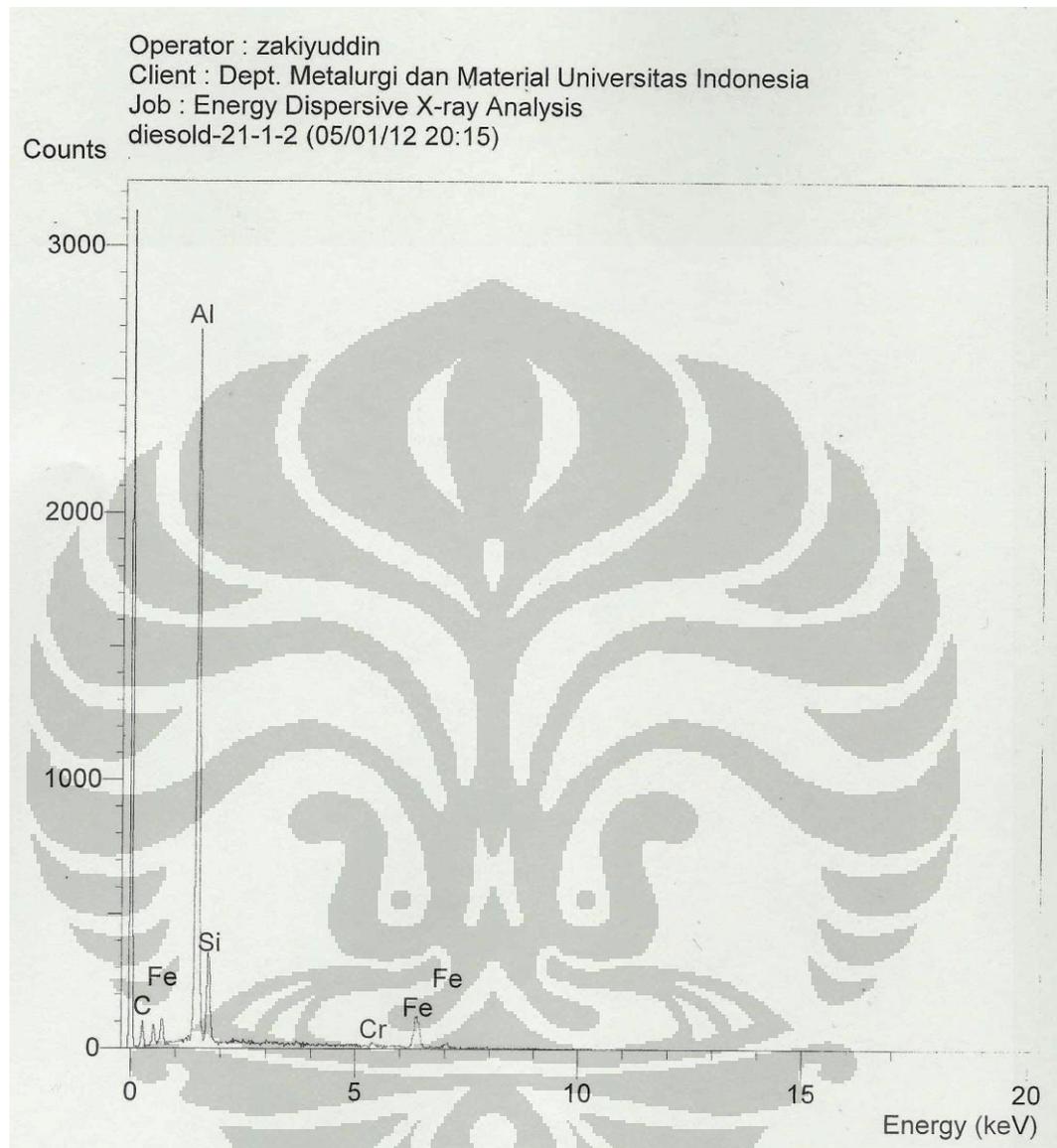
Standards :

C K Carbon Low 13/09/06
 Al K AL2O3 20/05/11
 Si K Jadeite 18/05/11
 Cr K Chromium 18/05/11
 Fe K FeS2 18/05/11

Elmt	Spect. Type	Element %	Atomic %
C K	ED	2.12	5.15
Al K	ED	70.62	76.24
Si K	ED	8.44	8.75
Cr K	ED	1.11	0.62
Fe K	ED	17.70	9.23
Total		100.00	100.00

* = <2 Sigma

Spektrum hasil uji EDS lapisan intermetalik pencelupan sampel pada penambahan 0,5%Mn dan kecepatan 3.500 rpm



Hasil uji EDS lapisan intermetalik pencelupan sampel pada penambahan 0,5%Mn dan kecepatan 3.500 rpm

SEMQuant results. Listed at 03:38:22 on 06/01/12
Operator: zakiyuddin
Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job: Energy Dispersive X-ray Analysis
Spectrum label: diesold-21-1-2

System resolution = 60 eV

Quantitative method: ZAF (3 iterations).
Analysed all elements and normalised results.

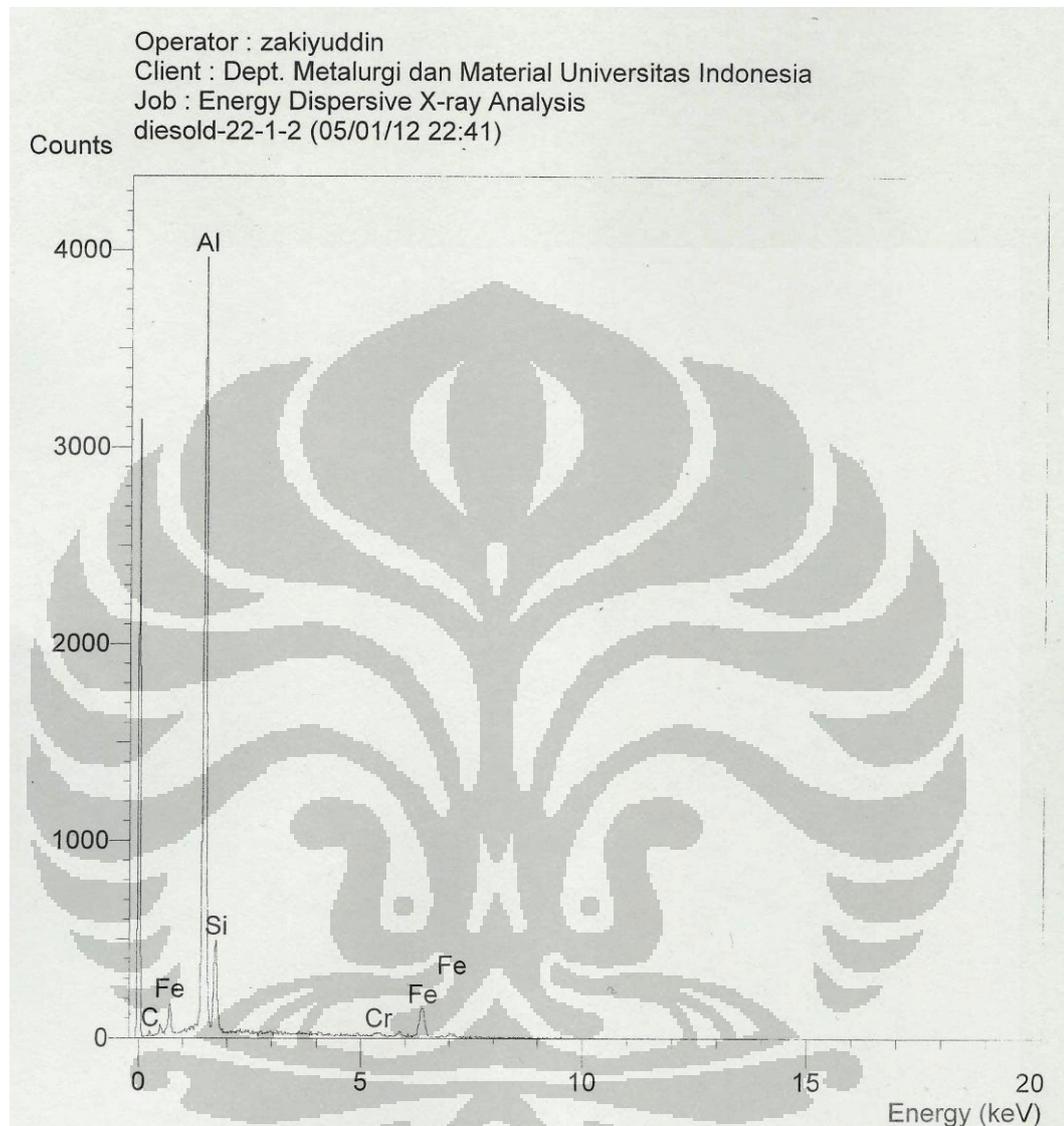
Standards :

C K	Carbon Low	13/09/06
Al K	AL2O3	20/05/11
Si K	Jadeite	18/05/11
Cr K	Chromium	18/05/11
Fe K	FeS2	18/05/11

Elmt	Spect. Type	Element %	Atomic %
C K	ED	3.21	7.49
Al K	ED	73.53	76.23
Si K	ED	9.31	9.27
Cr K	ED	0.69	0.37
Fe K	ED	13.25	6.64
Total		100.00	100.00

* = <2 Sigma

Spektrum hasil uji EDS lapisan intermetalik pencelupan sampel pada penambahan 0,7%Mn dan kecepatan 2.500 rpm



Hasil uji EDS lapisan intermetalik pencelupan sampel pada penambahan 0,7%Mn dan kecepatan 2.500 rpm

SEMQuant results. Listed at 03:38:56 on 06/01/12
Operator: zakiyuddin
Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job: Energy Dispersive X-ray Analysis
Spectrum label: diesold-22-1-2

System resolution = 60 eV

Quantitative method: ZAF (3 iterations).
Analysed all elements and normalised results.

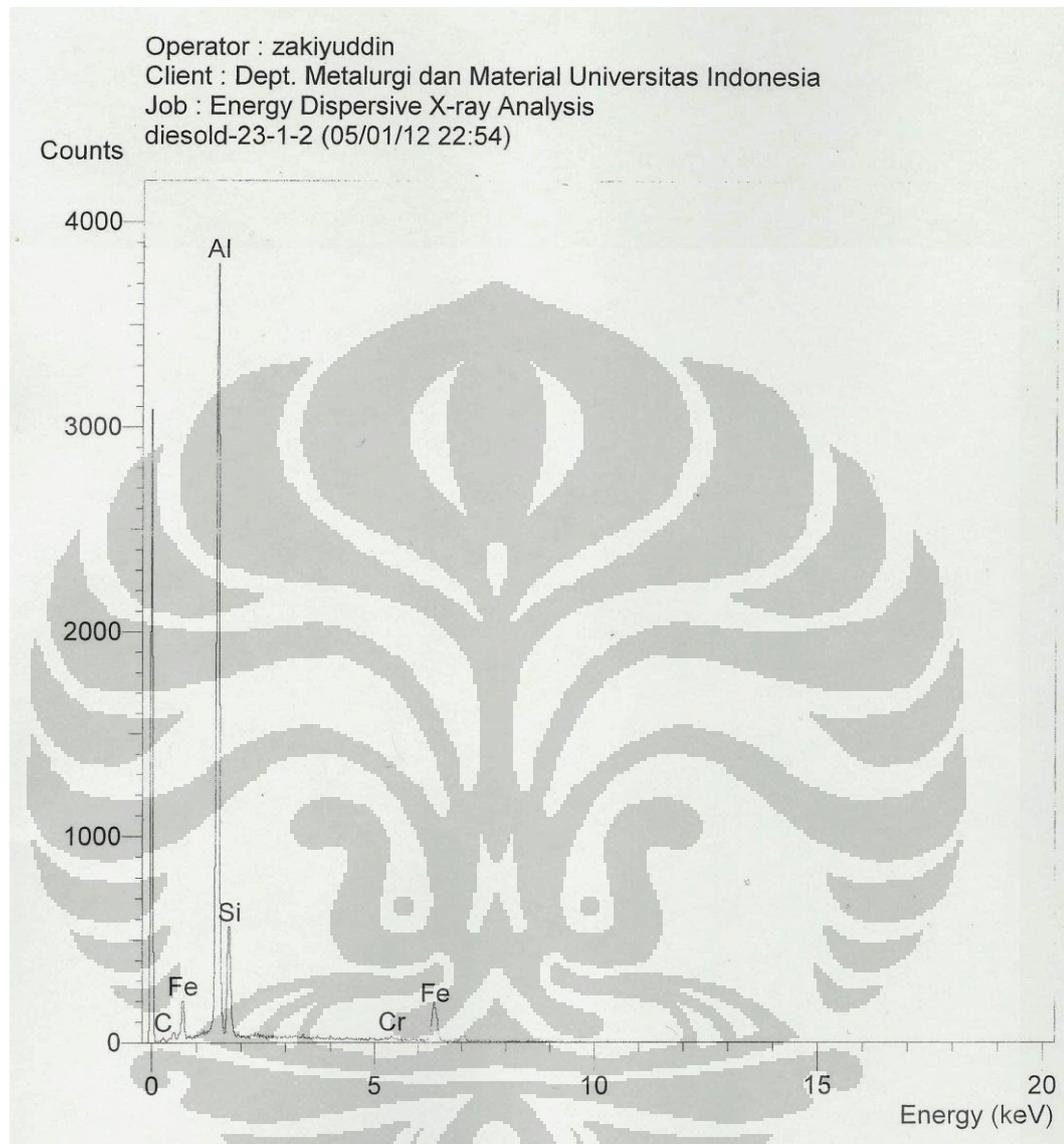
Standards :

C K	Carbon Low	13/09/06
Al K	Al ₂ O ₃	20/05/11
Si K	Jadeite	18/05/11
Cr K	Chromium	18/05/11
Fe K	FeS ₂	18/05/11

Elmt	Spect. Type	Element %	Atomic %
C K	ED	1.95	4.60
Al K	ED	75.99	79.53
Si K	ED	9.39	9.45
Cr K	ED	0.75	0.41
Fe K	ED	11.91	6.02
Total		100.00	100.00

* = <2 Sigma

Spektrum hasil uji EDS lapisan intermetalik pencelupan sampel pada penambahan 0,7%Mn dan kecepatan 3.000 rpm



Hasil uji EDS lapisan intermetalik pencelupan sampel pada penambahan 0,7%Mn dan kecepatan 3.000 rpm

SEMQuant results. Listed at 03:39:39 on 06/01/12
Operator: zakiyuddin
Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job: Energy Dispersive X-ray Analysis
Spectrum label: diesold-23-1-2

System resolution = 60 eV

Quantitative method: ZAF (3 iterations).
Analysed all elements and normalised results.

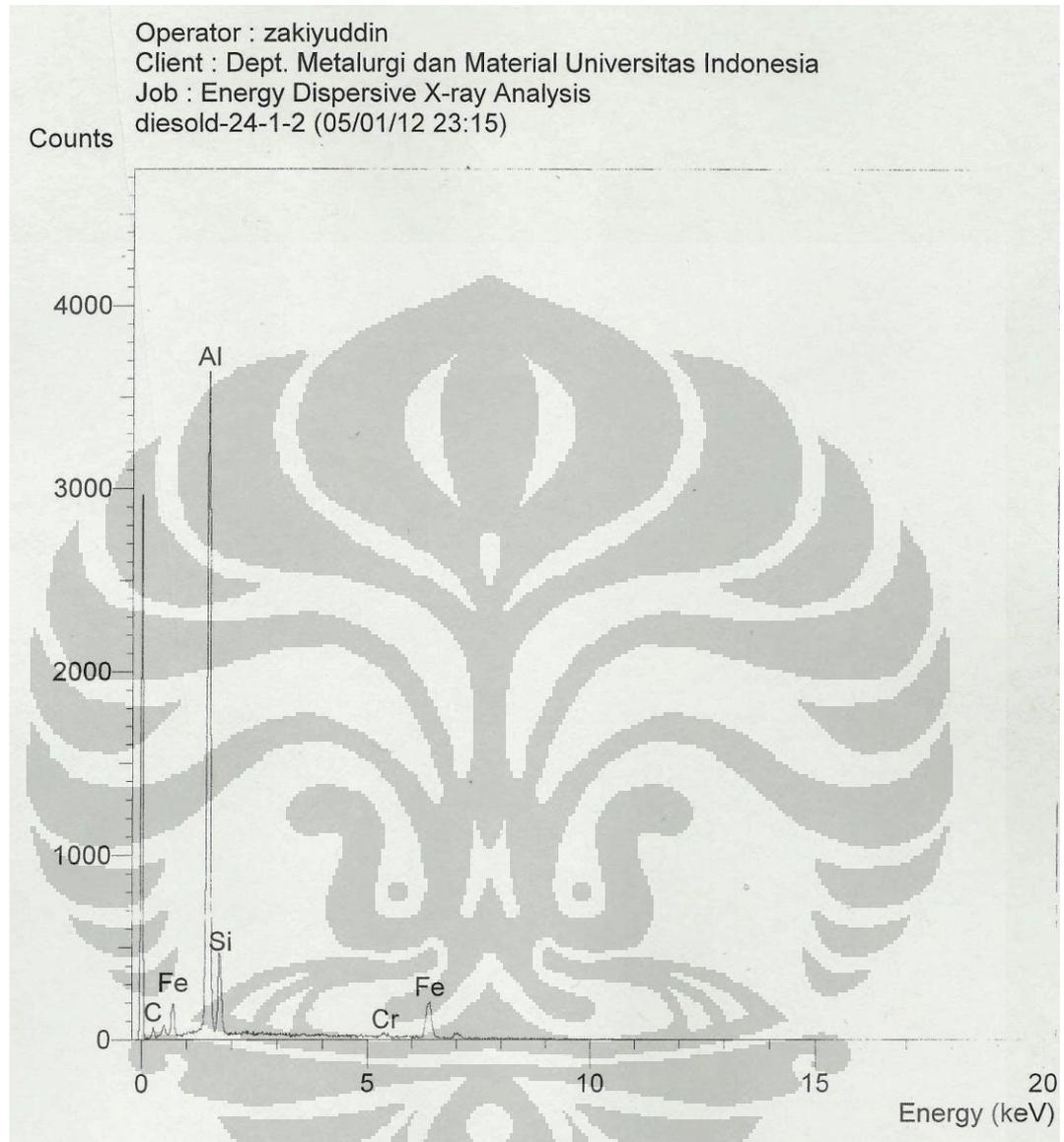
Standards :

C K	Carbon Low	13/09/06
Al K	AL2O3	20/05/11
Si K	Jadeite	18/05/11
Cr K	Chromium	18/05/11
Fe K	FeS2	18/05/11

Elmt	Spect.	Element	Atomic
	Type	%	%
C K	ED	1.82	4.35
Al K	ED	72.57	77.09
Si K	ED	10.65	10.86
Cr K	ED	0.51	0.28
Fe K	ED	14.44	7.41
Total		100.00	100.00

* = <2 Sigma

Spektrum hasil uji EDS lapisan intermetalik pencelupan sampel pada penambahan 0,7%Mn dan kecepatan 3.500 rpm



Hasil uji EDS lapisan intermetalik pencelupan sampel pada penambahan 0,7%Mn dan kecepatan 3.500 rpm

SEMQuant results. Listed at 03:42:20 on 06/01/12
Operator: zakiyuddin
Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job: Energy Dispersive X-ray Analysis
Spectrum label: diesold-24-1-2

System resolution = 60 eV

Quantitative method: ZAF (3 iterations).
Analysed all elements and normalised results.

Standards :

C K	Carbon Low	13/09/06
Al K	Al ₂ O ₃	20/05/11
Si K	Jadeite	18/05/11
Cr K	Chromium	18/05/11
Fe K	FeS ₂	18/05/11

Elmt	Spect. Type	Element %	Atomic %
C K	ED	0.36	0.89
Al K	ED	74.05	81.06
Si K	ED	8.58	9.02
Cr K	ED	0.92	0.52
Fe K	ED	16.09	8.51
Total		100.00	100.00

* = <2 Sigma