



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**RANCANG BANGUN ALAT UJI FLUIDITAS LOGAM  
ALUMINIUM BERBASIS SISTEM GRAVITASI DENGAN  
KEUNGGULAN ALIRAN LAMINAR**

**TESIS**

**RUDI EFFENDI**

**0806423015**

**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA  
DEPARTEMEN METALURGI DAN MATERIAL  
KEKHUSUSAN REKAYASA MATERIAL  
DEPOK  
JANUARI 2011**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**RANCANG BANGUN ALAT UJI FLUIDITAS LOGAM  
ALUMINIUM BERBASIS SISTEM GRAVITASI DENGAN  
KEUNGGULAN ALIRAN LAMINAR**

**TESIS**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar  
magister teknik**

**RUDI EFFENDI**

**0806423015**

**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA  
DEPARTEMEN METALURGI DAN MATERIAL  
KEKHUSUSAN REKAYASA MATERIAL  
DEPOK  
JANUARI 2011**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

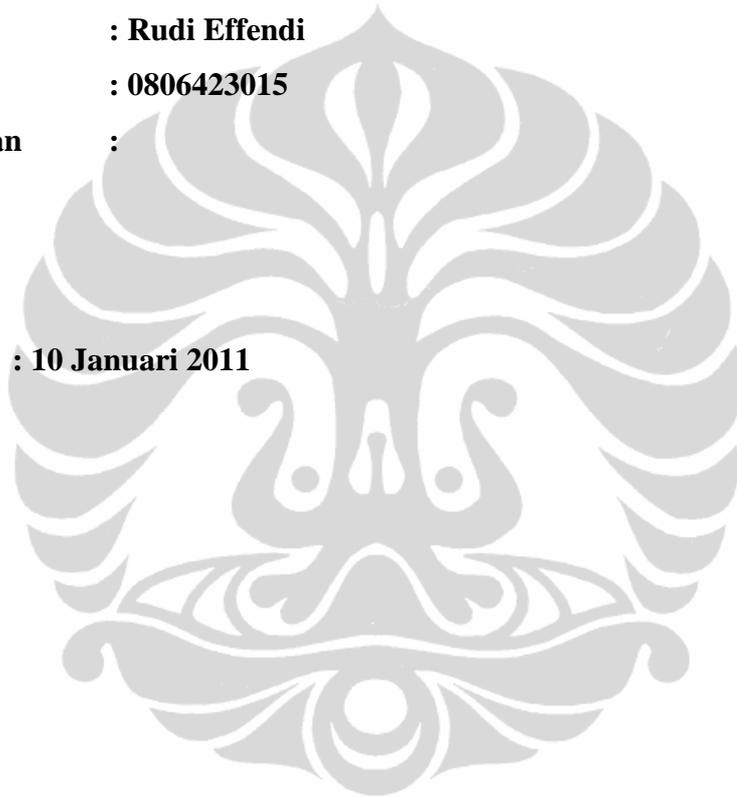
**Tesis ini adalah hasil karya saya sendiri, dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.**

**Nama : Rudi Effendi**

**NPM : 0806423015**

**Tanda Tangan :**

**Tanggal : 10 Januari 2011**



## HALAMAN PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh:

Nama : Rudi Effendi

NPM : 0806423015

Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material Kekhususan Rekayasa  
Material

Judul Tesis : " Rancang Bangun Alat Uji Fluiditas Logam Aluminium  
Berbasis Sistem Gravitasi Dengan Keunggulan Aliran  
Laminar"

**Telah berhasil dipertahankan dihadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Magister Teknik pada Program Studi Teknik Metalurgi dan Material Kekhususan Rekayasa Material, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.**

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Prof. Dr. Bondan T. Sofyan, M.Si. (.....)

Penguji : 1. Dr. Ir. Myrna Ariati, MS. (.....)

2. Nofrijon Sofyan, Ph.D (.....)

3. Dwi Marta Nurjaya, ST. MT (.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 10 Januari 2011

## KATA PENGANTAR/UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur dipanjatkan oleh penulis kepada Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat-Nya dan kemudahan yang telah diterima penulis dalam menyelesaikan penelitian dan seluruh aktivitas guna memperoleh gelar Magister Teknik di Program Pasca Sarjana Bidang Ilmu Teknik Program Studi Teknik Metalurgi dan Material Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan tesis ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan tesis ini. Pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar besarnya kepada semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan seluruh penyelesaian penelitian tesis dan aktivitas perkuliahan ini, yaitu :

1. Prof. Dr. Bondan T Sofyan M.Si sebagai Pembimbing, yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam menyusun tesis ini.
2. Dr. Ir. Myrna Ariati, MS. sebagai Tim Penguji.
3. Nofrijon Sofyan, Ph.D sebagai Tim Penguji.
4. Dwi Marta Nurjaya, ST. MT sebagai Tim Penguji.
5. Seluruh Staf Pengajar Departemen Metalurgi dan Material Universitas Indonesia dan Staf Pendukung yang telah banyak membantu.
6. Ibu Lisa dari Pusat Penelitian Metalurgi – LIPI untuk perizinan, penggunaan alat, bahan dan pengujian Spektrometer.
7. Bapak Budi Wahyu MT dari PT AHM yang telah memberikan bantuan material ingot aluminium AC4B.
8. Bang Mamad dari Bengkel Peleburan metallurigi, atas bantuan tenaga, atas penggunaan alat, dan Dies yang teramat mahal beserta bala kurawanya.
9. Teman-teman di program Magister Pascasarjana Departemen Metalurgi dan Material Fakultas Teknik Universitas Indonesia khususnya kelas Sabtu '08 terutama Pak Sulaksana, Pak Zaki, Pak Taufik, Cut Rully, Reni, Purnama, Rimbun Turnip, Mba Sari dan yang lainnya yang tidak bisa disebut satu persatu.

10. Mr. Reynold dan Ibu Ani dari PT Reynolds & Partnership yang telah mengizinkan saya untuk mengikuti kuliah sambil bekerja, dan seluruh teman-teman di PT Reynolds & Partnerships (Bachtiar, Bagja, Adji, Masruchin, Reza, Agus, Tanto, Rahmad, Pak Rusli, Pak Sudjar, Pak Nurahmadi, Pak Bambang, Mba Yenni, Mpo Nur 2x, Mba Kanti, dan yang lainnya). .
11. Ibu Ariyanti dan Bapak Adi Subhan dari PT PALYJA yang telah mengizinkan saya untuk mengikuti kuliah sambil bekerja, cuti, dan telat masuk kerja dan seluruh teman-teman di PT PALYJA.
12. Orang tua dan keluargaku tercinta yang telah memberikan bantuan dukunagan meterial dan moral, serta atas segala dukungan dan do'anya.

Saya berharap Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Besar harapan penulis agar karya dan hasil penelitian ini dapat bermanfaat bagi perkembangan ilmu material di Indonesia.

Depok, 10 Januari 2011

Penulis

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

---

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

Nama : Rudi Effendi  
NPM : 0806423015  
Program Studi : Kekhususan Rekayasa Material  
Departemen : Teknik Metalurgi dan Material  
Fakultas : Teknik  
Jenis karya : Tesis

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

**”Rancang Bangun Alat Uji Fluiditas Logam Aluminium Berbasis Sistem Gravitasi Dengan Keunggulan Aliran Laminar”**

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 10 Januari 2011

Yang menyatakan

(Rudi Effendi)

## ABSTRAK

Nama : Rudi Effendi  
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material, Kekhususan Rekayasa Material  
Judul : **Rancang bangun alat uji fluiditas logam aluminium berbasis sistem gravitasi dengan keunggulan aliran laminar**

Nilai fluiditas merupakan salah satu hal penting yang menentukan sifat mampu alir logam dalam proses pengecoran. Penelitian tentang alat uji nilai fluiditas telah dilakukan oleh beberapa ahli terutama pada pengecoran aluminium, akan tetapi sangat sulit untuk mendapatkan data yang mewakili dan konstan dalam suatu pengujian. Sehingga diperlukan suatu metode baru untuk mengurangi pengaruh variabel yang sulit untuk dikontrol. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mencari metode baru dari alat uji fluiditas gravitasi dengan keunggulan aliran laminar sehingga didapatkan suatu data fluiditas yang kualitasnya dapat dipercaya (*reliable*). Karakteristik dasar dari alat uji fluiditas ini adalah dengan meminimalisir ketinggian penuangan sehingga akan memberikan tekanan dan kecepatan penuangan yang konstan ke dalam suatu cetakan logam dengan variasi temperatur cetakan dan kecepatan pemiringan cetakan.

Alat uji fluiditas gravitasi yang baru dirancang dan dimanufaktur, meskipun memiliki tingkat *reliability* yang menurun. Hal ini dimungkinkan karena masih tergantung dari kemampuan operator saat penuangan dan juga aliran yang dihasilkan belum sepenuhnya bersifat laminar. Nilai fluiditas tergantung dari beberapa faktor yaitu material cetakan, temperatur cetakan, kecepatan pemiringan cetakan, dan juga ketebalan coating. Nilai fluiditas dengan variasi temperatur cetakan meningkat dengan nilai rata-rata fluiditas optimal sebesar 500 mm ketika temperatur cetakan pada 200°C. Peningkatan kecepatan pemiringan pada temperatur cetakan konstan 200°C meningkatkan nilai fluiditas rata-rata hingga 274 mm pada kecepatan pemiringan 42 mm/s. Alat tidak dapat mengukur fluiditas pada kecepatan pemiringan yang lebih tinggi karena kecepatan pemiringan lebih cepat dari pada kecepatan pendinginan yang berakibat sulitnya pengontrolan cairan logam yang masuk ke dalam cetakan.

Kata Kunci : Alat uji Fluiditas, gravitasi, pengecoran

## ABSTRACT

Name : Rudi Effendi  
Study Program : Metallurgy and Materials Engineering  
Title : **Desain for fluidity measurement base on gravity casting .**

In casting process, fluidity is the most important property to determine the flowability of molten metals. Fluidity testing apparatus have been designed by researchs, by using various methods. However the apparatus seemed to have difficulties obtaining reproducibilitys. Therefore, this research is aimed to design a new improved method to measure fluidity of molten aluminium. The new design is seeked to minimize the effect of pouring turbulence and to be able apply different mold temperature and rotational/accompaniment speed.

The new improved design of fluidity testing apparatus have been manufactured and tested. Even though reliability these apparatus is downhill cause of same factors. The fluidity depends on same factors such as: mould material, mould temperature, rotational/accompaniment speed, mould coating thickness and operator ability. The apparatus works well determining the fluidity with increased temperature up to 500 mm at 200 °C. The higher rotational speed, the higher the fluidity which is applicable up speed of to 42 mm/s with the fluidity of 274 mm. The apparatus cannot measure with higher rotational speed cause of difficulty control unbalance velocity molten metal to mould with solidification rate.

Key word : : Fluidity testing apparatus, gravity method, casting.

## DAFTAR ISI

HALAMAN COVER .....	i
HALAMAN JUDUL .....	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS .....	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
KATA PENGANTAR/UCAPAN TERIMAKASIH.....	v
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH.....	vii
ABSTRAK.....	viii
DAFTAR ISI .....	x
DAFTAR GAMBAR .....	xii
DAFTAR TABEL .....	xv
DAFTAR LAMPIRAN .....	xvi
<b>BAB 1. PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 LATAR BELAKANG PENELITIAN.....	1
1.2 PERUMUSAN MASALAH .....	3
1.3 RUANG LINGKUP PENELITIAN .....	4
1.4 TUJUAN PENELITIAN.....	4
<b>BAB 2. DASAR TEORI .....</b>	<b>5</b>
2.1 ALUMINIUM.....	5
2.1.1 Sifat Fisis dan Mekanis Aluminium.....	5
2.1.2 Paduan Aluminium Silikon.....	7
2.2 PADUAN ALUMINIUM AC4B .....	8
2.2.1 Fasa-Fasa Yang Terdapat Pada Paduan Aluminium AC4B.....	10
2.3 FLUIDITAS CAIRAN LOGAM.....	11
2.4 PENGISIAN CETAKAN.....	18
2.4.1 Formasi Oksida.....	18
2.4.2 Cacat Pengecoran.....	20
2.4.3 Kecepatan Kritis.....	21
2.4.4 Desain Pengecoran/ <i>Casting Design</i> .....	24
2.4.5 <i>Pouring Basin</i> .....	26
2.4.6 <i>Tapered Sprue</i> .....	26
2.4.7 <i>Sprue Well</i> .....	27
2.4.8 <i>Runner Bar dan Gates</i> .....	29
<b>BAB 3. METODE PENELITIAN .....</b>	<b>30</b>
3.1. DIAGRAM PENELITIAN .....	30
3.2. ALAT UJI FLUIDITAS YANG SUDAH ADA.....	31
3.2.1 Alat Uji Fluiditas Vakum [19] .....	31
3.2.2 Alat Uji Fluiditas Gravitasi Spiral [3] .....	32
3.2.3 Metode Baru Alat Uji Fluiditas Gravitasi Casting Pada Cetakan Pasir [3].....	33
3.2.4 Experimental Prochedure and Teguchi Design [20] .....	35

3.3. OPTIMASI PERANCANGAN, BAHAN DAN ALAT PENELITIAN...	37
3.3.1 Optimasi Perancangan.....	37
3.3.2 Desain <i>Running System</i> dengan Menggunakan Nomogram .....	38
3.3.3 Desain <i>Running System</i> dengan Menggunakan Perhitungan[21]..	41
3.4. PENGUJIAN FLUIDITAS.....	45
3.4.1 Peralatan.....	45
3.4.2. Bahan Baku .....	46
3.4.3. Proses Peleburan.....	46
3.4.4 Proses <i>Fluxing</i> .....	48
3.4.5 Pengujian Untuk Uji Coba Alat Uji Fluiditas.....	49
3.4.6 Proses Pengamatan dan Pengambilan Sampel Uji Fluiditas .....	50
3.5 TAHAP VERIFIKASI ALAT UJI FLUIDITAS .....	52
3.5.1 Pengujian Kekeerasan.....	52
3.5.2 Pengujian Tarik .....	54
3.5.3 Pengujian Analisa Kimia Dengan Spektrometer .....	55
3.5.4 Pengamatan Mikrostruktur Dengan Menggunakan Mikroskop Optik .....	57
3.5.5 Pengamatan Mikrostruktur Dengan Menggunakan SEM/EDX..	58
<b>BAB 4. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>62</b>
4.1 PROSES MANUFAKTUR ALAT UJI FLUIDITAS .....	62
4.1.1. Desain Awal.....	62
4.1.2 Proses Manufaktur Alat Uji Fluiditas.....	63
4.1.3 Uji Coba dan Evaluasi.....	66
4.1.4 Perbaikan Dari Desain Awal .....	67
4.1.4.1 Perbaikam Sistem Pemiringan Cetakan.....	67
4.1.4.2 Perbaikan Sistem Pengontrolan Temperatur Cetakan.....	68
4.2 KARAKTERISASI PADUAN ALUMINIUM AC4B .....	69
4.2.1 Analisis Kimia Ingot Aluminium Paduan AC4B Dengan Spektrometer .....	69
4.2.2 Analisis Kekerasan Ingot Aluminium Paduan AC4B .....	71
4.2.3 Analisis Kekuatan Tarik Ingot Aluminium Paduan AC4B ...	71
4.3 VALIDASI ALAT UJI FLUIDITAS .....	75
4.3.1 Validasi Pengaruh Temperatur Cetakan Terhadap Nilai Fluiditas Paduan Aluminium AC4B .....	75
4.3.2 Validasi Pengaruh Kecepatan Pemiringan Cetakan Terhadap Nilai Fluiditas Paduan Aluminium AC4B .....	77
4.3.3 Analisa Mikrostruktur Pada Sampel Uji Fluiditas.....	80
4.3.3.1 Analisa Mikrostruktur Dengan Mikroskop Optik .....	81
4.3.3.2 Analisa Mikrostruktur Dengan SEM/EDX .....	83
<b>BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>87</b>
5.1 KESIMPULAN DAN SARAN.....	87
5.2 SARAN.....	87
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>88</b>
LAMPIRAN .....	90

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Peralatan original alat uji fluiditas gravitasi.....	2
Gambar 2.1 Diagram fasa paduan aluminium silikon[10] .....	7
Gambar 2.2 (a) Mikrostruktur dendritik pada Al-9Si-4Cu as-cast, (b) Fasa - fasa penting pada Al-7Si-2Cu as cast[17][18].....	10
Gambar 2.3 Aspek yang berpengaruh terhadap nilai fluiditas[18].....	11
Gambar 2.4 Profile temperatur pada solidifikasi di cetakan pasir [18].....	14
Gambar 2.5. Profile temperatur pada solidifikasi di cetakan logam [18].....	15
Gambar 2.6 Karakteristik aliran cairan logam: (a) Aliran laminar, (b) Aliran campuran, (c) Aliran turbulen[18].....	17
Gambar 2.7 Turbulensi permukaan pada cairan logam [4].....	19
Gambar 2.8 Pembentukan turbulensi permukaan pada cairan logam [4].....	21
Gambar 2.9 Kecepatan kritis/ <i>Critical Velocity</i> [4].....	22
Gambar 2.10 Kesalahan desain <i>running</i> sistem[4].....	24
Gambar 2.11 Hasil dari kesalahan <i>running</i> sistem[4] .....	25
Gambar 2.12 <i>Top versus bottom gating</i> [4].....	25
Gambar 2.13 Desain yang baik 1, <i>pouring basin</i> [4].....	26
Gambar 2.14 Desain yang baik 2, <i>tapered sprue</i> [4].....	27
Gambar 2.15 Desain yang baik 3, <i>sprue well</i> [4] .....	27
Gambar 2.16 Desain yang baik 4, <i>runner bars dan gates</i> [4].....	29
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian .....	30
Gambar 3.2 a) Test fluiditas dengan sistem gravitasi spiral, b) Test Fluiditas dengan sistem vakum.....	31
Gambar 3.3 Alat uji fluiditas vakum [19].....	31
Gambar 3.4 Hasil pengujian fluiditas vakum .....	32
Gambar 3.5. Alat uji fluiditas ( <i>original methode</i> ) [3] .....	33
Gambar 3.6. Komponen utama metode baru [3]: <i>stopper rod</i> (A), <i>pouring cup</i> (B), <i>cope</i> (C), <i>drag</i> (D), <i>mettalic clamps</i> (E), <i>pneumatic cylinder</i> (F).....	34
Gambar 3.7 Equipment baru: (a) <i>plan view of pouring cup</i> , (b) pandangan samping <i>stopper rod</i> dan <i>sand mold</i> [3].....	35
Gambar 3.8 a) Komponen utama cetakan fluiditas [20]: (A) <i>drag</i> , (b) <i>cope</i> , (c) <i>gating system split in two cylinder</i> , (D) <i>kalpur sleeve held in olace by E clamp ring</i> , (F) <i>Thermocouple</i> .....	36
Gambar 3.8 b) cetakan yang terbuka dan sampel dari test fluiditas [20].....	36
Gambar 3.9 Pemilihan waktu pengisian/ <i>filling time</i> [4].....	39
Gambar 3.10 Penentuan dimensi <i>gating</i> sistem dengan nomogram [4].....	40
Gambar 3.11 Ukuran saluran penambah [21].....	41
Gambar 3.12 Ukuran <i>pouring basin</i> [21].....	42
Gambar 3.13 Desain cetakan alat uji fluiditas gravitasi.....	44
Gambar 3.14 Alat uji fluiditas gravitasi.....	45
Gambar 3.15 Ingot aluminium paduan AC4B .....	46
Gambar 3.16 Proses <i>coating zircon</i> .....	47
Gambar 3.17 Hasil proses <i>coating zircon</i> .....	47
Gambar 3.18 Proses peleburan.....	48

Gambar 3.19 Proses <i>fluxing</i> .....	48
Gambar 3.20 Proses penuangan cairan logam ke alat uji fluiditas.....	49
Gambar 3.21 Termokontroller, termokopel <i>fix</i> dan <i>portable</i> .....	49
Gambar 3.22 Proses pengukuran hasil alat uji fluiditas.....	50
Gambar 3.23 Sebaran standar deviasi .....	51
Gambar 3.24 Simbol penetrator uji kekerasan .....	52
Gambar 3.25 Mesin uji Rockwell dengan benda kerja.....	53
Gambar 3.26 Daerah bekas penetrator pada sampel .....	54
Gambar. 3.27 Ukuran sampel uji tarik.....	54
Gambar. 3.28 Proses pengujian tarik.....	55
Gambar 3.29 Sampel uji tarik dan hasil patahan uji tarik.....	55
Gambar 3.30 Alat uji spektrometer.....	56
Gambar 3.31 Proses pemotongan dan pengujian spektrometer.....	56
Gambar 3.32 Mikroskop optik .....	57
Gambar 3.33 Sampel hasil alat uji fluiditas setelah dilakukan mounting....	58
Gambar 3.34 Mesin pengamplas & poles.....	59
Gambar 3.35 Alat uji Pengujian SEM.....	60
Gambar 3.36 Pengujian SEM, permukaan topografi dengan secondary electron images.....	61
Gambar 4.1 Desain awal alat uji fluiditas gravitasi, (a) Pandangan depan alat uji fluiditas, (b) Pandangan belakang alat uji fluiditas.....	62
Gambar 4.2 Desain perbaikan alat uji fluiditas.....	67
Gambar 4.3 Perbaikan sistem pengontrolan temperatur: (a) <i>Thermokontroller manual</i> , (b) <i>Thermokontroller digital</i> , (c) <i>Thermokontroller (1)</i> dan <i>relay(2)</i> .....	69
Gambar 4.4 Permukaan patahan sampel hasil uji tarik paduan aluminium AC4B, (a) Daerah A: Adalah daerah terjadi porositas, (b) Daerah B: Adalah daerah tanpa .....	70
Gambar 4.5 Sampel uji tarik, (a) Perpatahan terjadi di luar gauge length, (b) Preparasi sampel dengan radius(R) yang salah/tidak sempurna karena terlalu menyudut, (c) Preparasi sampel dengan radius(R) yang benar. ....	72
Gambar 4.6 Foto mikrostruktur sampel bekas patahan pengujian tarik (perbesaran 7x) Posisi 1: Adalah matriks aluminium itu sendiri, Posisi 2: Adalah penyusutan yang merupakan kekosongan/porositas diantara dendrit.....	73
Gambar 4.7 Permukaan patahan sampel uji tarik hasil pengujian paduan aluminium AC4B, Posisi 1: Adalah matriks aluminium itu sendiri, Posisi 2: Adalah penyusutan yang merupakan kekosongan/porositas diantara dendrit.....	74
Gambar 4.8 Pengaruh temperatur cetakan terhadap nilai fluiditas aluminium AC4B pada temperatur tuang 800° C.....	76
Gambar 4.9 Pengaruh kecepatan pemiringan cetakan terhadap nilai fluiditas paduan aluminium AC4B pada temperatur cetakan 200° C dan temperatur tuang 800° C.....	78
Gambar 4.10 Terjadi <i>splashing</i> pada pengujian nilai fluiditas kecepatan pemiringan tinggi (42 mm/s).....	78

Gambar 4.11 Pengujian nilai fluiditas dengan alat uji vakum.....	79
Gambar 4.12 Mikrostruktur ujung sampel hasil uji fluiditas dengan temperatur tuang konstan 200 °C dengan variasi temperatur cetakan: (a-b) Ujung nilai fluiditas terpanjang = 540 mm pada temperatur cetakan 200 °C, (c-d) Ujung sampel nilai fluiditas menengah = 380 mm pada temperatur cetakan 150 °C, (e-f) Ujung sampel nilai fluiditas terpendek = 260 mm pada temperatur cetakan 350 °C.....	82
Gambar 4.13 Perubahan nilai rata-rata DAS dan nilai fluiditas pada tiga temperature cetakan paduan aluminium AC4B.....	83
Gambar 4.14 Foto SEM ujung sampel hasil uji fluiditas dengan temperatur tuang konstan 200 °C dengan variasi temperatur cetakan: (a-b) Ujung nilai fluiditas terpanjang = 540 mm pada temperatur cetakan 200 °C, (c-d) Ujung sampel nilai fluiditas menengah = 380 mm pada temperatur cetakan 150 °C, (e-f) Ujung sampel nilai fluiditas terpendek = 260 mm pada temperatur cetakan 350 °C.....	84



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Sifat-sifat Fisik Aluminium dalam keadaan Murni[10].....	5
Tabel 2.2 Sifat-sifat Mekanik Aluminium dalam keadaan Murni[3].....	5
Tabel 2.3 Perbandingan unsur paduan aluminium pada aluminium AC4B dan 333,0 [14][15].....	9
Tabel 2.4 Karakteristik yang dimiliki paduan aluminium AC4B[2].....	9
Tabel 2.5 Konduktivitas termal [18].....	13
Tabel 4.1 Komposisi Kimia Paduan Aluminium Silikon AC4B.....	70
Tabel 4.2 Hasil Pengujian Kekerasan Ingot Aluminium AC4B.....	71
Tabel 4.3 Hasil Pengujian Kekuatan Tarik Ingot Aluminium AC4B.....	72
Tabel 4.4 Data pengujian validasi temperatur cetakan alat uji fluiditas pada paduan AC4B dengan temperatur tuang 800° C.....	75
Tabel 4.5 Data pengujian validasi kecepatan pemiringan alat uji fluiditas pada paduan AC4B.....	77
Tabel 4.6 Data Pengujian Nilai Fluiditas Aluminium AC4B Dengan Alat Uji Fluiditas Vakum.....	79
Tabel 4.7 Panjang rata-rata pengukuran fluiditas (alat uji fluiditas vacuum dan alat uji fluiditas gravitasi variasi temperatur cetakan dan variasi kecepatan pemiringan) dan standard deviasi.....	80
Tabel 4.8 Hasil pengujian EDX Komposisi Kimia Paduan Aluminium Silikon AC4B hasil pengujian nilai fluiditas.....	85

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Hasil pengujian komposisi kimia dengan Spektrometer .....	90
Lampiran 2. Hasil pengujian kekerasan .....	91
Lampiran 3. Hasil pengujian tarik .....	92
Lampiran 4 Hasil pengamatan foto struktur makro dengan mikroskop optik pada patáhan uji tarik .....	102
Lampiran 5. Hasil pengujian komposisi kima dengan EDX pada ujung hasil uji fluiditas .....	104



## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 LATAR BELAKANG PENELITIAN

Fluiditas dalam proses pengecoran adalah suatu sifat mampu alir logam cair yang dapat diukur panjang jaraknya dalam suatu saluran kecil sebelum berhenti karena proses pembekuan [1]. Studi tentang fluiditas sangat penting pada industri penerbangan dan industri otomotif untuk mendapatkan produk yang tipis dan ringan. Dalam beberapa tahun terakhir banyak industri pengecoran dan pemasok logam menghabiskan banyak waktu dan uang mereka untuk mempelajari fluiditas pada pengecoran paduan.

Ada beberapa metode yang dapat dilakukan untuk mengukur fluiditas, antara lain metode gravitasi spiral dan metode vakum. Pada pengujian fluiditas metode gravitasi spiral cairan logam dituangkan pada bentuk spiral yang mempunyai luas penampang yang kecil, panjang dari cairan pada pipa spiral yang membeku diukur untuk menentukan fluiditasnya. Sementara pada metode vakum cairan logam dihisap dengan pipa, dimana panjang cairan yang membeku diukur untuk menentukan fluiditasnya [2].

#### Peralatan alat uji fluiditas original

Versi pertama peralatan yang dapat dipergunakan sebagai bahan pertimbangan dalam suatu setting standar pada spiral test terdiri dari *pouring basin*, *sprue* dengan empat persegi yang diratakan (*rectangular tapered sprue*) di bagian *cope* (atas cetakan) dan *double spiral cavity* di bagian *drag* (bawah cetakan). Spiral dibuat dari cetakan pasir *quarsa* dengan rata-rata besar butir 0,15 mm. Cetakan dibuat secara manual dengan bantuan perekat *phenolic (alphaset)*. *Spiral Archimedian* masing-masing mempunyai luas penampang 4 x 10 mm<sup>2</sup>, terdiri dari 3,5 putaran dan mempunyai panjang maksimum 1,2 m. Spiral pada ujungnya berventilasi. Cairan logam dituang secara manual dari dapur ke *pouring basin* secara manual dengan menggunakan *ladle*. Temperatur logam diukur pada

*ladle* menggunakan termokopel (tipe K,  $\pm 1^\circ\text{C}$  akurasi) sebelum dituang di *pouring basin*. Tujuan yang ingin di dapat adalah untuk menuangkan logam cair ke dalam *basin* secepat mungkin dan untuk mengisi *basin* secara penuh/*completely*, selain untuk mendapatkan tekanan *initial metallostatic head* yang sama pada aliran logam cair [3].



Gambar 1.1 Perlatan original alat uji fluiditas spiral gravitasi[3]

#### Peralatan alat uji fluiditas perbaikan

Versi perbaikan peralatan alat uji terdiri dari *gating system*. *Gating system* terdiri dari *pouring cup* dan *short circular tapered sprue*. Logam cair dituangkan ke dalam *pouring cup* dengan cara manual menggunakan *ladle*, dikarenakan posisi *pouring cup* diatas cetakan untuk menuangkan ke dalam *sprue* cetakan seluruhnya dimiringkan dengan menggunakan silinder pneumatis. Tujuan yang ingin di dapat dari metode ini adalah sedapat mungkin mengurangi tinggi penuangan (*head pouring*). Hal ini dikarenakan pada aluminium tinggi penuangan yang tinggi akan berpengaruh pada pembentukan formasi turbulensi permukaan pada cairan logam [4]. Tujuan dari tinggi penuangan yang sependek mungkin adalah mencegah aliran logam membentuk formasi turbulensi permukaan.

Cetakan dibuat dari cetakan logam terdiri dari *cope* (cetakan datar pada bagian atas), dan *drag* (Bentuk *single straight horisontal*). Kedua cetakan (*cope & drag*) disatukan dengan menggunakan delapan buah baut logam. Cetakan atas/*cope* mempunyai lobang ventilasi pada ujung *cavity* (diameter 1 mm). *Single straight horisontal* mempunyai luas penampang  $4 \times 10 \text{ mm}^2$ , dengan panjang

maksimum 1,0 m. Di dalam cetakan pada sisi cetakan atas (*cope*) dipasang pemanas untuk pengontrolan suhu di dalam cetakan. Termokopel yang telah dikalibrasi (type K,  $\pm 1^\circ\text{C}$  akurasi) digunakan untuk mengukur cairan logam di dalam *pouring cup*, dan suhu di dalam cetakan atas (*cope*). Tujuan dari pengontrolan suhu cetakan ini adalah untuk mengetahui pengaruh suhu cetakan terhadap fluiditas, dalam hal ini terhadap titik pembekuan (*solidus point*).

Dengan metode baru menggunakan cetakan logam dimana cetakan lama dari pasir [3] diharapkan akan mengurangi efek penggerusan cairan logam panas ke cetakan sehingga cairan dapat mengalir secara lancar. Dengan mengontrol suhu dari cetakan diharapkan cairan logam dapat terlebih dahulu mengalir dan mengisi rongga-rongga cetakan yang pada akhirnya akan membeku.

Dari kedua metode lama dan metode baru didapatkan hasil nilai fluiditas ingot aluminium yang kecil bila dibandingkan dengan standar yang ada, hal ini dikarenakan karena lairan yang terjadi belum sepenuhnya bersifat laminar dan juga dimungkinkan karena hadirnya berbagai macam pengotor seperti Si, Mg, dan Fe seperti yang dibuktikan pada pengujian komposisi kimia.

## 1.2. PERUMUSAN MASALAH

Fluiditas dari cairan logam sangat bergantung dari beberapa parameter [5]. Terutama pada pengecoran aluminium, penelitian tentang fluiditas spiral test telah dilakukan oleh beberapa ahli [6-9], akan tetapi sangat sulit untuk mendapatkan data yang mewakili dan konstan dalam suatu pengujian. Dengan tidak terdapatnya data fluiditas yang *reliable* untuk pengecoran paduan aluminium terdapat beberapa kesulitan untuk mengoptimalisasi *casting properties* dari paduan tersebut [6]. Dengan demikian diperlukan suatu metode baru untuk mengurangi pengaruh variabel yang sulit untuk dikontrol. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendesain dan memanufaktur alat uji fluiditas metode gravitasi dengan aliran laminar maksimum sehingga didapatkan suatu data fluiditas yang kualitasnya dapat dipercaya (*reliable*).

### 1.3 RUANG LINGKUP PENELITIAN

Sasaran utama penelitian ini adalah perancangan dan pembuatan alat uji fluiditas berbasis gravitasi dengan desain lebih baik dengan memaksimalkan aliran laminar untuk mengurangi turbulensi logam cair dan memungkinkan variasi temperatur dan kemiringan saluran masuk. Pengujian alat uji fluiditas yang dihasilkan dengan memperhatikan variasi temperatur cetakan, temperatur penuangan dan kecepatan pemiringan. Sampel hasil uji coba juga akan dianalisis struktur mikronya menggunakan mikroskop optik dan SEM/EDX.

Alat uji fluiditas yang dibuat akan diverifikasi menggunakan ingot dengan jenis yang sama yaitu AC4B tetapi menggunakan alat uji yang berbeda, yaitu:

- Alat uji fluiditas gravitasi yang baru
- Alat uji fluiditas vakum

Karakterisasi material AC4B yang digunakan meliputi:

- 1) Pengujian kekerasan
- 2) Pengujian kekuatan tarik
- 3) Pengujian komposisi kimia

### 1.4 TUJUAN PENELITIAN

Tujuan dari penelitian, adalah merancang bangun alat uji fluiditas berbasis gravitasi dengan aliran laminar yang lebih baik meminimalis terjadinya efek formasi turbulensi permukaan logam cair sehingga didapatkan suatu data fluiditas yang kualitasnya dapat dipercaya. Untuk mencapai tujuan tersebut maka dalam penelitian ini dilakukan beberapa strategi untuk memverifikasi kualitas alat uji fluiditas yang dilakukan dengan melakukan serangkaian uji coba untuk:

- a) Mengetahui pengaruh temperatur cetakan terhadap nilai fluiditas material.
- b) Mengetahui pengaruh kecepatan penuangan terhadap nilai fluiditas material.
- c) Membandingkan kinerja alat uji fluiditas yang baru dengan alat uji fluiditas vakum.

## BAB II DASAR TEORI

### 2.1 ALUMINIUM

Aluminium pertama kali ditemukan oleh Sir Humprey Davy pada tahun 1809. Aluminium merupakan logam terbanyak di alam, akan tetapi tidak pernah ditemukan dalam bentuk unsur murni (*native element*) di alam. Aluminium murni diproduksi melalui pemurnian (*refining*) bauksit menggunakan sebuah proses yang disebut proses Bayer (*Bayer Process*). Pada proses ini bauksit direduksi menjadi aluminium oksida, kemudian direduksi secara elektrolisis sehingga diperoleh aluminium murni, setelah itu baru diolah menjadi barang jadi sesuai dengan kebutuhan.

#### 2.1.1 Sifat Fisis dan Mekanis Aluminium

Sifat-sifat fisik dan mekanis dari aluminium dilihat pada tabel berikut:

Tabel 2.1 Sifat-sifat fisik aluminium dalam keadaan murni[10]:

Sifat	Nilai
Struktur kristal	FCC dengan $a = 0,404$ nm; jarak atom terdekat 0,286 nm
Kemagnetan	Non magnetik dan non sparkling
Densitas	$2,6989 \text{ g/cm}^3$
Hambatan listrik	$2,824 \mu\Omega\text{-cm}$ pada $20^\circ\text{C}$
Koefisien panas	$0,0039^\circ\text{C}^{-1}$
Koefisien ekspansi linear	$23.86 \times 10^{-6}^\circ\text{C}^{-1}$
Panas spesifik	$0.2259 \text{ cal/g-K}$
Panas peleburan	$93 \text{ cal/g}$
Potensial ionisasi	Pertama $5,96 \text{ V}$ ; kedua $18,74 \text{ V}$ ; ketiga $28,31 \text{ V}$
Titik lebur	$660^\circ\text{C}$
Titik didih	$2467^\circ\text{C}$

Tabel 2.2 Sifat-sifat mekanik aluminium dalam keadaan murni[3] :

Sifat	Nilai
<i>Modulus Young</i>	69 MPa
Modulus Geser	$3,8 \times 10^6$ psi
<i>Poisson's ratio</i>	0,33
Kekuatan tarik maksimum(UTS)	90 Mpa
Elongasi	60%
Kekerasan	15 HBN(500 kg, 10 mm)

Aluminium tuang memiliki sifat-sifat menguntungkan dan juga merugikan. Sifat-sifat yang menguntungkan dari aluminium tuang yaitu [10]:

1. Titik lebur dan temperatur tuang yang relatif rendah bila dibandingkan dengan logam lainnya.
2. Fluiditas baik sehingga mampu mengisi rongga-rongga cetakan yang rumit dan tipis.
3. Siklus penuangan yang cukup cepat, dikarenakan perpindahan panas dari aluminium cair ke cetakan relatif cepat.
4. Kelarutan gas rendah kecuali dengan hidrogen akan tetapi dapat dikendalikan dengan metode proses yang baik.
5. Cukup banyak jenis paduan aluminium tuang yang relatif bebas dari kecenderungan *hot shortness*.
6. Memiliki stabilitas kimia yang relatif baik.
7. Memiliki kualitas permukaan *as cast* yang baik, berkilat dan tanpa noda.
8. Lebih tahan terhadap korosi, hal ini karena aluminium dapat bereaksi dengan oksigen membentuk lapisan pasif di permukaan yang sifatnya stabil ( $Al_2O_3$ ), tidak berwarna, dan transparan, sehingga lapisan ini dapat melindungi aluminium dan paduannya dari reaksi korosi.
9. Memiliki sifat mampu permesinan yang sangat baik.
10. Struktur butir dapat dikontrol.
11. Bisa dikuatkan dengan perlakuan panas.

Sedangkan sifat-sifat yang merugikan dari aluminium tuang yaitu [10]:

1. Penyusutan (*shrinkage*) yang cukup tinggi (4 - 8%).
2. Kelarutan hidrogen tinggi dalam kondisi cair sehingga jika tidak dapat dikontrol dapat menyebabkan cacat porositas pada produk yang dihasilkan.
3. Berat jenis pengotor oksida (*dross*), yaitu  $2,1 \text{ gr/cm}^3$  yang hampir sama dengan berat jenis aluminium cair sehingga pengotor mudah tercampur dengan aluminium cair.
4. Dapat mengalami *hot cracking*.

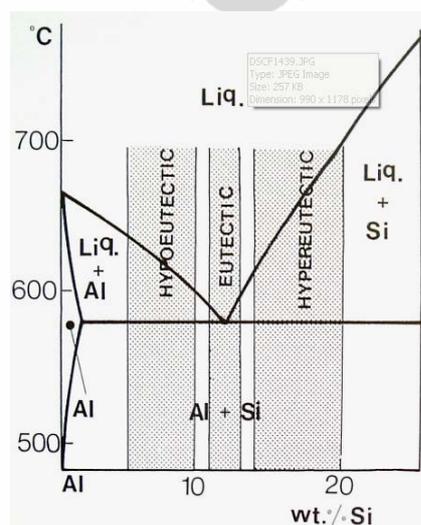
### 2.1.2 Paduan Aluminium Silikon

Dari sekian banyak jenis material aluminium paduan, paduan aluminium silikon (Al-Si) merupakan paduan yang paling banyak dipakai dalam proses pembuatan produk-produk aluminium tuang. Paduan aluminium silikon merupakan paduan yang memiliki mikrostruktur yang berbeda-beda. Paduan yang ditambahkan ke dalam aluminium silikon dapat memperbaiki sifat fisik dan sifat mekanis yang kurang baik, seperti sifat mampu cor, mampu alir, ketahanan korosi, tahan terhadap retak panas (*hot tears*), sifat mampu las yang baik, sifat mampu permesinan yang baik dan mudah di daur ulang sehingga ramah lingkungan dan juga meminimalisasi terbentuknya cacat.

Paduan Al-Si-Mg dan Al-SiCu termasuk dalam kategori paduan Al-Si. Unsur-unsur paduan utama pada material ini adalah Si, Cu, Mg dan Zn, sedangkan unsur paduan yang berisifat minor adalah Fe, Mn, Ti, Pb, Sn, Cr, dan B. Sifat mekanis, seperti ketahanan korosi, mampu cor, mampu permesinan dan mampu las, serta sifat fisik paduan ini baik. Paduan aluminium silikon terbagi menjadi 3 jenis berdasarkan konsentrasi unsur Si yang dimiliki, yaitu:

1. *Hypo eutectic* (< 12% Si)
2. *Eutectic* (12% Si)
3. *Hyper Eutectic* (> 12% Si)

Unsur-unsur paduan memberikan pengaruh yang berbeda-beda terhadap sifat-sifat yang dimiliki oleh material paduan Al-Si, dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Diagram fasa paduan aluminum silikon [10].

Fasa  $\alpha$ -Al merupakan struktur utama dari ketiga komposisi paduan yang sangat kaya akan kandungan aluminium. Struktur ini akan tetap muncul walaupun pada komposisi *hipoeutektik*, *eutektik* maupun *hipereutektik* [11]. Selain fasa  $\alpha$ -Al, juga terdapat fasa  $\beta$ , yang merupakan partikel-partikel silikon yang tidak larut dalam fasa  $\alpha$ -Al. Pada paduan *hipereutektik*, fasa tersebut menghasilkan silikon primer yang bentuknya relatif kasar, terkadang bentuk ini juga dapat ditemui pada *eutektik*.

Pada komposisi *hipoeutektik*, terdapat kandungan silikon  $< 12,2\%$  [12]. Pada daerah ini, pembekuan terjadi melalui fasa cair-padat. Struktur akhir dari komposisi ini adalah struktur yang kaya akan aluminium, sebagai fasa utamanya adalah fasa  $\alpha$  dengan struktur *eutektik* sebagai struktur tambahan.

Komposisi *eutektik* merupakan daerah dimana paduan Al-Si dapat membeku secara langsung dari fasa cair ke fasa padatnya [12]. Proses pembekuan yang berlangsung menyerupai proses pembekuan logam murni, dimana temperatur awal dan temperatur akhir peleburan adalah sama (*isothermal*). Logam cair dapat langsung membeku ke fasa padat tanpa harus melalui fasa cair-padat terlebih dahulu. Adanya struktur *eutektik* ini yang mengakibatkan paduan aluminium silikon memiliki karakteristik mampu cor yang baik. Komposisi ini memiliki kandungan silikon sekitar  $12,2\%$ , namun jumlah ini tergantung pada laju pendinginannya, sehingga kandungan silikon bisa bervariasi mulai  $11,7-12,2\%$ . Pada pengecoran paduan aluminium silikon, umumnya pembekuan melalui daerah sekitar *eutektik*.

Untuk komposisi *hipereutektik*, kandungan silikonnya  $> 12,2\%$ , sehingga komposisi ini memiliki struktur yang kaya akan silikon dengan *fasa eutektik* sebagai struktur tambahan [12].

## 2.2 PADUAN ALUMINIUM AC4B

AC4B merupakan paduan aluminium tuang yang mengikuti tatanama JIS (*Japan Industrial Standard*) [13] H 5202-1978 setara dengan paduan aluminium tuang LM 22 (*British Standard*) atau paduan aluminium tuang A335 (ASTM). Paduan aluminium AC4B ini memiliki kesetaraan dengan paduan aluminium 333.0 menurut standard klasifikasi AA. Aluminium jenis ini termasuk dalam

paduan Al-Si-Cu. Pada Tabel 2.3 diperlihatkan komposisi paduan aluminium AC4B serta perbandingannya dengan paduan aluminium 333.0 [14] [15]. Sedangkan karakteristik yang dimiliki oleh paduan aluminium AC4B atau paduan aluminium 333,0 hasil pengecoran (*as cast*) diperlihatkan pada Tabel 2.4

Tabel 2.3 Perbandingan unsur paduan aluminium pada aluminium AC4B dan 333,0 [14] [15]

Elemen Paduan	AC4B			333		
Si	7 - 10	wt %	-	8 - 10	wt %	-
Fe	0.8	wt %	Maks	1	wt %	Maks
Cu	2 - 4	wt %	-	3 - 4	wt %	-
Mn	0.5	wt %	Maks	0.5	wt %	Maks
Mg	0.5	wt %	Maks	0.5	wt %	Maks
Ni	0.35	wt %	Maks	0.5	wt %	Maks
Zn	1	wt %	Maks	1	wt %	Maks
Sn	0.1	wt %	Maks	-	wt %	Maks
Ti	0.1	wt %	Maks	0.25	wt %	Maks

Tabel 2.4 Karakteristik yang dimiliki paduan aluminium AC4B [13]

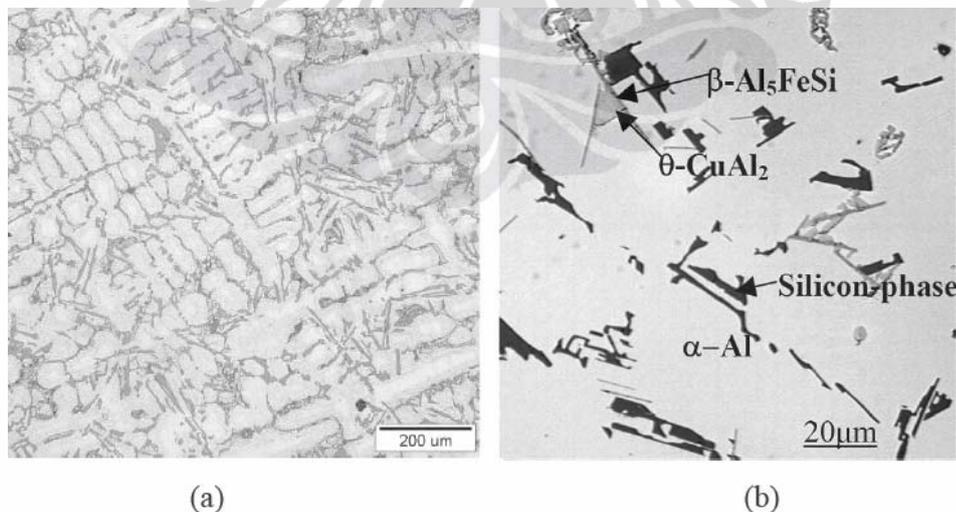
Karakteristik	Nilai	Satuan
Kekuatan tarik	≥193	MPa
Kekerasan	65 – 100	HB
Modulus Elastisitas	73000	MPa
Modulus Geser	27400	MPa
Kekuatan Geser	119	MPa
Titik Lebur	516-585	°C
Konduktivitas Panas	105	W/m-K
Difusi Panas	389	J/g

Paduan aluminium tuang AC4B merupakan sistem Al-Si-Cu dikenal juga dengan nama *copper silumin* digunakan pada pengecoran yang membutuhkan karakteristik casting dengan kekuatan tinggi serta cocok untuk pengelasan. Material aluminium AC4B memiliki aplikasi yang luas baik pada berbagai jenis proses pengecoran seperti pada *sand casting* dan *permanent mold casting*. Kekuatan tarik aluminium AC4B sebesar 18 kgf/mm<sup>2</sup>(177 N/mm<sup>2</sup>) [13]. Karakteristik casting dari AC4B secara umum adalah sebagai berikut:

- Fluiditas : baik
- Ketahanan terhadap *hot tearing* : baik
- Ketahanan terhadap tekanan : baik
- Kemampuan permesinan : baik
- Ketahanan korosi : baik

### 2.2.1 Fasa – Fasa Yang Terdapat Pada Paduan Aluminium AC4B

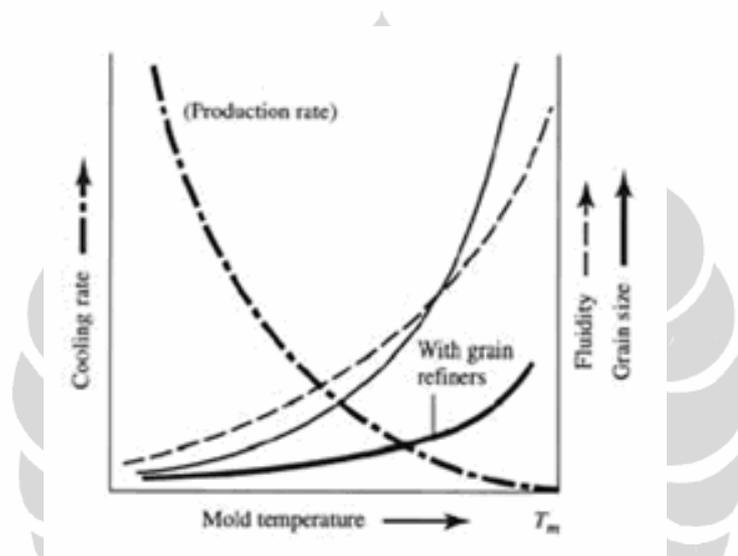
Struktur mikro dari paduan Al-9Si-4Cu *as cast* ditunjukkan pada gambar 2.2.a. Pada gambar tersebut terlihat adanya *dendrit-dendrit* aluminium primer berwarna terang dan fasa Al-Si berbentuk *lamellar* dengan fasa silikon berwarna abu-abu gelap. Dengan perbesaran lebih besar, struktur mikro dari paduan Al-7Si-2Cu *as-cast* terlihat pada gambar 2.2.b. Gambar tersebut memperlihatkan adanya fasa-fasa intermetalik selain aluminium primer dan silikon yang terbentuk dari unsur paduan lain. Intermetalik terbanyak adalah  $\text{Al}_2\text{Cu}$  yang terbentuk karena sudah terlampauinya batas daya larut Cu pada Al. Selain itu, intermetalik lain yang dijumpai pada paduan aluminium tuang Al-Si-Cu adalah  $\text{Al}_5\text{FeSi}$ ,  $\text{Al}_{15}\text{Mn}_3\text{Si}_2$ ,  $\text{Mg}_2\text{Si}$ , dan  $\text{Al}_8\text{FeMg}_3\text{Si}_6$  [16] [17].



Gambar 2.2(a) Mikrostruktur denritik pada Al-9Si-4Cu *as-cast*. (b) Fasa – fasa penting pada Al-7Si-2Cu *as-cast* [16] [17].

### 2.3 FLUIDITAS CAIRAN LOGAM

Seluruh tulisan pada SubBAB 2.3 ini disadur dari Kalpakjian, *Manufacturing Engineering and Technology* [18]. Fluiditas didefinisikan sebagai kemampuan suatu logam cair untuk mengisi rongga-rongga *cavities* dari cetakan.[18, hal 275]. Pada Gambar 2.3 digambarkan beberapa aspek yang berpengaruh terhadap fluiditas cairan yang nantinya berujung pada tujuan yang ingin didapat yaitu optimalisasi tingkat produksi.



Gambar 2.3 Aspek yang berpengaruh terhadap nilai fluiditas[18].

Faktor yang mempengaruhi nilai fluiditas ini biasanya digolongkan dalam 2(dua) kondisi dasar, yaitu:

- 1) Karakteristik dari cairan logam
- 2) Parameter *casting*,

Di bawah ini adalah karakteristik dari cairan logam yang berpengaruh pada nilai fluiditas, yaitu:

a) *Viskositas*

Nilai *viskositas* berbanding terbalik dengan dengan perubahan temperatur (*viskositas indeks*). Semakin naik temperatur, viskositasnya/kekentalanya semakin turun.

b) Tegangan permukaan.

Tegangan permukaan logam cair yang tinggi akan mengurangi fluiditas. Oksida film yang terbentuk pada cairan logam sangat berpengaruh signifikan efek terhadap fluiditas, contohnya oksida film yang terbentuk pada permukaan logam aluminium murni melipat gandakan nilai tegangan permukaan.

c) Inklusi

Sebagai partikel tidak larut, inklusi memegang efek merugikan yang signifikan, hal ini bisa dicontohkan sebagai partikel pasir di dalam cairan minyak yang sangat merugikan dalam nilai fluiditas.

d) Pola pembekuan dari cairan logam.

Pola pembekuan sangat berpengaruh terhadap fluiditas, pada dasarnya nilai fluiditas hampir sama dengan nilai daerah pembekuan, sebagai:

$$\text{Daerah pembekuan} = T_L - T_S \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana  $T_L$  : Temperatur *Liquidus*, dan  $T_S$ : Temperatur *Solidus*. Dengan demikian logam yang mempunyai daerah pembekuan yang pendek (seperti pada logam cair murni) mempunyai nilai fluiditas yang cukup tinggi, sedangkan logam yang mempunyai daerah pembekuan yang panjang (seperti pada logam campuran) mempunyai nilai fluiditas yang rendah.

Sedangkan parameter *casting* yang berpengaruh terhadap fluiditas juga berpengaruh pada aliran fluida dan karakteristik *thermal system*, antara lain:

a) Desain Cetakan

Desain dan dimensi dari komponen dalam cetakan seperti *sprue*, *runners*, *riser*, dan sebagainya akan sangat berpengaruh terhadap nilai fluiditas. Komponen-komponen tersebut tergabung dalam suatu sistem yang disebut *gating system*. *Gating system* ialah jaringan pipa penyalur yang merupakan jalan bagi logam cair untuk mengisi rongga cetakan yang selanjutnya diikuti oleh pembekuan logam cair tersebut untuk menghasilkan bentuk benda cor.

b) Material cetakan dan karakteristik permukaanya.

Cetakan yang mempunyai karakteristik thermal yang rendah dan mempunyai permukaan yang kasar akan menurunkan nilai fluiditas. Memanaskan cetakan akan meningkatkan nilai fluiditas dan memperlambat pembekuan, meskipun berefek pada pembentukan butir-butiran *coarse* yang mengurangi kekuatan. Konduktivitas beberapa material *parts* dan *mould*:

$$q = k \frac{dT}{dx} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana q adalah jumlah kalor atau panas yang dirambatkan, sedangkan k adalah konduktivitas panas yang ditentukan dari materialnya, dT adalah perbedaan kenaikan temperatur dan dx adalah jarak antaranya. Tabel 2.5 adalah konduktivitas termal beberapa jenis material

Tabel 2.5 Konduktivitas termal [18]

Material	Konduktivitas Thermal (W/m°K)
Copper	394
Aluminium	222
Iron	29
Sand	0,61
PMMA	0,20
PVC	0,16

c) Derajat panas/Temperatur *Superheat*

Didefinisikan sebagai temperatur diatas temperatur didih logam (*melting point*), Temperatur superheat meningkatkan nilai fluiditas dan mencegah pembekuan awal (*pre solidification*)

$$Superheat = (T_{melt} - T_L) / T_L \dots\dots\dots (2.3)$$

d) *Rate of pouring*/ Kecepatan penuangan.

Kecepatan penuangan yang lambat dari metal ke dalam cetakan akan mengurangi nilai fluiditas karena pendinginan yang berlangsung cepat.

e) *Heat transfer*/ perpindahan panas

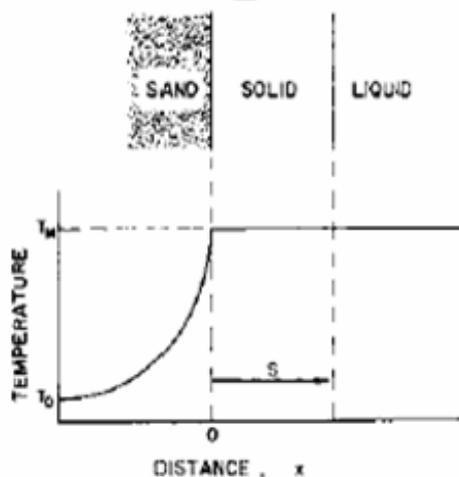
Faktor ini tergantung dari beberapa parameter

- Properties dari Material
- Properties dari material akan menentukan temperatur peleburan (*melting point*) dari material itu sendiri.
- Ukuran geometri dari *part/product*
- *Chvorinov Rule*:

*Solidification time*/waktu pembekuan adalah fungsi dari volume *casting* berbanding dengan luas permukaan. . Pada Gambar 2.4 dan Gambar 2.5 merupakan karakteristik kekasaran permukaan yang sangat berpengaruh terhadap nilai fluiditas diambil dua buah sampel yaitu dari karakteristik permukaan cetakan pasir dan karakteristik permukaan logam Pada cetakan pasir waktu pembekuan di gambarkan pada Gambar 2.4, dapat dilihat bahwa pada cetakan pasir waktu pembekuan membentuk garis persamaan parabola sehingga dapat diformulasikan pada rumus:

$$t_s = C \cdot \left( \frac{V}{A} \right)^2 \dots\dots\dots (2.4)$$

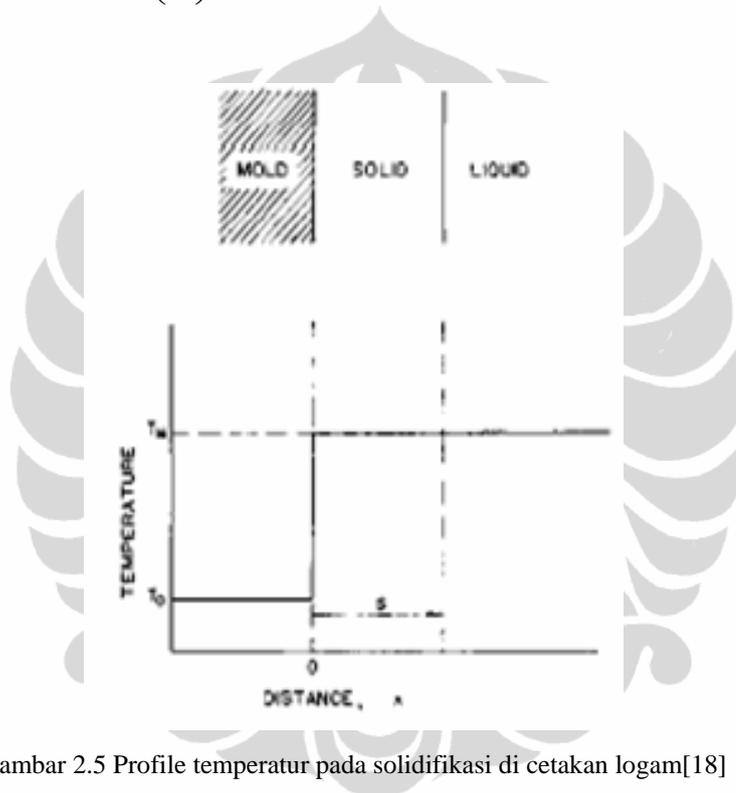
Dimana C adalah konstan yang merefleksikan kondisi material cetakan, properties dari material logam (termasuk panas latent) dan temperatur.



Gambar 2.4 Profile temperatur pada solidifikasi di cetakan pasir[18]

Pada Gambar 2.5 adalah profile temperatur di cetakan logam/*die casting*, dimana proses perpindahan panas berlangsung sangat cepat sebagai akibat nilai konduktivitas logam yang tinggi serta karakteristik permukaan yang halus, dilihat pula bahwa pola pembekuannya membentuk garis lurus, dan diformulasikan dengan rumus:

$$ts = C \cdot \left( \frac{V}{A} \right)^1 \dots\dots\dots(2.5)$$



Gambar 2.5 Profile temperatur pada solidifikasi di cetakan logam[18]

#### f) Aliran Fluida

Faktor ini dipengaruhi oleh;

- Derajat panas/*Temperatur Superheat*
- Ukuran geometri dari *part/product*
- Properties dari material (viskositas)
- Properties dari cetakan/ *mould*
- Persamaan kontinuitas:

Untuk cairan tidak mampu tekan dan di dalam suatu sistem dinding tertutup besar aliran, Q adalah konstan atau sama dalam semua titik di sistem tersebut.

$$Q = A_0.V_0 = A_1.V_1 \dots \dots \dots (2.6)$$

Dimana Q: debit aliran logam(m<sup>3</sup>/s), A: luas penampang(m<sup>2</sup>), dan V: kecepatan aliran logam cair(m/s). Angka nol (0) dan satu (1) menggambarkan dua lokasi yang berbeda dalam satu sistem.

- Persamaan Bernaulli:

Persamaan ini didasarkan pada prinsip konservasi energi yang berhubungan dengan tekanan, kecepatan, tinggi aliran fluida di dalam sistem, dan kehilangan/losses sebagai friksi/gesekan pada sistem cairan.

$$h + \frac{P}{\rho \cdot g} + \frac{v^2}{2 \cdot g} = \text{Constan} \dots \dots \dots (2.7)$$

dimana h adalah ketinggian dari titik referensi, P adalah tekanan, v adalah kecepatan aliran, ρ adalah kerapatan fluida (diassumsikan *incompressible*), dan g adalah gravitasi yang konstan. Dengan demikian hukum konservasi energi untuk dua lokasi yang berbeda adalah:

$$h_1 + \frac{P_1}{\rho \cdot g} + \frac{v_1^2}{2 \cdot g} = h_2 + \frac{P_2}{\rho \cdot g} + \frac{v_2^2}{2 \cdot g} \cdot f \dots \dots \dots (2.8)$$

Angka 1 dan 2 merepresentasikan dua lokasi yang berbeda, sedangkan f adalah kehilangan sebagai gaya gesek selama aliran logam mengalir di saluran. Gaya gesek ini termasuk faktor energi yang hilang sebagai adanya *interface* antara dinding cetakan dengan cairan logam dan juga akibat adanya aliran turbulen di cairan logam.

- Kecepatan aliran maksimum tanpa turbulensi.

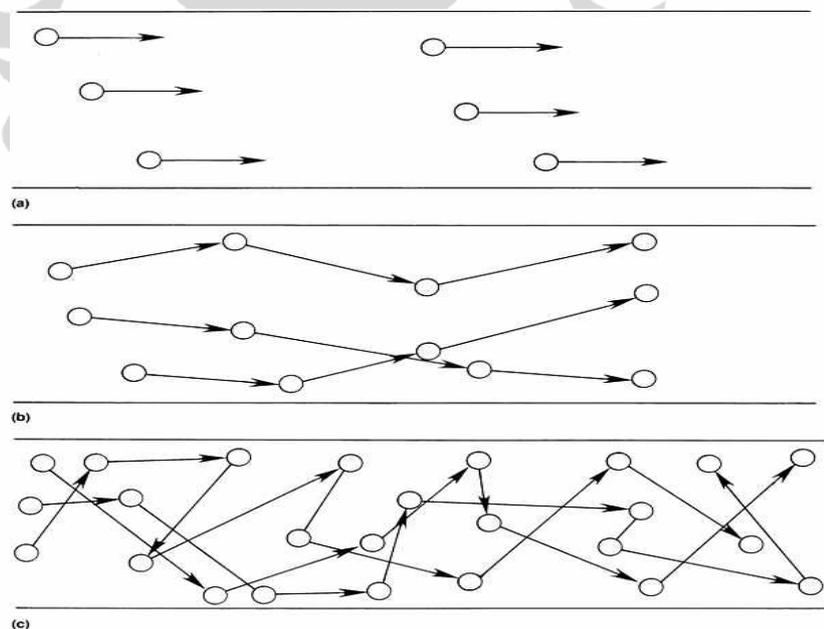
Aliran laminar merupakan kebalikan dari aliran turbulen, untuk menentukan karakteristik aliran ini apakah turbulen atau laminar ditentukan oleh *Reynold number* dapat dilihat pada Gambar 2.6 dan ditentukan dengan rumus: .

$$\text{Reynold Number: } Re = \frac{\rho \cdot v \cdot d}{\mu} \dots\dots\dots(2.9)$$

Dimana  $v$  adalah kecepatan aliran fluida,  $d$  adalah diameter saluran,  $\rho$  adalah kerapatan, dan  $\eta$  adalah viskositas dari cairan.

Adapun range karakteristiknya adalah:

- $Re < 2.000$  = aliran bersifat laminar, molekul logam cair bergerak dalam garis lurus tanpa turbulensi
- $2.000 < Re < 20.000$  = aliran bersifat campuran, terjadi pencampuran aliran dan sedikit turbulensi tetapi *boundary layer* tetap eksis di permukaan aliran sehingga mencegah terjadinya masuknya gas ke dalam aliran logam cair.
- $Re > 20.000$  = aliran bersifat turbulen, *boundary layer* di permukaan aliran rusak sehingga menyebabkan masuknya gas dari luar dan terbentuknya oksida karena logam cair bereaksi dengan gas. Akibat reaksi gas ini menghasilkan udara yang terjebak dan pembentukan formasi oksida /*dross*.



Gambar 2.6 Karakteristik aliran cairan logam: (a) Aliran laminar, (b) Aliran campuran, (c) Aliran turbulen [18]

## 2.4 PENGISIAN CETAKAN

Pada pembahasan ini dikonsentrasikan pada pengisian cairan logam ke dalam *cavity* cetakan. Sistem pengisian ini meskipun sesuatu hal yang amat sangat penting untuk menghasilkan kualitas pengecoran yang bagus, akan tetapi karena pengertian yang kurang hal, ini sering kali dilupakan, dengan konsekuensi terjadi efek yang mengakibatkan kerusakan pada produk. Sistem pengisian juga dikenal dengan *running system*, biasanya terdiri dari:

- *Pouring basin*
- *Downsprue*
- *Spruebase* atau *Well*
- *Horisontal runner bars* yang mengarahkan cairan logam menuju bagian paling belakang dari benda cor.
- *Ingates*, yaitu saluran masuk cairan logam ke dalam cetakan *mould cavity*

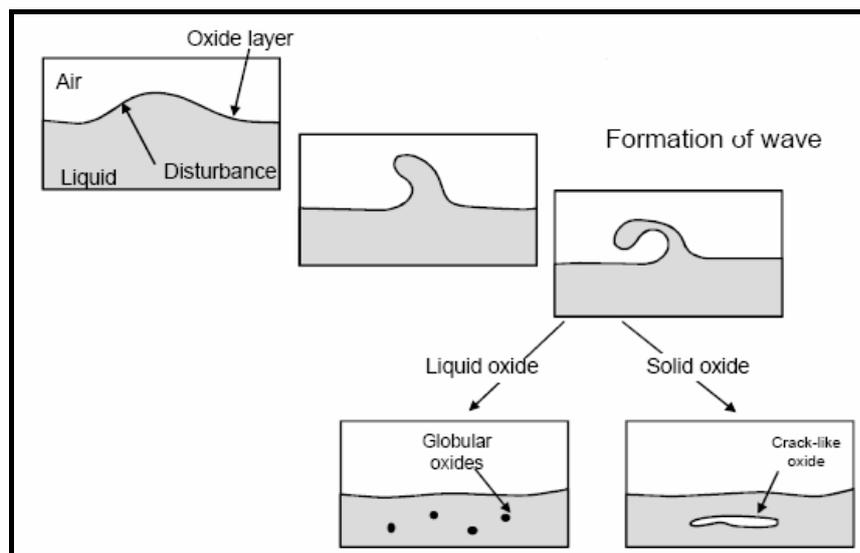
*Feeding system* yaitu sistem yang digunakan untuk mengkompensasikan *shrinkage* pada saat cairan logam membeku. Pada gambar terlihat ada dua *feeder* yaitu pada saluran atas (*filling basin*) dan di sebelah kanan yaitu *sprue*. Terkadang *filling* dan *feeding system* dapat dikombinasikan meskipun amat sulit mengkombinasikan dua fungsi tersebut dengan dua-duanya berjalan secara equal dengan baik. Perbedaan antara kedua fungsi tersebut (*filling & feeding system*) yaitu pada pengecoran typical kemungkinan hanya dibutuhkan ~10 detik untuk mengisi cetakan (*filling system*), akan tetapi *feeding system* akan berlangsung sekitar ~10 menit sampai cairan logam membeku. Akan dibahas *fillings system* terlebih dahulu dilanjutkan ke *feeding system*.

Hal yang diperhatikan pada aluminium casting adalah cairan logam harus secara perlahan lahan masuk ke dalam *cavity* melalui *gates* sampai ke bagian paling belakang dari cetakan. Hal ini sangat berbeda dengan pengecoran besi dimana cairan logam langsung dituangkan dari atas *cavity* tanpa mempedulikan *filling system*..

### 2.4.1 Formasi Oksida

Semua cairan logam mengalami oksidasi ketika bersentuhan dengan udara, akan tetapi produk oksidasi alami harus dipertimbangkan beberapa hal.

Contohnya oksida dari besi tuang kelabu membentuk *liquid silicate skin*, sedangkan aluminium dan beberapa logam membentuk *dry oxide skin*. Cairan logam aluminium sangat ekstrem dan efisien untuk mendapatkan oksigen dan suatu perhitungan menunjukkan bahwa tekanan vakum kurang dari  $10^{-40}$  atmosphere dapat mencegah pembentukan formasi lapisan oksida (adalah lebih baik vakum dilakukan pada kondisi seperti di luar angkasa)



Gambar 2.7 Turbulensi permukaan pada cairan logam[4]

Ketika logam dituangkan secara cepat ke cetakan menyebabkan aliran turbulen, hal ini merupakan hal yang tak terelakkan terbentuk sendiri suatu lipatan oksida film ketika antar oksida saling berhubungan (lihat gambar 2.7). Ketika logam membentuk semacam gelombang dan jatuh kembali berguling-guling, oksida film akan membentuk semacam goresan/*stretch* yang saling bersambungan ataupun putus-putus.

Pada kasus pengecoran besi tuang kelabu hal ini bukanlah menjadi hal yang serius karena lapisan silikat cair dapat bertemu dan bergabung kembali dengan baik, menggumpal dan membentuk *drophlet* yang akan mengapung dan keluar dari cairan logam dan tidak meninggalkan efek yang merugikan pada material. Hal ini sangat bertolak belakang ketika lapisan *film solid alumina* ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) pada cairan logam aluminium bertemu, antar lapisan oksida ini tidak bisa bergabung kembali akan tetapi membentuk semacam cacat *crack* sampai dengan

coran logam tersebut membeku. Hal ini mengakibatkan kelemahan mekanik logam cor yang mengakibatkan turunnya kekuatan ketika dibebani. Seperti halnya cacat *crack* hal ini menyebabkan masalah kebocoran ketika benda coran diisi dengan cairan ataupun gas. Pengecoran aluminium mempunyai serangkaian reputasi buruk dan cenderung mudah mengalami cacat kebocoran sebagai hasil dari proses pengisian yang jelek.

#### 2.4.2 Cacat Pengecoran

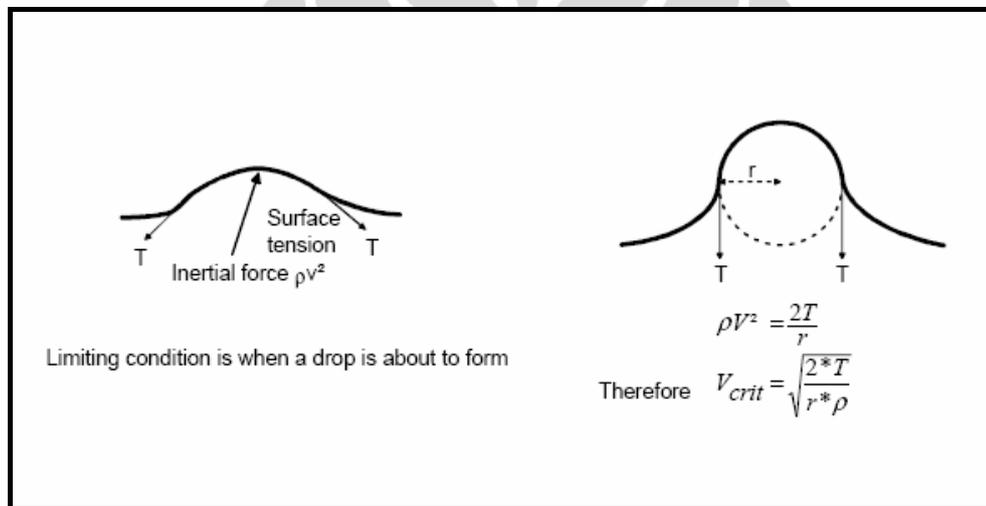
Proses pengecoran diproduksi dengan beberapa *feeder* untuk memasukan cairan logam ke dalam cetakan (untuk mengkompensasikan adanya *shrinkage* pada saat pembekuan). Pada saat proses penuangan ke dalam cetakan terjadi turbulensi yang mengarahkan terbentuknya formasi lapisan oksida yang terjebak di dalam cairan semacam labirin dan menciptakan semacam bidang *ektensive* yang menjadikanya suatu kelemahan secara mekanik.

Pada beberapa kasus cacat seperti ini dapat menyebabkan *crack* secara spontan kapan saja setelah pembekuan. Ketika cacat sepeerti ini ditemukan dilakukan suatu perbaikan untuk menghilangkan cacat *crack* dengan dilakukan pengelasan, akan tetapi panas yang ditimbulkan pada proses pengelasan ini dapat menyebabkan timbulnya *crack* baru. Berdasarkan pengalaman bahwa *crack* dapat merambat pada proses pengecoran.

Faktanya bahwa cacat yang dikarenakan oksida film menyebabkan produk coran gagal pada saat dilakukan *leakage test*, mengindikasikan bahwa cacat merembet dari satu sisi ke sisi yang lain/sisi dalam. Produk coran secara normal di test dengan memberikan tekanan udara ke dalamnya, kemudian di tenggelamkan ke dalam air sehingga akan terjadi suatu gelembung-gelembung udara jika terjadi kebocoran, kemudian diberikan suatu *seal* pada bagian yang porositas dan diberikan suatu *marking* pada permukaan *casting*. Demikian bahwa pada pengecoran logam aluminium penuangan tidak boleh dari atas dan dihindari proses pengisian cairan logam yang menyebabkan terbentuknya suatu oksida film.

**2.4.3. Kecepatan Kritis**

Pertama-tama dipertimbangkan pendekatan formasi turbulensi permukaan pada cairan logam. Pada Gambar 2.8 menunjukkan suatu potongan dari coran logam dimana terjadi gangguan kenaikan vertikal (*vertical rising disturbance*), yang menyebabkan mulainya terjadi gelombang membentuk tekanan dalam/*innertail pressure* dengan harga  $\rho \cdot V^2$ , dimana  $\rho$  adalah *density* cairan logam dan  $V$  kecepatan dari gangguan. Bentuk akhir dari gangguan berupa bentuk tetesan/*drophlet* dengan radius  $r$ , akan tetapi bentuk formasi tersebut tertahan oleh tegangan permukaan,  $T$ .



Gambar 2.8. Pembentukan turbulensi permukaan pada cairan logam [4]

Kondisi batas dimana gaya dalam/*innertial force* terkondisi seimbang dengan gaya pada tegangan permukaan:

$$\rho \cdot V^2 = \frac{2 \cdot T}{r} \dots\dots\dots (2.10)$$

Sehingga kecepatan kritis/*critical velocity*,  $V_{crit}$ , dapat dicari dengan:

$$V_{crit} = \sqrt{\frac{2T}{r \cdot \rho}} \dots\dots\dots (2.11)$$

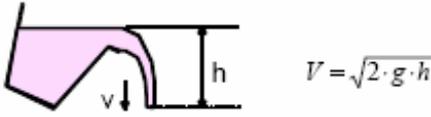
Sekarang dipertimbangkan harga kecepatan kritis tersebut ketika diaplikasikan pada logam aluminium.

$$V_{crit} = \sqrt{\frac{2 \cdot T}{r \cdot \rho}}$$

For aluminium  $T \sim 1\text{N/m}$   
 $\rho \sim 2500\text{kg/m}^3$   
 Assume  $r \sim 5\text{mm} = 0.005\text{m}$

$$\Rightarrow V_{crit} = 0.4\text{m/s}$$

Generally find that  $v_{crit} \sim 0.5\text{m/s}$  for most metals



The critical velocity is reached after a drop of:

$$h_{crit} = \frac{V_{crit}^2}{2 \cdot g} \approx 12.7\text{mm}$$

Gambar 2.9 Kecepatan kritis/Critical Velocity[4]

Harga tipikal dari aluminium cair: (lihat Gambar 2.9 )

$$T = 1 \text{ Nm}^{-1}$$

$$\rho = 2500 \text{ kg m}^{-3}$$

$$r = 5 \text{ mm} = 0.005 \text{ m (diassumsikan radius dari tetesan/droplet)}$$

Sehingga:

$$V_{crit} = 0,4 \text{ m s}^{-1}$$

Untuk menyederhanakan maka harga parameter ini diambil  $V_{crit}$  sekitar  $0,5 \text{ ms}^{-1}$  untuk aluminium dan kebanyakan cairan logam mempunyai kecenderungan harga  $V_{crit}$  yang sama, dengan *faktor ratio* 2. Hal ini dikarenakan kecenderungan kenaikan harga  $T$  seiring dengan kenaikan harga  $\rho$ , sehingga rasio  $T/\rho$  hampir sama antara logam yang satu dengan logam lainnya.

Harga  $V_{crit}$  diatas mengindikasikan kecepatan kritis logam cair di dalam cetakan, akan tetapi harganya dapat melebihi dikarenakan terbentuknya turbulensi yang menyebabkan permukaan logam terurai menjadi gelombang/*wave* dan *droplets*, sehingga terbentuknya cacat oksida film lebih cepat.

Kedaaan kecepatan kritis ini dapat dicapai digambarkan sebagai kondisi sederhana kesetimbangan energi (energi potensial dan energi kinetik) yang terjadi

ketika aliran cairan metal mengalir jatuh dari ketinggian  $h$ , dan kecepatan  $V$ , sehingga

$$V = \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \dots\dots\dots(2.12)$$

Dimana dari akselerasi kecepatan gravitasi, kombinasi dari persamaan (2.11) dan (2.12), didapatkan bahwa ketinggian penuangan kritis,  $h_{\text{kritis}}$  sebelum tercapai kecepatan kritis adalah sebesar:

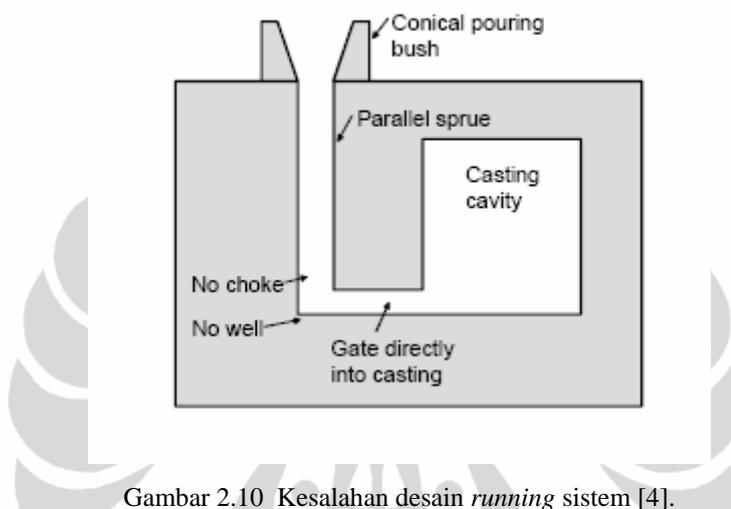
$$h_{\text{crit}} = \frac{V_{\text{crit}}^2}{2 \cdot g} = 12,7 \text{ mm}$$

Ketika  $V_{\text{crit}} \sim 0,5 \text{ msec}^{-1}$

Hal ini menunjukkan bahwa cairan logam aluminium mempunyai ketinggian penuangan hanya sebesar 12,7 mm sebelum terjadinya kecepatan kritis, jika lebih dari itu akan terjadi turbulensi pada permukaannya yang dapat menyebabkan cacat. Dari tinggi penuangan yang didapat sini dapat diambil suatu kesimpulan bahwa “Jangan pernah mungkin/*impossible* melakukan pengisian dari posisi atas” sehingga hanya memungkinkan melakukan pengisian dari bawah.

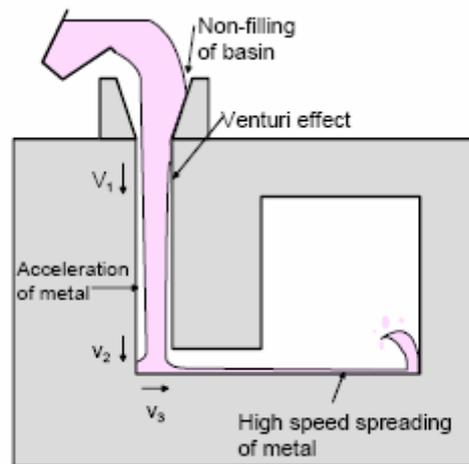
#### 2.4.4 Desain pengecoran/*Casting Design*.

Dipertimbangkan variasi elemen dalam *running system*, pertama-tama dibahas kesalahan *running system* (Gambar 2.10), dan hampir terjadi pada semua pengecoran. Pada bagian ini dibahas empat kesalahan dalam desain cetakan: yaitu *conical pouring bush*, *parallel sprue*, *no choke* dan *no runner bar*, dan metal langsung masuk ke *casting*. Selanjutnya akan dibahas satu-persatu efek dari kesalahan desain ini.



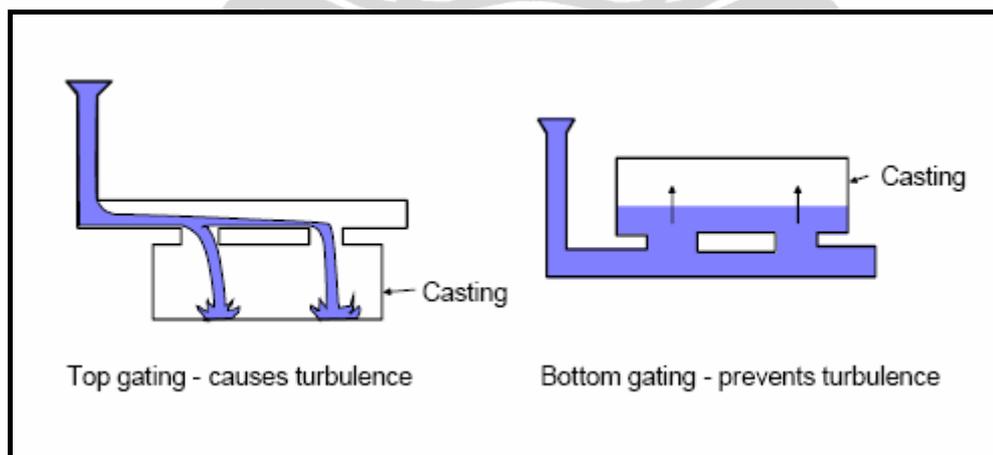
Gambar 2.10 Kesalahan desain *running* sistem [4].

Jika metal dituangkan langsung dari *ladle* ke dalam *conical pouring bush*, hal ini berakibat metal bergerak sangat cepat dari atas *sprue*. Cairan logam mempunyai kecepatan  $V_1$  ketika metal jatuh ke dalam cetakan dari ketinggian penuangan tertentu. Kesalahan desain cetakan diatas dikarenakan tidak ada efek perlambatan pada cairan metal. Cairan metal kemudian jatuh ke bawah di dalam *sprue*, dipercepat kecepatannya oleh kecepatan gravitasi kemudian mulai menyempit, dan mempunyai kecepatan  $V_2$  ketika sampai di ujung paling bawah cetakan. Dikarenakan tidak ada pengecilan/*choke* pada *pouring basin* maupun pada ujung bawah *sprue*, sehingga berakibat timbulnya *venturi effect* yaitu adanya udara terjebak dalam aliran logam baik itu pada dinding cetakan maupun pada *sprue* dan *pouring basin*, yang menciptakan kondisi pembentukan oksida logam.(Gambar 2.11)



Gambar 2.11 Hasil dari kesalahan desain *running* sistem [4].

Gambar 2.11 menunjukkan kesalahan yang sering terjadi, dimana cairan logam masuk dari atas *casting cavity* atau dari *top gating*. Disini terjadi kecepatan kritis dan menghasilkan turbulensi dan percikan yang merupakan penyebab oksidasi pada cairan logam. Teknik yang baik yaitu menggunakan *gating* dari bawah dimana cairan logam masuk dari bawah menuju ke atas, bahwa amatlah penting mengurangi batas kecepatan ketika cairan logam masuk ke dalam cetakan (Gambar 2.12).

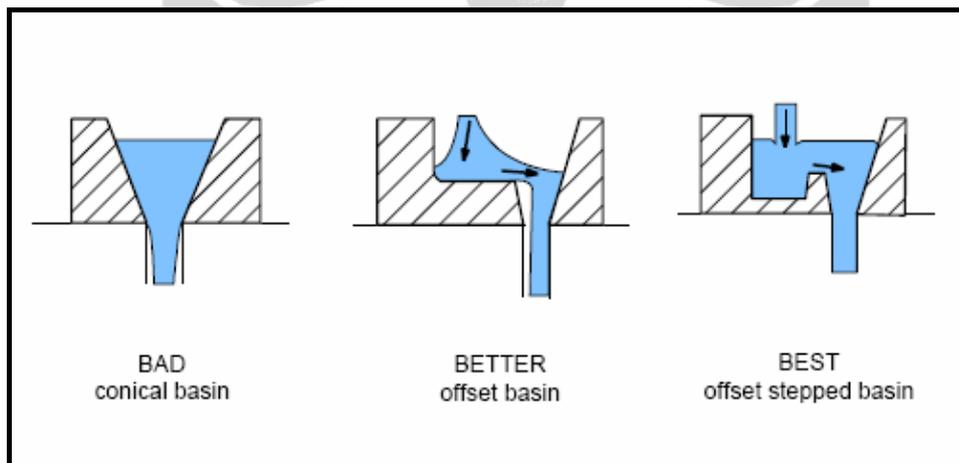


Gambar 2.12 *Top versus bottom gating*. [4]

Selanjutnya akan dibahas satu persatu per komponen beberapa hal yang tidak diijinkan terutama dalam desain *running system* dimulai dari *pouring basin* dan dilanjutkan dengan komponen yang lain.

### 2.4.5 Pouring Basin

Telah diketahui bahwa amatlah penting untuk menghindari penggunaan *conical pouring basin* dikarenakan tidak mengurangi kecepatan aliran logam dan juga penyebab terjadinya venturi efek, serta adanya udara yang terjebak/porositas. Perbaikan yang dilakukan adalah menggunakan *offset pouring basin* untuk membantu mengurangi kecepatan aliran logam sebelum masuk ke dalam *sprue*. Meskipun cairan logam masih mengalir pada kecepatan tinggi menyeberangi bagian atas *sprue*, menabrak titik terjauh *sprue*, dan ada kecenderungan cairan logam mengalir ke bawah hanya pada satu sisi *sprue* (Gambar 2.13). Desain yang baik dengan menambahkan satu *step* pada *basin* yaitu *offset stepped basin*. *Step* tersebut mengurangi gerakan paksa cairan logam dari atas dan membantu memastikan *basin* tersebut terisi secara penuh.



Gambar 2.13 Desain yang baik 1, *pouring basin*[4].

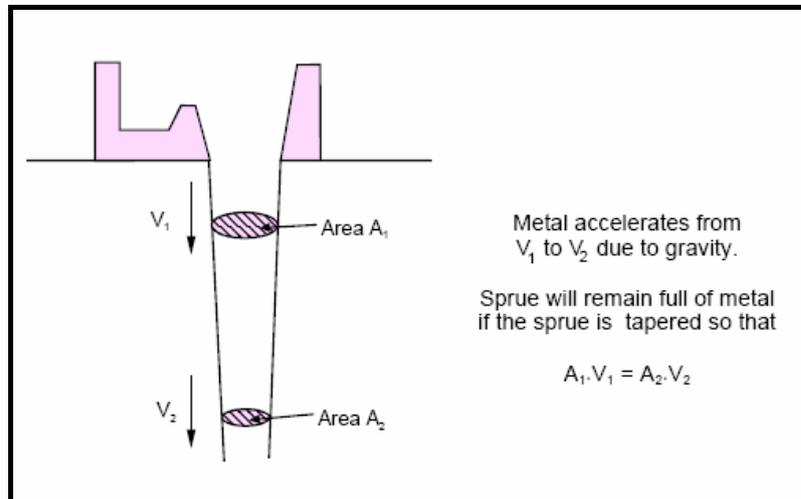
### 2.4.6 Tapered Sprue

Poin penting lainnya yaitu memastikan *tapered sprue* digunakan (Gambar 2.14). Aliran logam akan berakselerasi dari kecepatan  $V_1$  menjadi kecepatan  $V_2$  pada bagian dasar *sprue* dengan mempunyai luas penampang yang berkurang dari  $A_1$  ke  $A_2$ , sehingga dirumuskan:

$$A_1 \cdot V_1 = A_2 \cdot V_2 \dots\dots\dots(2.13)$$

*Tapered sprue* dapat dengan mudah tercetak pada cetakan *part-vertikal*, tetapi akan lebih sulit diproduksi pada cetakan *part-horisontal* karena pola *sprue*

harus ditaruh dari atas cetakan (jika pola *sprue* dari bawah tentu saja berakibat *sprue* otomatis salah mempunyai *negative taper*, yang berakibat merusak pada cairan logam ketika cairan logam masuk ke dalam cetakan).

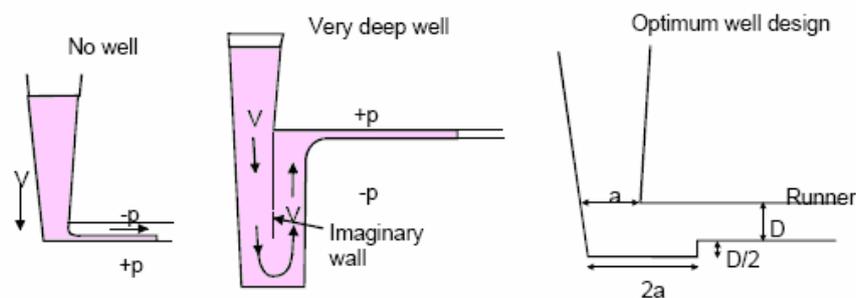


Gambar 2.14 Desain yang baik 2, *Tapered sprue*[4].

#### 2.4.7 Sprue Well

Tahap selanjutnya dalam mentransfer cairan logam dari *sprue* ke dalam *runner bar* melewati *sprue well* (disebut juga *sprue base*). *Sprue well* ini mempunyai fungsi penting antara lain:

1. Membantu mengurangi kecepatan aliran logam.
2. Menekan cairan logam yang pertama kali keluar dari *sprue*, dan mencegah percikan.
3. Membantu *runner bar* terisi sepenuhnya.



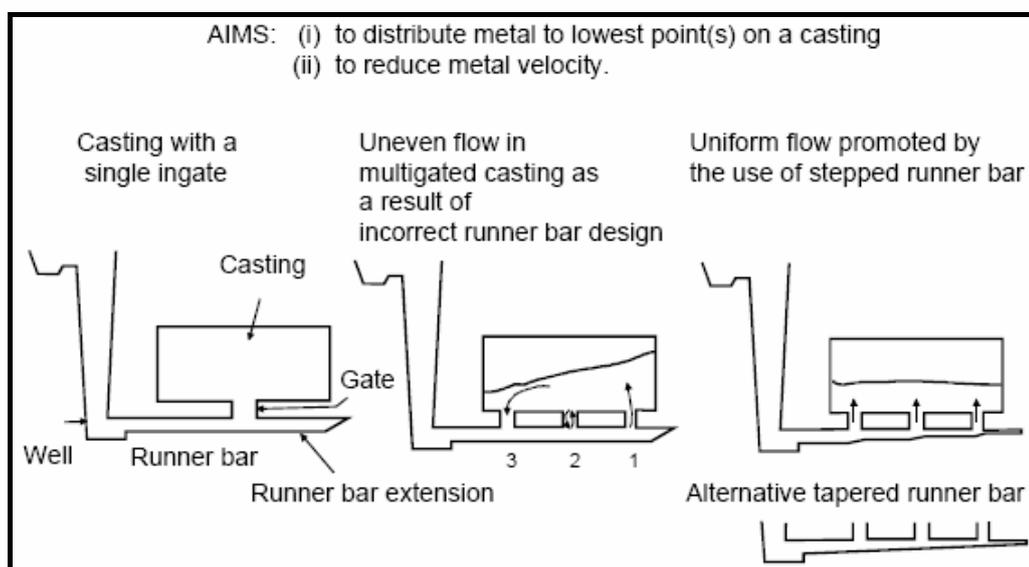
Gambar 2.15 Desain yang baik 3, *Sprue Well*[4].

Jika tidak ada *sprue well* jatuhnya cairan logam menghantam bagian bawah permukaan *runner bar* dengan kecepatan  $V$  dan menyebar ke seluruh permukaan *runner* (Gambar 2.15). Sehingga menghasilkan tekanan sebesar  $+p$  pada bagian bawah dan diimbangi dengan tekanan negatif sebesar  $-p$  pada bagian atas *runner bar*. Hal ini memberikan kecenderungan terjebakny udara antara cetakan dengan cairan logam yang mengakibatkan oksidasi pada logam.

Sekarang dipertimbangkan kasus *hypothetical* pada *well* yang sangat dalam, yaitu cairan logam jatuh mencapai bagian dalam *well* dan kemudian balik lagi keatas pada sisi yang lain tanpa ada pertemuan dengan cairan logam yang jatuh. Jika diassumsikan tidak ada energi yang hilang karena gesekan, ketika cairan logam balik lagi keatas ke bagaian *runner*, kecepatan akan balik kembali sebesar  $V$ , sama dengan ketika masuk ke dalam *sprue*. Kemudian cairan logam masuk ke dalam *runner bar* dan menyebar seluruhnya, menghasilkan tekanan sebesar  $+P$  pada bagian atas dan  $-P$  pada bagian bawah. Disimpulkan bahwa dengan *well* yang sangat dalam merupakan kebalikan dari distribusi dan tekanan cairan logam tanpa menggunakan *well*.

Beberapa percobaan mengindikasikan bahwa *intermediate well* akan menuju ke netral atau dicari kecenderungan cairan logam mengisi luas penampang *runner bar* dan menghasilkan tekanan yang seimbang pada bagian atas dan bawah *runner bar*. Percobaan terbaru menyarankan bahwa desain optimum *well* dengan dalam sebesar  $D$  sampai dengan  $D/2$ , ketika  $D$  adalah dalam *runner bar*. *Well* harus mempunyai lebar sebesar  $2.a$ , dimana  $a$  adalah diameter pada bagian bawah *sprue*.

### 2.4.8 Runner Bar dan Gates



Gambar 2.16 Desain yang baik 4, *Runner Bars* dan *Gates*[4].

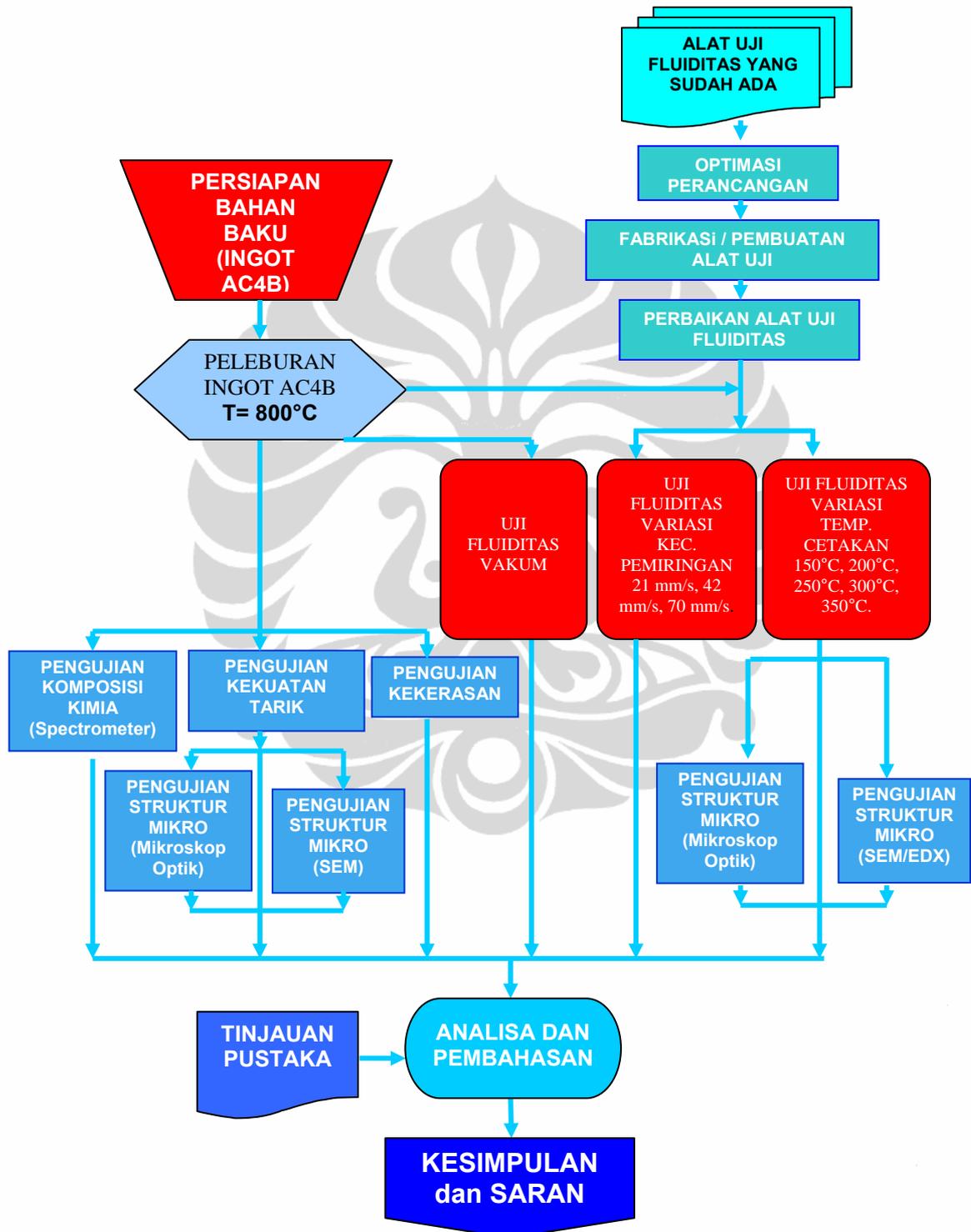
*Well* harus merupakan bagian paling bawah pada sistem *casting* dan sistem *filling*, dan selanjutnya cairan logam akan mengalir menuju keatasnya. (Gambar 2.16). Hal yang perlu dipikirkan adalah bagaimana caranya cairan logam dapat mengalir dalam *casting* lewat *runner*, dan bagaimana mempertahankan kecepatan tetap rendah untuk menghindari turbulensi permukaan.

Dalam beberapa *casting* hanya satu *gate* yang dibutuhkan, *runner bar* bisa dibuat paralel dalam beberapa saluran, dibuat agar cairan logam dapat mengalir dari *sprue* base keatas, lewat *runner* dan *gate* menuju ke benda coran. Pada prakteknya dengan membuat *runner bar* tambahan yang dapat dipergunakan untuk menerima logam yang pertama kali dituang ke dalam cetakan yang sering kali mengandung banyak gelembung udara dan partikel kotoran.

Hal lain yang memungkinkan dengan menambahkan dua atau lebih *gates*, dan *runner bar* harus bertahap untuk mencari cairan yang berimbang antara keduanya. Jika hal ini tidak dilakukan ada kemungkinan *gates* yang pertama kali terisi menjadi *superheated* sedangkan *gates* yang pada bagian ujung yang lain telah dingin, selain itu juga untuk mencegah efek turbulensi. Pada beberapa kasus *gates* dapat pula diruncingkan.

## BAB III METODE PENELITIAN

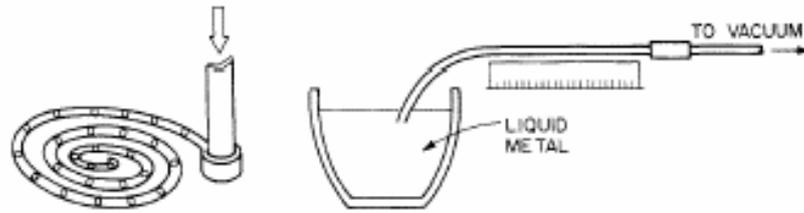
### 3.1 DIAGRAM ALIR PENELITIAN



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

### 3.2 ALAT UJI FLUIDITAS YANG SUDAH ADA

Pada intinya pengujian fluiditas terdiri dari dua tipe sistem pokok yaitu: a) sistem vakum, dan b) sistem gravitasi spiral. Beberapa ahli telah melakukan penelitian menambahkan beberapa alat/metode untuk penyempurnaan kedua alat fluiditas tersebut.

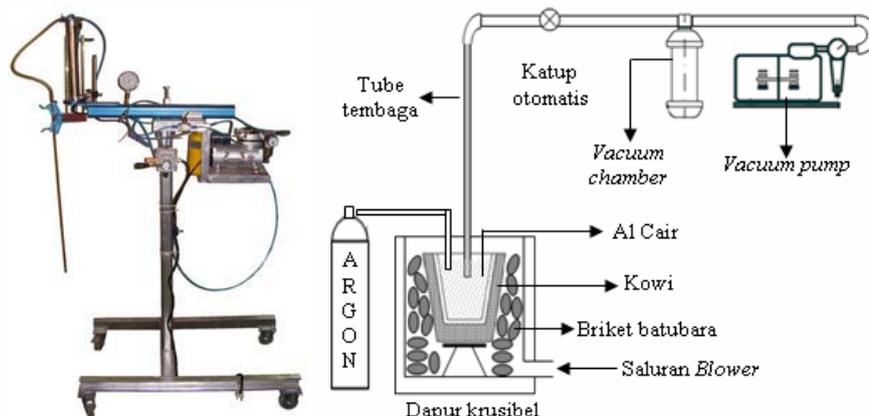


Gambar 3.2 a) Test fluiditas dengan sistem gravitasi spiral; b) Test fluiditas dengan sistem vakum

#### 3.2.1 Alat Uji Fluiditas Vakum[19]

Alat uji fluiditas vakum(Gambar 3.3) terdiri atas dua sistem, yaitu:

1. Sistem vakum, yang berfungsi untuk memberikan tekanan vakum tertentu ( $8 \text{ kg/inchi}^2$ ) ke dalam pipa tembaga yang dibangkitkan melalui generator vakum. Tekanan ini dijaga oleh *vacuum chamber* yang telah dikalibrasi melalui *pressure calibration method*, sebelum dialirkan ke suatu batang yang memiliki katup otomatis.
2. Sistem kontrol pergerakan, dibangkitkan oleh kompresor yang akan menggerakkan piston sehingga pipa tembaga dapat naik-turun dengan stabil.



Gambar 3.3 Alat uji fluiditas vakum [19]

Pengambilan sampel dilakukan secara semi-otomatis dimana piston akan menurunkan pipa tembaga ke dalam kowi. Dengan menekan tuas pada alat uji fluiditas vakum, pipa tembaga yang telah dipasang akan bergerak turun dengan bantuan hidrolis. Saat pipa mencapai bawah dan masuk ke dalam aluminium cair, sensor pada alat tersebut tertekan dan vakum akan menghisap logam cair dengan tekanan yang telah diatur. Proses penghisapan ini dibuat konstan hanya dalam waktu 3 detik untuk setiap sampel. Panjang fluiditas dapat terlihat secara visual dengan melihat jejak oksidasi yang berwarna hitam keabuan di sepanjang pipa tembaga.

Kemudian pada beberapa *tube* (tabung) hasil pengujian fluiditas dilakukan pengambilan sampel untuk karakterisasi mikrostruktur seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.4



Gambar 3.4 Hasil pengujian fluiditas vakum

### 3.2.2. Alat Uji Fluiditas Gravitasi Spiral [3]

Versi pertama peralatan yang dapat dipergunakan sebagai bahan pertimbangan dalam suatu setting standar pada pengujian gravitasi spiral terdiri dari *pouring basin*, *sprue* dengan empat persegi yang diratakan di bagian *cope* dan *single spiral cavity* di bagian *drag*. Cetakan spiral dibuat dari cetakan pasir *quarsa* dengan rata-rata besar butir 0,15 mm. Cetakan dibuat secara manual dengan bantuan perekat *phenolic (alphaset)*. *Spiral Archimedian* mempunyai luas penampang  $4 \times 10 \text{ mm}^2$ , terdiri dari 3,5 putaran dan mempunyai panjang maksimum 1,2 m dengan spiral pada ujungnya berventilasi. Cairan logam dituang secara manual dari dapur ke *pouring basin* secara manual dengan menggunakan *ladle*. Temperatur logam diukur pada *ladle* menggunakan termokopel (tipe - K,  $\pm 1^\circ\text{C}$  akurasi) sebelum dituang di *pouring basin*. Tujuan yang ingin di dapat adalah

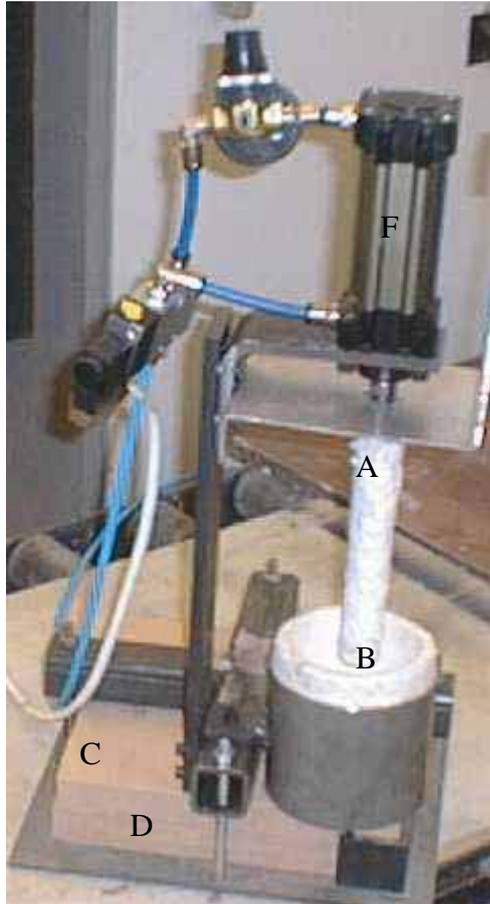
untuk menuangkan logam cair ke dalam *basin* secepat mungkin dan untuk mengisi *basin* secara penuh, selain untuk mendapatkan tekanan *initial metallostatic head* yang sama pada aliran logam cair.



Gambar 3.5 Alat uji fluiditas gravitasi spiral (*original methode*) [3]

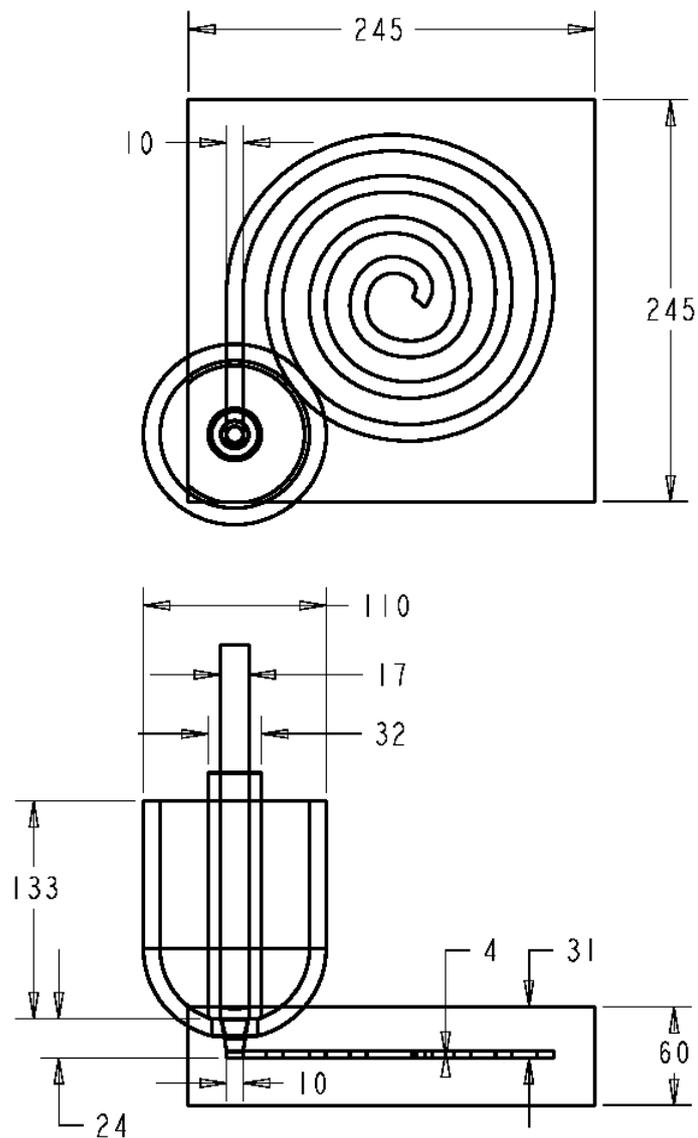
### 3.2.3 Metode Baru Alat Uji Fluiditas Gravitasi Casting pada Cetakan Pasir [3]

Metode baru terdiri dari *gating system*, *stopper rod* yang dihubungkan dengan silinder pneumatis, dan cetakan pasir *kuarsa* dengan besar butir 0,15 mm. *Gating sytem* terdiri atas *pouring cup* (diameter dalam 90 mm dan tinggi 133 mm) dan dengan *short circular tapered sprue*. Cetakan dibuat dengan sistem dingin dan terdiri atas *cope* berupa cetakan pasir datar dan *drag* berupa bentuk *single spiral archimedian*. Kedua cetakan (*cope & drag*) disatukan dengan menggunakan empat buah *clamp* logam. *Cope* mempunyai lobang ventilasi pada ujung *cavity spiral* (diameter 1,8 mm). *Spiral archimidian* mempunyai luas penampang  $4 \times 10 \text{ mm}^2$ , terdiri dari 3,5 putaran dengan panjang maksimum 1,2 m. Di lokasi tertentu (35 mm dari *gating system*) di dalam *pouring cup* yang telah diisolasi dipasang termokopel yang telah dikalibrasi (tipe - K,  $\pm 1^\circ\text{C}$  akurasi) dihubungkan dengan komputer data akuisisi dan sistem kontrol.



Gambar 3.6 Komponen utama metode baru: *Stopper Rod* (A); *pouring cup*(B); *cope*(C); *drag*(D); *metallic clamps* (E); *pneumatic cylinder*(F) [3].

Pergerakan *stopper rod* membuka bagian bawah *pouring cup* dan secara otomatis membuka gerbang spiral ketika cairan logam mencapai temperatur yang diinginkan. Silinder pneumatis dikontrol oleh komputer bergerak linear berakibat membuka dan menutupnya *stopper rod*. *Stopper* berupa silinder graphit yang ditutup dengan *insulating tube* untuk mencegah perambatan panas pada metal. *Pouring cup*, *insulating tube cover* dan cetakan pasir terdapat pada setiap spiral. Cetakan pasir dan *pouring crucible* tanpa pemanasan (*preheated*) dan tetap dijaga pada temperatur kamar.



SCALE 0.300

Gambar 3.7 Equipment baru: a) *Plan view of pouring cup* b) pandangan samping stopper rod dan sand mold [3]

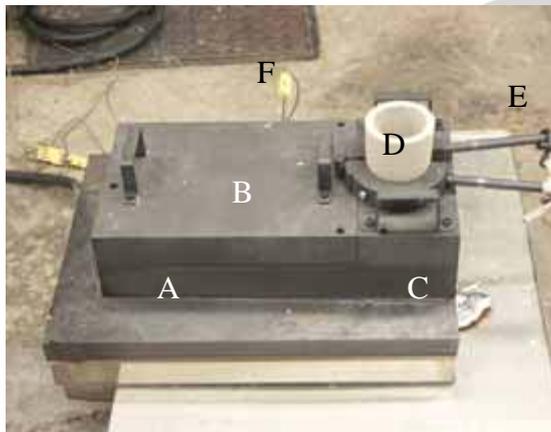
### 3.2.4 Experimental Procedure and Taguchi Design [20]

Gambar 3.8 di bawah ini menunjukkan cetakan yang digunakan untuk studi fluiditas, yang terdiri dari komponen-komponen sebagai berikut:

- *Drag*, terdiri dari lima saluran (*fingers*) yang mempunyai luas penampang dan panjang yang berbeda.

- *Cope* merupakan cetakan datar.
- *Gating system* terpisah menjadi dua silinder
- *Kalpur<sup>TM</sup> sleeve held, in place by E clamp ring*

Cetakan fluiditas diletakan di atas plat pemanas dimaksudkan untuk pemanasan awal/*pre-heated* cetakan dan sebagai kontrol temperatur pada cetakan selama percobaan. Temperatur cetakan diukur oleh termokopel tipe - K yang telah dikalibrasi di bagian tengah *drag*.



Gambar 3.8 a) Komponen utama cetakan fluiditas[20]:

- (A) *Drag*,
- (B) *Cope*,
- (C) *Gating system split in two semi cylinder*,
- (D) *Kalpur sleeve held in place by E clamp ring*,
- (F) *Thermocouple*



Gambar 38 b) Cetakan yang terbuka dan sampel dari test fluiditas [20]

### 3.3 OPTIMASI PERANCANGAN, BAHAN, DAN ALAT PENELITIAN

#### 3.3.1 Optimasi Perancangan

Versi perbaikan peralatan alat uji terdiri dari *gating system*. *Gating system* terdiri dari *pouring cup* dan *short circular tapered sprue*. Logam cair dituangkan ke dalam *pouring cup* dengan cara manual menggunakan *ladle*, dikarenakan posisi *pouring cup* diatas cetakan untuk menuangkan ke dalam *sprue* cetakan seluruhnya dimiringkan dengan menggunakan mekanisme penggerak motor listrik/silinder pneumatis. Tujuan yang ingin di dapat dari metode ini adalah sedapat mungkin mengurangi tinggi penuangan (*head pouring*). Hal ini dikarenakan pada aluminium *head* penuangan yang tinggi akan berpengaruh pada kecepatan aliran logam yang nantinya akan berpengaruh pula pada formasi turbulensi permukaan, yang berpengaruh terhadap timbulnya cacat. Tujuan dari *head* yang sependek mungkin adalah mencegah aliran logam membentuk formasi turbulensi permukaan.

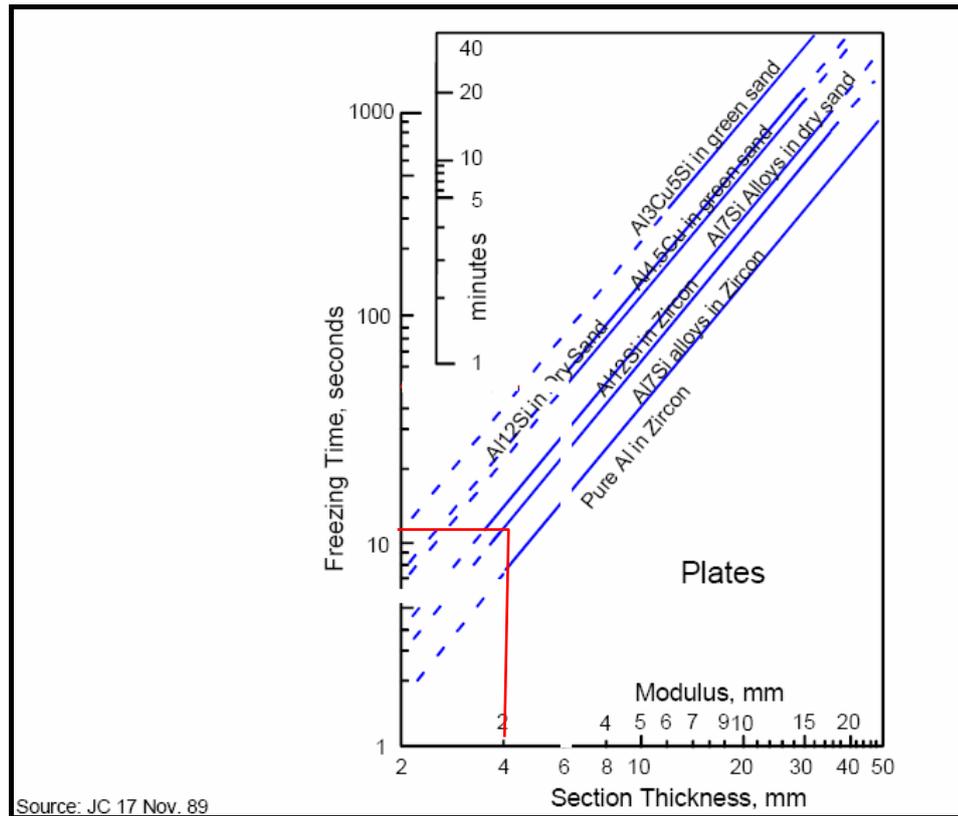
Cetakan dibuat dari logam(SKD 61) terdiri dari *cope* (cetakan datar pada bagian atas) dan *drag* (Bentuk *single straight line*). Kedua cetakan (*cope & drag*) disatukan dengan menggunakan 8 (delapan) buah baut pengikat. Cetakan atas/*cope* mempunyai lobang ventilasi pada ujung *cavity*(panjang 1,0 mm). *Straight line* mempunyai luas penampang 4 x 10 mm<sup>2</sup>, dengan panjang maksimum 1,0 m. Di dalam cetakan pada sisi cetakan atas (*cope*) dipasang *heater*/pemanas untuk pengontrolan suhu di dalam cetakan. Termokopel yang telah dikalibrasi (tipe - K, ± 1°C akurasi) digunakan untuk mengukur temperatur cairan di dalam cetakan atas (*cope*). Tujuan dari pengontrolan suhu cetakan ini adalah untuk mengetahui pengaruh suhu cetakan terhadap fluiditas, dalam hal ini terhadap titik pembekuan (*solidus point*)

### 3.3.2 Desain *Running System* dengan menggunakan Nomogram

Nomogram merupakan cara yang paling mudah dan paling praktis dalam mendesain suatu *running system*. Gambar 3.10 menunjukkan sebuah nomogram yang digunakan untuk mendesain *running system* pada pengecoran aluminium, dengan menganggap bahwa kecepatan masuk *ingate* maksimum tidak melebihi  $250 \text{ mm s}^{-1}$ . Nilai ini merupakan setengah dari kecepatan kritis/*critical velocity* ( $500 \text{ mm s}^{-1}$ ) dengan sudah menganggap termasuk margin untuk angka keamanan

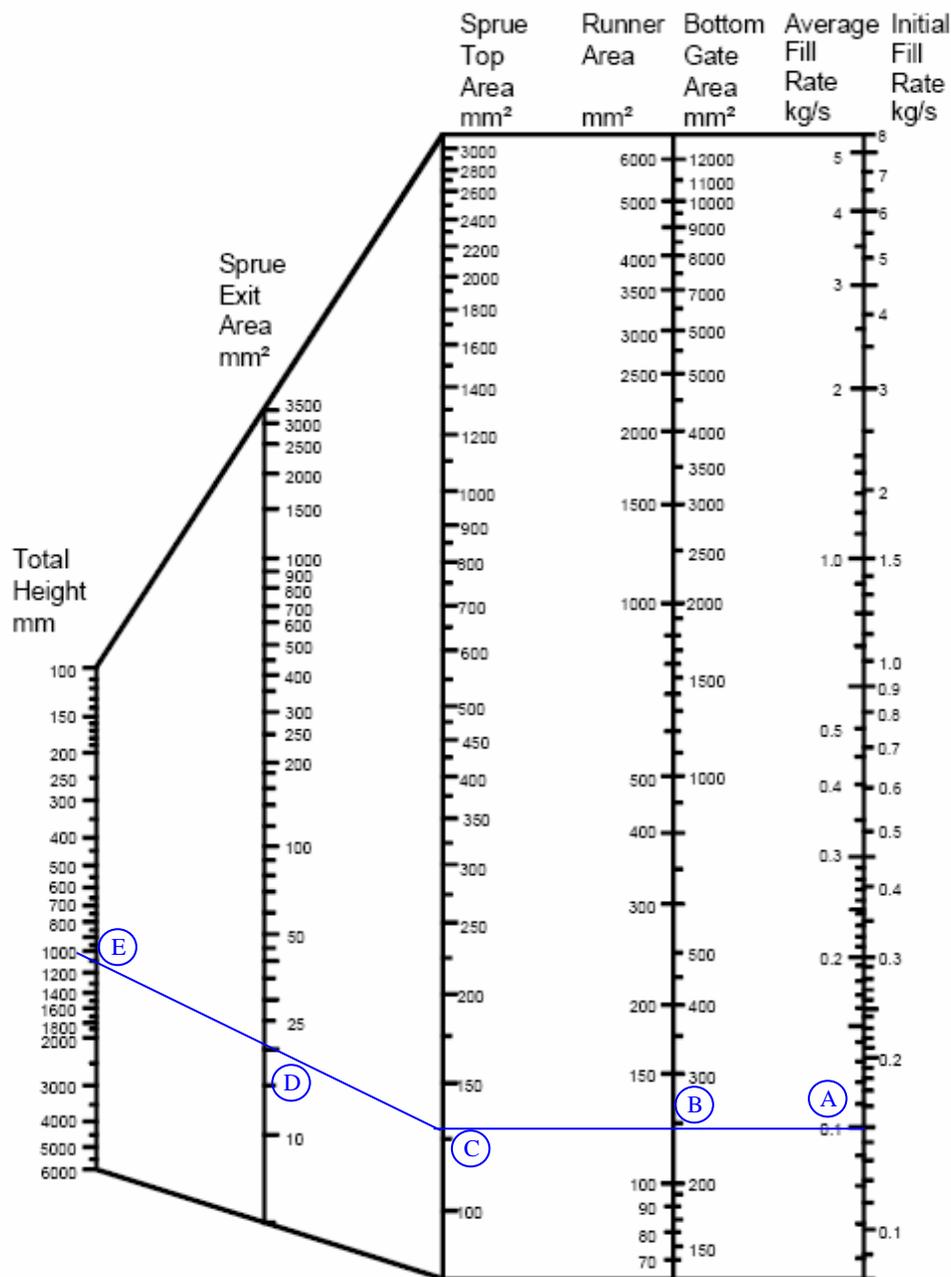
Pembacaan pada bagian sebelah kanan nomogram dan berpindah ke bagian sebelah kiri. Hal pertama dibutuhkan adalah mengkalkulasikan *average filling rate*. Berat dari *casting* diperkirakan 0,6 kg, sedangkan berat dari *running system* belum diketahui, dan hanya diketahui setelah desainnya selesai. Estimasi berat awalnya 0,4 kg, sehingga dapat memberikan berat total 1 kg. Selanjutnya diseleksi waktu yang dibutuhkan aluminium cair untuk mengisi cetakan. Hal ini tidak mudah dan umumnya didasarkan pada pengalaman, dalam studi diasumsikan bahwa waktu yang diperlukan adalah 10 detik, sehingga memberikan *average filling rate*/ rata-rata pengisian  $0,1 \text{ kg s}^{-1}$ .

Pendekatan lain untuk memprediksi waktu solidifikasi dengan menggunakan ketebalan dari produk casting dan dibantu dengan diagram pada Gambar 3.9 sebagai panduan untuk memilih waktu pengisian (*filling time*). Gambar 3.9 mengilustrasikan bahwa ketebalan produk casting sebesar 4 mm diproduksi dari  $\text{Al}_{12}\text{Si}$  alloy di *Zircon mould* mempunyai waktu solidifikasi sebesar 12 detik. Untuk mengakomodasi faktor kesalahan waktu penuangan ditentukan lebih rendah dari nilai diatas, yaitu 10 detik.



Gambar 3.9 Pemilihan waktu pengisian/filling time [4].

Kembali ke nomogram, Pada Gambar 3.10, dengan data diatas dapat ditentukan waktu pengisian rata-rata / *average filling time* sebesar  $0,1 \text{ kg s}^{-1}$  pada bagian kanan (titik A nomogram). Dari titik A ditarik garis horisontal hingga memotong garis/sumbu vertikal pada titik B, dimana dititik B ini diketahui *gate area* – jika diinginkan satu *gate* maka total areanya sebesar  $250 \text{ mm}^2$ . Pada titik perpotongan yang sama dapat ditemukan *runner area* sebesar  $125 \text{ mm}^2$  (titik C). Dari luas *runner area* ditentukan dimensi aktual sebesar  $12 \times 10 \text{ mm}$ . Pada titik perpotongan selanjutnya, yaitu titik D yang memberikan luas pada bagian atas/*top sprue* sebesar  $125 \text{ mm}^2$  sehingga dapat ditentukan dimensinya sebesar  $11 \times 11 \text{ mm}$  untuk *sprue* bujur sangkar/ *square sprue* atau sebesar  $12 \text{ mm}$  diameter untuk *round sprue/ sprue* bulat.



Gambar 3.10 Penentuan dimensi *gating sistem* dengan nomogram [4].

Kemudian ditentukan tinggi *sprue* berdasarkan ketinggian *casting* dan ketebalan cetakan pada bagian atas *casting*. Pada nomogram (gambar 3.10) dapat ditarik garis miring pada titik D dan titik E sehingga diperoleh titik F yang merupakan ketinggian dari *sprue* sebesar 1000 mm. Pada titik E dapat dilihat *sprue exit area* sebesar  $20 \text{ mm}^2$ , sehingga dapat ditentukan dimensinya  $4,5 \times 4,5 \text{ mm}$  untuk *sprue persegi/ square sprue* atau 5 mm diameter untuk *sprue bulat/ round sprue*.

### 3.3.3 Desain *Running System* dengan menggunakan Perhitungan[21]

Material: Paduan Aluminium AC4B

Temperatur tuang: 800° C

Cetakan: Logam/ Metal/SKD 61

- Perhitungan luas saluran *in gate* [21]

$$D_2 = 3 \cdot t = 3 \times 4 = 12 \text{ mm}$$

$$W_2 = 0,8 D_2 = 0,8 \times 12 = 9,6 \text{ mm}$$

$$A = 0,8 t = 0,8 \times 4 = 3,2 \text{ mm}$$

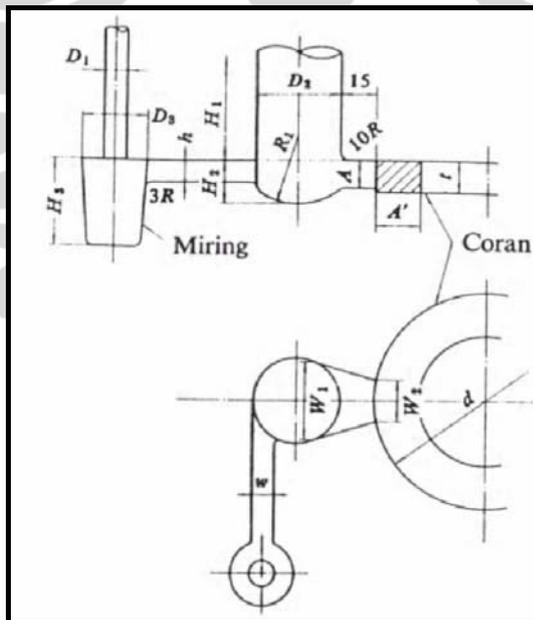
$$\text{Luas saluran } a_1 = n \cdot W_2 \cdot A = 1 \times 9,6 \times 3,2 = 30,72 \text{ mm}^2$$

- Perhitungan *sprue ; runner ; in gate* [21]

$$\text{Ratio Sprue ; runner ; in gate} = 1 : 2 : 2$$

$$a_{\text{sprue}} = 0,5 \times a_1 = 0,5 \times 30,72 = 15,36 \text{ mm}^2$$

$$a_{\text{runner}} = a_{\text{in gate}} = 30,72 \text{ mm}^2$$



Gambar 3.11 Ukuran saluran penambah [21]

Keterangan: 'n = jumlah saluran *in gate*

't = tebal coran

- Perhitungan dimensi *runner* [21]

$$h = (a_{\text{runner}}/0,8)^{0,5} = (30,72/0,8)^{0,5} = 61,96 \text{ mm} \sim 7 \text{ cm}$$

$$w = 0,8 \times h = 49,5 \text{ mm} \sim 5 \text{ cm}$$

- Perhitungan dimensi *sprue*[21]

$$D_1 = (4 \times a_{\text{sprue}}/\pi)^{0,5} = (4 \times 15,36/3,14)^{0,5} = 4,42 \text{ mm} \sim 5 \text{ mm}$$

- Perhitungan saluran bawah:

$$D_3 = 3 D_1$$

$$D_3 = 3 \times 5 = 15 \text{ mm}$$

$$H_3 = 2 \times D_3 = 6 \times D_1 = 6 \times 5 = 30 \text{ mm}$$

- Perhitungan tinggi *sprue*

$$D_1 = 4,42 \text{ mm}$$

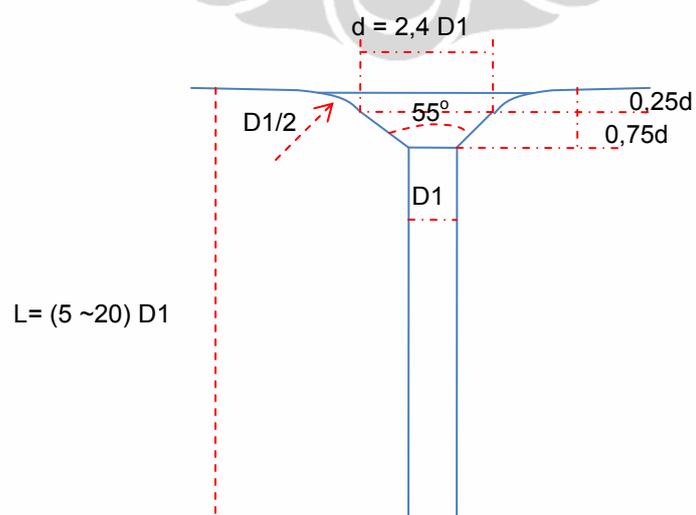
$$L = 20 * D_1$$

$$= 20 * 4,42 \text{ mm} = 88,4 \text{ mm} \sim 9 \text{ cm}$$

- Perhitungan dimensi *basin* [21]

$$\text{Tinggi basin} = 0,25 d + 0,75 d$$

$$d = 2,4 D_1 = 2,4 \times 4,42 = 10,608 \text{ mm}$$



Gambar 3.12 Ukuran *pouring basin* [21]

$$\begin{aligned} \text{Diameter luar basin} &= d + D_1/2 + D_1/2 \\ &= d + D_1 = 3,4 D_1 = 3,4 \times 4,42 \\ &= 15,028 \text{ mm} \sim 16 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Volume *pouring cup*:

$$\begin{aligned} \text{Volume I} &= p \times l \times t \\ &= 1000 \times 4 \text{ mm} \times 10 \text{ mm} = 40000 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

- Volume II = *luas alas x t*  

$$\begin{aligned} &= (\pi \cdot r^2) \times h \\ &= (\pi \cdot 7,5^2) \times 30 = 5298,75 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

- Volume III = *luas alas x t*  

$$\begin{aligned} &= (\pi \cdot r^2) \times h \\ &= (\pi \cdot 5^2) \times 95 = 7457,52 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

- Total Volume = Volume I + Volume II + Volume III  

$$= 40000 + 5298,75 + 7457,52 = 52756,25 \text{ mm}^3$$

- Volume Total = Volume  $\frac{1}{2}$  Bola  

$$52756,25 \text{ mm}^3 = \frac{1}{2} \times \text{Volume Bola}$$

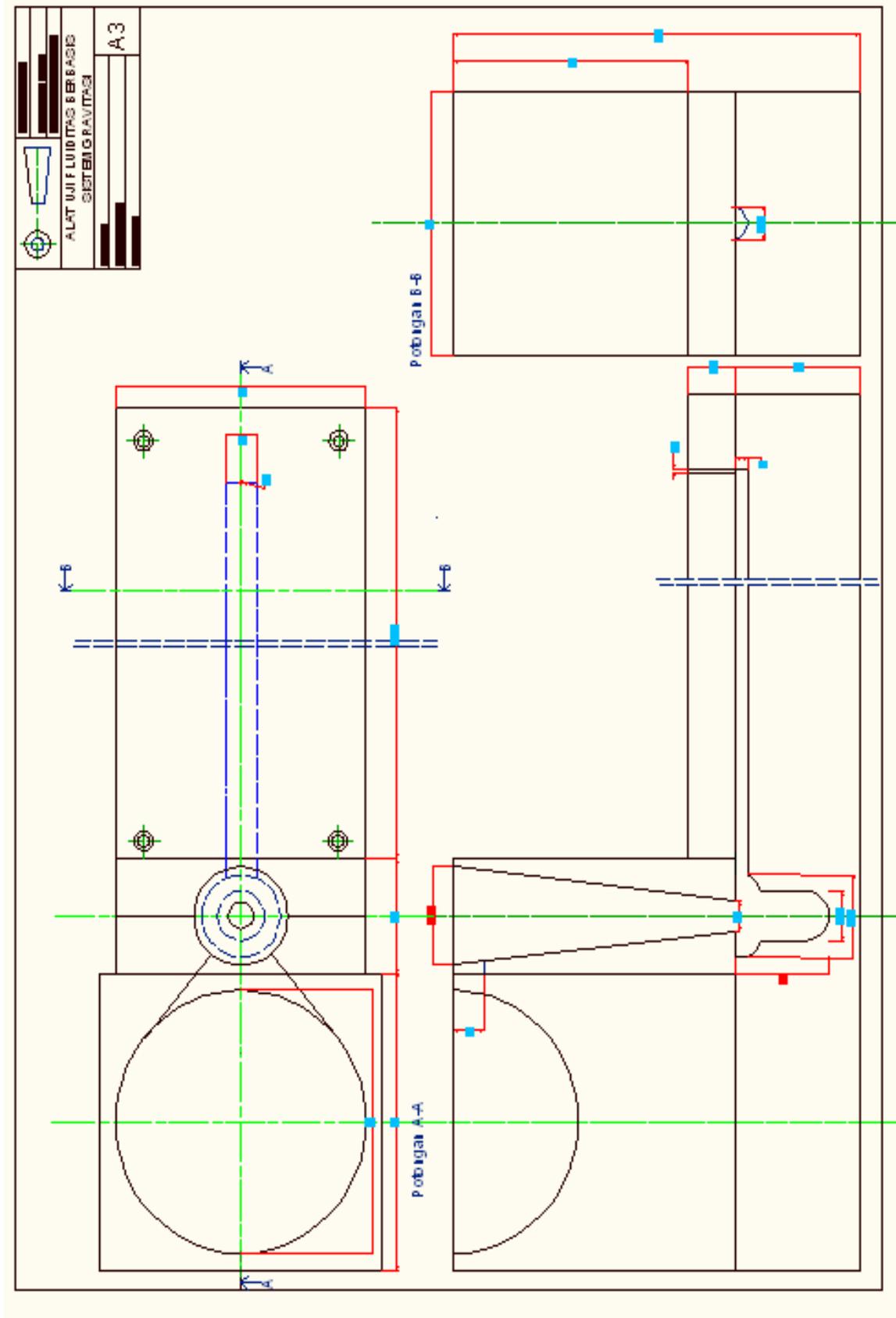
$$105512,5 = \left(\frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3\right)$$

$$r^3 = 25202,03$$

$$r = 29,3 \text{ mm}$$

$$d = 58,63 \sim 6 \text{ cm}$$

Dari perhitungan diatas diwujudkan dalam suatu desain cetakan sebagai berikut:



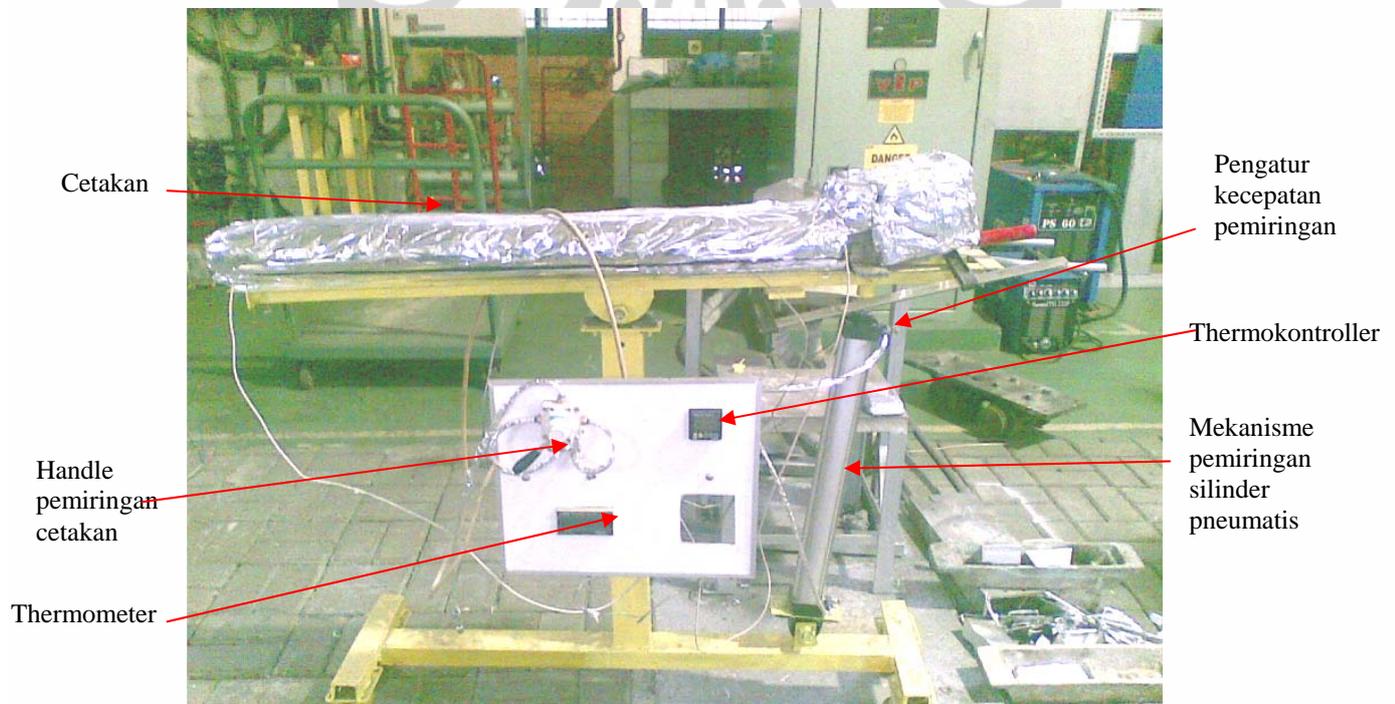
Gambar 3.13 Desain cetakan alat uji fluiditas gravitasi

### 3.4 PENGUJIAN FLUIDITAS

#### 3.4.1 Peralatan

Peralatan yang digunakan saat melakukan pengujian mampu alir (fluiditas) paduan aluminium Silikon(AC 4B), yaitu sebagai berikut:

1. Dapur peleburan tipe *krusibel* dan *blower*
2. Kowi (kapasitas 1400 gr aluminium), merek salamander.
3. Termokopel untuk mengukur temperatur (tipe *fix & portable digital*)
4. Alat uji fluiditas gravitasi, terdiri dari:
  - Mekanisme pemiringan menggunakan silinder pneumatis
  - Cetakan alat uji
  - *Termokontroller* berikut dengan termokopel
5. *Plunger*, tang penjepit, dan sendok besi
6. Gerinda dan gergaji besi
7. Penggaris 100 cm dan spidol permanen
8. Peralatan keselamatan (masker dan sarung tangan)



Gambar 3.14 Alat uji fluiditas gravitasi

Peralatan yang digunakan saat melakukan pengujian pengamatan sampel paduan aluminium Silikon(AC 4B), yaitu sebagai berikut:

1. Mesin Gerinda
2. Mesin amplas
3. Mesin poles
4. *Scanning Electron Microscope*(SEM) dan EDX

### 3.4.2 Bahan Baku

Bahan yang digunakan untuk melakukan pengujian mampu alir (fluiditas) paduan aluminium silicon(AC4B), yaitu sebagai berikut:

1. Ingot paduan aluminium silikon (AC4B)
2. *Flux coverall*
3. *Thermal coating/Zircon*
4. Kertas amplas, kain poles
5. *Resin dan hardener*
6. Zat etsa HF(Hidrogen Flourida) 0,5 %



Gambar 3.15 Ingot aluminium paduan AC4B

### 3.4.3 Proses Peleburan

Proses peleburan dilakukan dengan menggunakan dapur krusibel dengan pemanas listrik yang dilakukan sebanyak 30 kali. Bejana (kowi) yang digunakan terbuat dari bahan refraktori dengan kapasitas  $\pm 1400$  gram aluminium cair. Sebelum digunakan untuk melebur aluminium, dapur krusible, cetakan, dan

peralatan lain yang digunakan diberikan *thermal coating* (Zircon) untuk menjaga umur peralatan tersebut dan agar aluminium yang telah melebur tidak melekat pada peralatan.



Gambar 3.16 Proses *coating* cetakan menggunakan zircon



Gambar 3.17 Hasil proses *coating* zircon

*Furnance* kemudian disiapkan, setelah dapur cukup panas, material aluminium silikon (AC4B) yang telah dipotong-potong dan ditimbang sebelumnya, sedikit demi sedikit dimasukkan dalam bejana (kowi) hingga mencair. Adapun *input* untuk *charging* material terdiri dari ingot murni aluminium silikoan (AC4B) dari kapasitas total bejana (kowi) yaitu sebanyak 1400 gram.



Gambar 3.18 Proses peleburan

#### 3.4.4 Proses *Fluxing*

Setelah seluruh material paduan aluminium tersebut akan mencair seluruhnya, kemudian ditaburkan *cover flux* ke atas permukaan aluminium cair yang berada di dalam bejana. Tujuannya adalah mengikat kotoran-kotoran berupa oksida-oksida dan pengotor lainnya yang terdapat di dalam aluminium cair. Sebelum ditambahkan *flux* dipanaskan terlebih dahulu untuk mengurangi kandungan air sehingga tidak terjadi percikan logam aluminium ketika ditambahkan. Kotoran yang telah berikatan dengan *fluxing agent* dibuang dengan cara *drossing* di permukaan aluminium dengan menggunakan sendok plat besi yang telah di-*coating* dan selanjutnya dibuang.

Gambar 3.19 Proses *fluxing*.

### 3.4.5 Pengujian Untuk Uji Coba Alat Uji Fluiditas

Setelah aluminium mencair, temperturnya diperiksa dan diteliti kembali dengan temperatur tuang berkisar 800°C. Setelah temperatur tuang didapatkan kemudian dilakukan *tapping*/ pengambilan aluminum cair dari dapur dan dituang ke dalam kowi cetakan. Temperatur cetakan/*mould* yang diinginkan untuk pengujian ini adalah pada temperatur 150°C, 200°C, 250°C, 300°C, 350°C, dengan berjumlah 5 sampel. Setelah sampel membeku, cetakan kemudian dibuka untuk mengambil cetakan dan ditutup kembali untuk penuangan berikutnya.



Gambar 3.20 Proses Penuangan cairan logam ke alat uji fluiditas

Dikarenakan proses pembukaan cetakan untuk mengambil sampel dan karena temperatur luar maka umumnya ada pada range  $\pm 10^\circ\text{C}$  dari temperatur yang diinginkan. Temperatur dapat diketahui dari alat termometer yang dihubungkan dengan termokopel (*tipe fix* pada alat uji dan *portable digital*) seperti pada Gambar 3.21. Pada masing- masing temperatur cetakan sampel diambil sebanyak 5 kali sampel dan rata-rata untuk mendapatkan nilai yang mewakili. Pada pengujian pertama ini cetakan tetap dalam posisi mendatar/horisontal.



Gambar 3.21 Termokontroller, termokopel fix & portable.

Selain itu pengujian juga dilakukan dengan memiringkan cetakan sehingga aluminium cair yang sudah dituang di dalam kowi dapat mengalir ke dalam celah-celah dalam cetakan. Pada proses pemiringan ini diambil 3 kecepatan yang berbeda untuk mendapatkan kecepatan penuangan/pemiringan yang optimal. Pada masing-masing kecepatan diambil sebanyak 5 kali sampel untuk mendapatkan nilai yang mewakili.

### 3.4.6 Proses Pengamatan dan Pengambilan Sampel Uji Fluiditas

Pengukuran nilai fluiditas suatu sampel dilakukan dengan mengukur panjang hasil produk/sampel yang sudah jadi dengan menggunakan penggaris. Panjang dari sampel yang diukur merupakan hasil nilai fluiditas yang dicatat.



Gambar 3.22 Proses pengukuran hasil alat uji fluiditas.

Untuk menjelaskan tingkat kepercayaan/reliabilitas data pengujian beberapa parameter dan persamaan perhitungan yang digunakan beberapa rumus statistik[22]. Tingkat kecenderungan persebaran data terhadap nilai rata-rata disebut variasi atau dispersi. Beberapa pengukuran untuk menghitung variasi atau dispersi adalah *range*, *mean/average*, dan standar deviasi.

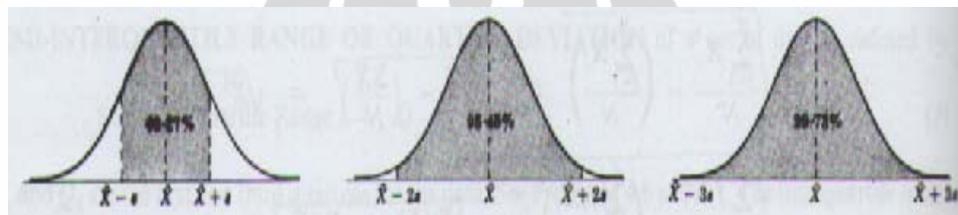
- (i) Harga *range*

*Range* adalah jarak antara atau perbedaan nilai terbesar dengan nilai terkecil dari satu set data sampel.

- (ii) Harga nilai tengah/*mean/average*

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \dots\dots\dots(3.1)$$

Dimana  $\bar{x}$  adalah *average/mean* dari sejumlah data dari nilai terkecil  $i$  data sampai dengan nilai terbesar  $n$ , dibagi dengan jumlah data  $n$ . Dari suatu distribusi, hal yang paling dipertanyakan adalah berapa persentase sampel yang berada di daerah yang dibatasi oleh simpangan baku/ standar deviasi:  $-1s$  dan  $+1s$  mencakup luas  $2 \times 0,3413 = 0,6826$  atau menggambarkan sebaran dari 68,26% sampel; sebaran yang berada dalam daerah  $-2s$  dan  $+2s$  mencakup  $2 \times 0,4772 = 0,9544$  atau mencakup 95,44%; dan antara  $-3s$  dan  $+3s$  mencakup  $2 \times 0,4987 = 0,9974$  atau mencakup 99,74% sampel (Gambar 3.23).



Gambar 3.23 Sebaran standard deviasi.

(iii) Standard deviasi

$$s = \left( \frac{1}{n} \sum_i^n (x_i - \bar{x})^2 \right)^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots(3.2)$$

Dimana  $s$  adalah standar deviasi dari sampel,  $\bar{x}$  adalah *average/mean*,  $i$  adalah data nilai terkecil, dan  $n$  adalah jumlah data/sampel.

(iv) *Absolute dispersion, relative dispersion, dan coefficient of dispersion*

Absolute dispersion adalah variasi aktual yang ditentukan dari standar deviasi atau pengukuran variasi lainnya. Namun variasi atau dispersi 1 meter dari pengukuran jarak 1000 meter akanlah sangat berbeda, dibandingkan dengan variasi 1 meter dari pengukuran jarak 20 meter. Pengukuran perbedaan tersebut dinyatakan sebagai *relative dispersion* dengan rumus:

$$Relative\ Dispersion = \frac{Absolute\ Dispersion}{Average} \dots\dots\dots (3.3)$$

Jika *absolute dispersion* disebut sebagai standar deviasi  $s$  dan rata-rata disebut sebagai *mean*  $\bar{x}$ , *relative dispersion* dapat disebut sebagai

*coefficient of variation* atau disebut sebagai *coefficient of dispersion* dimana secara umum dinyatakan dengan satuan persentase dan didefinisikan dengan rumus:

$$\text{Coefficient of Variation} = V = \frac{s}{x} \dots\dots\dots(3.4)$$

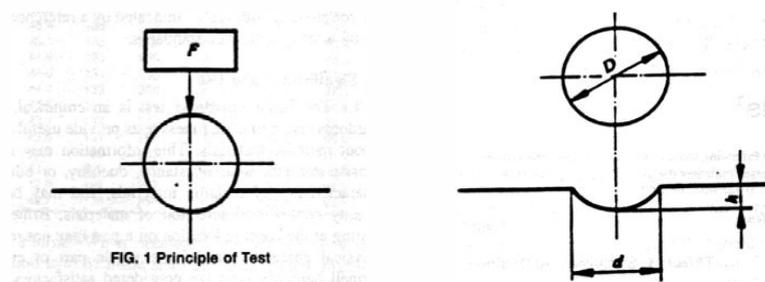
### 3.5 TAHAP VERIFIKASI ALAT UJI FLUIDITAS

Proses verifikasi dilakukan dengan membandingkan antara hasil uji fluiditas dengan hasil beberapa pengujian terhadap ingot Aluminium AC4B meliputi:

- Pengujian kekerasan
- Pengujian kekuatan tarik
- Pengujian komposisi kimia
- Pengamatan struktur mikro dengan Mikroskop Optik
- Pengamatan struktur mikro dengan SEM dan EDX

#### 3.5.1 Pengujian Kekerasan

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui tingkat kekerasan dari spesimen hasil percobaan untuk masing-masing perlakuan dan kondisi tertentu dengan menggunakan standart (ASTM E18-07). Pengujian yang dilakukan dengan kekerasan makro tersebut menggunakan metode Rockwell. Pada pengujian ini, pengujian dilakukan terhadap material ingot setelah mengalami proses peleburan dan dituang dan dicetak dalam suatu bentuk cetakan, nilai kekerasan suatu bahan ditentukan dengan diameter jejak dari *indenter* pada specimen (gambar 3.24)



Gambar 3.24. Simbol penetrator alat uji kekerasan

Keterangan simbol-simbol:

No.	Simbol	Keterangan
1	D	Diameter bola baja (mm)
2	F	Beban tekan (kgf)
3	D	Diameter rata-rata tapak penetrator (mm)
4	HRB*	Nilai keras Rockwell B, (kg/mm <sup>2</sup> )
5	T	Waktu pembebanan (detik)
6	H	Kedalaman maksimum bekas penetrasi (mm)

\* simbol keras Rockwell dicantumkan dengan tulisan HR.  
 - Indeks pertama menunjukkan diameter penetrator bola  
 - Indeks kedua menunjukkan diameter beban tekan  
 - Indeks ketiga menunjukkan waktu pembebanan

Mesin uji yang digunakan adalah alat uji kekerasan Rockwell brand: "Rocky", dengan indenter bola baja dengan  $D=1/16"$  dan pembebanan untuk HRB  $P=100$  kg. Pengujian didasarkan pada standar ASTM E18-07. Pengujian dengan metode Rockwell merupakan pengujian dimana hasil atau nilai kekerasan dari spesimen dapat langsung dilihat pada mesin uji. Pengujian dilakukan di Laboratorium Metalurgi. Simbol dari *penetrator Rockwell* dapat dilihat pada Gambar 3.24, sedangkan Gambar 3.25 adalah mesin uji Rockwell yang sedang digunakan untuk pengujian. Untuk posisi penekanan daerah pengujian yang dilakukan, ditunjukkan pada Gambar 3.26.



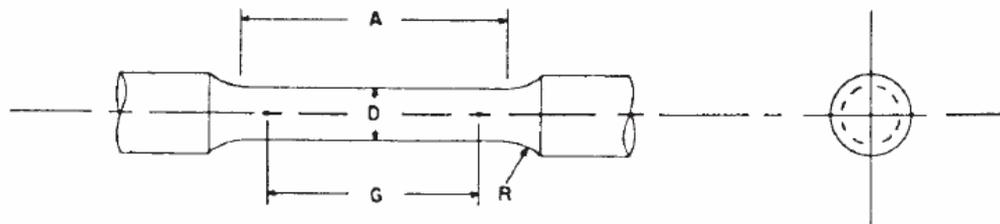
Gambar 3.25. Mesin uji Rockwell dengan benda kerja.



Gambar 3.26. Daerah bekas penetrator pada sampel

### 3.5.2 Pengujian Tarik

Pengujian tarik ini dilakukan dengan menggunakan alat uji tarik di Laboratorium Metallurgi dengan menggunakan mesin uji tarik "Servopulser Shimadzu" dengan kapasitas 20 Ton. Material Aluminium AC4B dituang dalam satu cetakan kemudian dipotong-potong dalam arah memanjang. Kemudian dilakukan preparasi sampel menggunakan mesin bubut dengan ukuran benda uji adalah seperti diperlihatkan pada gambar 3.27 sampai dengan gambar 3.29.



Specimen type	D ( mm)	A ( mm)	R (mm)	G (mm)
1	12,7	75	5	50,8

Gambar. 3.27 Ukuran Specimen untuk uji tarik



Gambar 3.28 Proses pengujian tarik



Gambar 3.29 Sampel uji tarik dan hasil patahan uji tarik

### 3.5.3 Pengujian Analisa Kimia dengan Spektrometer

Pengujian analisa kimia yang akan dilakukan adalah dengan menggunakan *spectrometer*, dimana sampel dipotong dengan ukuran terkecil kira-kira 25 x 25mm. Pengujian ini untuk mengetahui komposisi dan jenis inklusi dan mengetahui klasifikasi standar material aluminium AC4B yang digunakan. Hasil pengujian komposisi ini dibandingkan dengan JIS H5202-1978

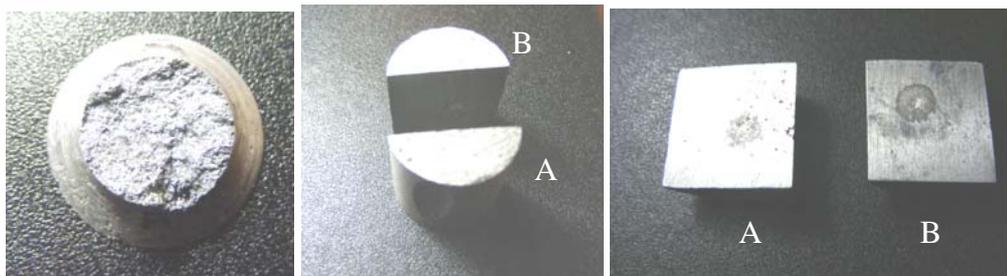
Aluminium cair yang telah dituang ke dalam cetakan alat uji fluiditas setelah membeku untuk sampel pengujian komposisi kimia dan pengamatan mikrostruktur. Pengujian untuk memastikan komposisi kimia aluminium yang

diuji telah sesuai dengan standar aluminium AC4B. Sebelum pengujian dilakukan permukaan sampel harus difrais terlebih dahulu untuk mendapatkan permukaan yang rata dan halus. Kemudian sampel diuji dengan alat *optical emission spectrometer* pada temperatur 40°C.



Gambar 3.30 Alat Uji Spektrometer

Pengujian dilakukan di Balai Laboratorium LIPI Puspitek Serpong menggunakan mesin spektrometer "Fisons." Sampel yang diuji merupakan material bekas uji tarik, dimana terlihat lobang-lobang *porous*/keropos pada salah satu sisinya. Sampel kemudian dipotong melintang dengan gergaji untuk memisahkan material yang *berporus*/keropos dan yang tidak keropos. Kedua material tersebut kita uji *spectrometer* untuk mengetahui komposisi antara material yang berporous dengan yang tidak (gambar 3.30 dan gambar 3.31).



Gambar 3.31 Proses pemotongan dan pengujian spektrometer

### 3.5.4 Pengamatan Mikrostruktur Menggunakan Mikroskop Optik

Hasil dari pengujian ini bertujuan untuk mengetahui bentuk dari struktur mikro, fasa-fasa sampel untuk masing-masing kondisi dengan mikroskop optik. Pengujian dilakukan terhadap dua jenis sampel yaitu terhadap material bekas uji tarik dan material bekas uji fluiditas.



Gambar 3.32 Mikroskop optik

Untuk material bekas uji tarik, material langsung diletakan di bawah mikroskop optik, sedangkan untuk material bekas uji fluiditas melalui tahap tahap pengujian sebagai berikut :

1. Pemotongan sampel sesuai kebutuhan dengan menggunakan gergaji tangan dan mesin pemotong.
2. *Mounting* sampel dicetak pada cetakan plastik berbentuk bulat dengan menggunakan resin dan katalis/*hardener* dengan tujuan agar mudah melakukan pengerjaan pada saat melakukan penggerindaan dan pemolesan.
3. Pengampelasan dan poles, yaitu dengan menggosok sampel pada mesin poles dengan kertas amplas mulai dari ukuran: # 80, 120, 240, 400, 600, 800, 1000, 1200,1500 sampai permukaan sampel rata dan orientasinya

searah dan posisi pemolesan harus diubah-ubah, karena bila tidak, maka pada hasil foto akan terlihat ”ekor tikus”. Setelah itu sampel dipoles dengan menggunakan larutan alumina berukuran 3, 1 dan 0,05  $\mu\text{m}$ . Hasil tersebut kemudian dietsa dengan larutan HF 0,5 % + Alkohol 70% + Aqua 100 ml. Pengamatan yang dilakukan dengan pembesaran sekitar 100x.

Selanjutnya dari hasil foto metalografi tersebut dipilih beberapa sampel yang akan di uji dengan menggunakan SEM- EDX

### 3.5.5 Pengamatan Struktur Mikro Menggunakan SEM dan EDX

Tahapan pengujian struktur mikro didasarkan pada standard persiapan dan pengamatan metalografi pada ASTM E 3-80(1980)[11]. Tahapan persiapan tersebut adalah sebagai berikut:

#### 1. *Mounting*

Proses *mounting* bertujuan untuk menempatkan sampel pada suatu media, untuk memudahkan penanganan sampel yang berukuran kecil dan tidak beraturan tanpa merusak sampel. Media *mounting* yang digunakan berupa *resin* dan *hardener* yang diletakan terlebih dahulu di cetakan sebelum diletakan sampel. Untuk mempersingkat proses preparasi dalam satu mounting berisikan 3(tiga) buah sampel.



Gambar 3.33 Sampel hasil alat uji fluiditas setelah dilakukan mounting

## 2. Pengamplasan (*Grinding*)

Pengamplasan dilakukan dengan menggunakan kertas amplas dengan amplas nomor grid #360, #400, #600, #800, #1000, dan #1500, yang dilakukan secara bertahap dimulai dari amplas dengan nomor grid paling kecil (kasar) ke nomor grid yang besar (halus). Proses pengamplasan dilakukan dengan dialiri air yang bertujuan untuk menghindari panas akibat gesekan permukaan sampel dengan amplas dan untuk membuang geram hasil pengamplasan agar tidak menggores permukaan sampel. Proses pengamplasan ini bertujuan untuk mendapatkan kehalusan permukaan dan menghilangkan goresan-goresan kasar pada permukaan sampel.



Gambar 3.34 Mesin Pengamplas & Poles

## 3. Pemolesan (*Polishing*)

Sampel yang permukannya telah halus dan rata kemudian akan dipoles dengan menggunakan mesin pemoles dan zat poles  $\text{TiO}_2$ . Proses ini dilakukan setelah pengamplasan dengan tujuan untuk menghilangkan goresan-goresan akibat pengamplasan, sehingga didapatkan permukaan yang lebih halus dan mengkilap.

## 4. Etsa (*Etching*)

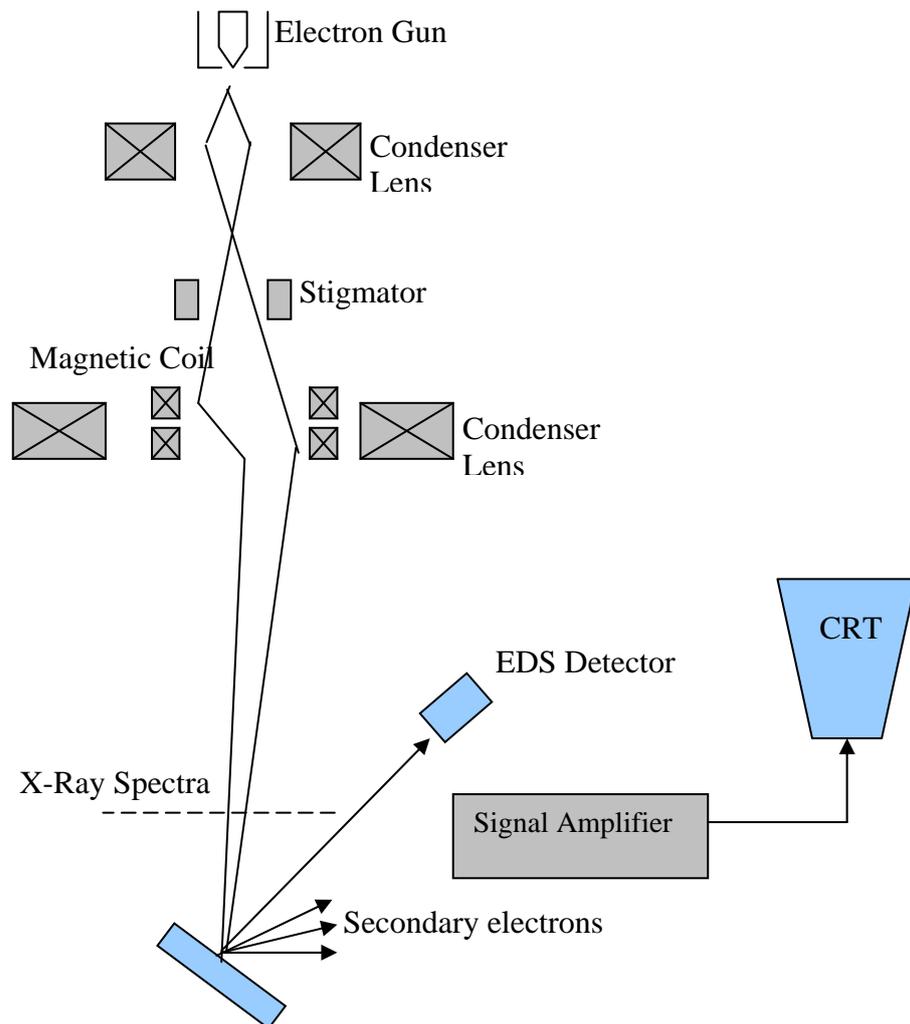
Untuk mengamati mikrostruktur perlu dilakukan etsa, yaitu proses korosi terkontrol yang bertujuan untuk mengikis batas butir. Untuk pengamatan struktur aluminium zat etsa yang diberikan adalah HF 0.5% pada bagian permukaan sampel ( $\pm 30$  detik). Setelah dilakukan etsa kemudian sampel akan dibersihkan dengan air dan alkohol 70% dan dikeringkan.

## 5. Pengamatan dengan SEM/EDX

Pengujian SEM (*Scanning Electron Microscope*) yang dilengkapi dengan *Energy Dispersive X-ray Analysis* (EDX) ini bertujuan untuk mengetahui struktur dengan pembesaran sampai 20.000x. Secara kuantitatif unsur yang terkandung serta *phasa* baru yang terbentuk pada sampel untuk masing-masing kondisi pengujian dapat diketahui juga dapat digunakan sebagai pembandingan dari hasil uji yang diperoleh dari hasil uji XRD, sedangkan EDX adalah merupakan bagian dari uji SEM yang dapat digunakan untuk mengetahui atau identifikasi unsur dari hasil foto SEM. Pengamatan dilakukan dengan menggunakan pendekatan area (bidang), titik dan garis.



Gambar 3.35 Alat uji pengujian SEM



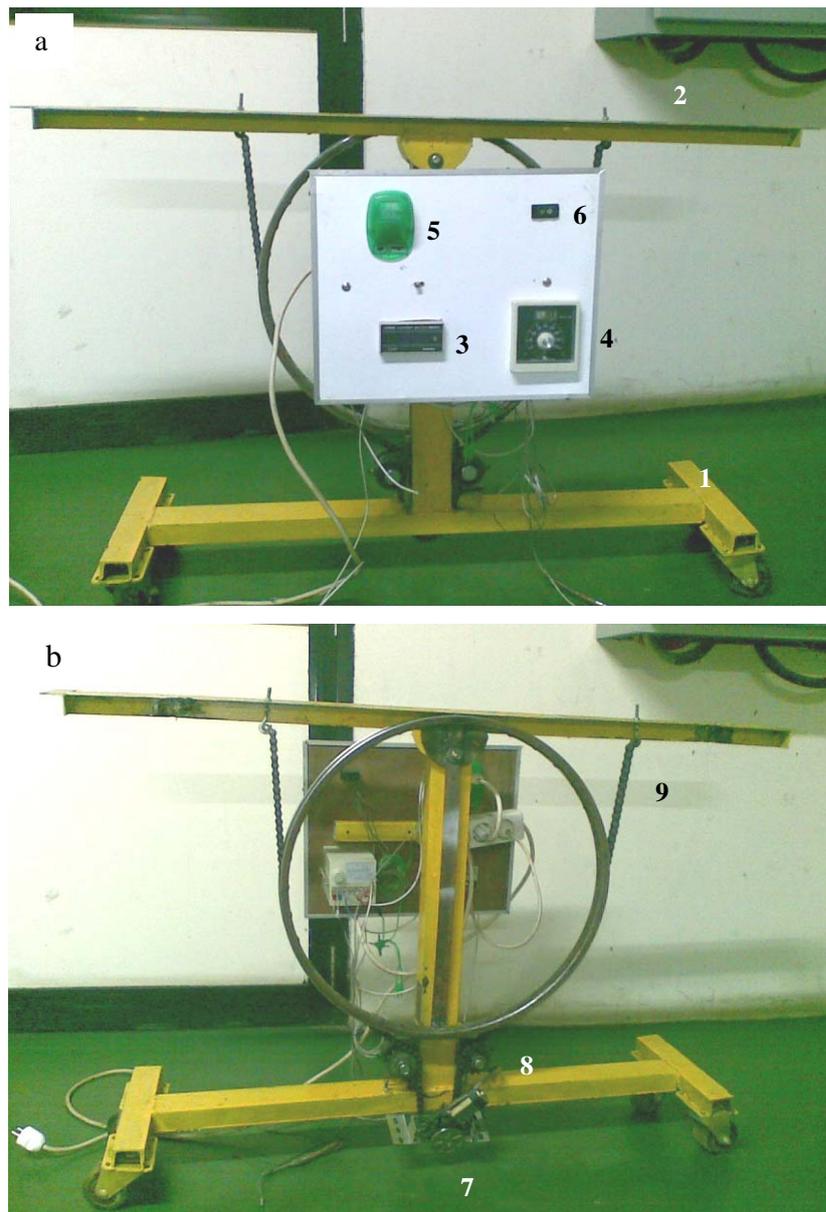
Gambar 3.36. Pengujian SEM, permukaan topografi dengan *secondary electron images*.

Secara khusus pengujian SEM dan EDX tidak memerlukan preparasi sampel, tetapi untuk mendapatkan gambar struktur atau fasa logam yang bagus, sebaiknya sampel dipoles sampai mengkilat dan di etsa (Gambar 3.33). Pengujian dilakukan dengan mesin SEM JEOL tipe JSM.6390A.

## BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

### 4.1 PROSES MANUFAKTUR ALAT UJI FLUIDITAS

#### 4.1.1 Desain Awal



Gambar 4.1 Desain awal alat uji fluiditas gravitasi, (a) Pandangan depan alat uji fluiditas, (b) Pandangan belakang alat uji fluiditas

Dari Gambar 4.1 desain awal dengan menggunakan komponen sebagai berikut.

1. Rangka komplit dengan roda
2. Landasan/*base plate* untuk tempat cetakan
3. *Thermometer*
4. *Thermokontroller* dihubungkan dengan *thermokopel* di cetakan.
5. Adaptor pengatur tegangan/volt juga sebagai pengatur kecepatan pemiringan
6. Saklar *On-Off* sekaligus sebagai pengatur pergerakan putaran motor listrik
7. Motor listrik
8. Roda gigi
9. Rantai
10. Cetakan
11. *Heater*/pemanas dengan daya 1000 W

Sistem pemiringan menggunakan sistem pengungkit dimana pada bagian tengah *base plate* cetakan digunakan sebagai penumpu sehingga tetap/tidak bergerak karena dikunci dengan baut M25, sedangkan pada kedua ujung pinggirnya dapat bergerak naik dan turun. Motor listrik digunakan sebagai penggerak mula dengan dihubungkan rantai sepeda motor sebagai penerus daya yang dihubungkan dengan *base plate*. Saat motor berputar ke kanan searah jarum akan menarik rantai ke kanan sehingga di bagian ujung kanan akan miring turun, sedangkan bagian ujung kiri akan miring naik. Roda gigi digunakan untuk memperlancar pergerakan rantai dan menjamin kondisi rantai dalam kondisi tegang. Untuk pengaturan kecepatan menggunakan adaptor DC 1A dengan mengatur tegangan (Volt) dari 1-12 Volt, semakin tinggi tegangan (Volt), putaran dari motor listrik makin cepat. Saklar *On –Off* digunakan untuk menjalankan dan memberhentikan motor listrik dan memastikan arah putaran motor listrik berputar searah jarum jam atau berlawanan arah jarum jam.

#### **4.1.2 Proses Manufaktur Alat Uji Fluiditas**

##### **1. Pembuatan Kerangka Mesin**

Mesin yang dipergunakan dalam proses pengerjaan kerangka: mesin las, mesin bor, mesin gergaji, dan gerinda tangan. Peralatan yang dipergunakan:

peralatan las beserta kelengkapannya, penggaris siku, gergaji besi, kikir, mistar panjang. Proses pengerjaannya:

1. Mempelajari gambar kerja beserta ukuran dengan teliti.
2. Mempersiapkan peralatan yang dipergunakan.
3. Memotong besi siku ukuran 40 x 40 mm yang nantinya sebagai *base plate* sesuai ukuran dan juga sebagai jalur pergerakan rantai.
4. Memotong besi chanel C ukuran 64 x 127 mm yang nantinya sebagai rangka berdiri dan dudukan dasar pengikat roda, sesuai ukuran.
5. Menyatukan masing-masing bagian dari potongan besi tersebut dengan pengelasan busur listrik sehingga terbentuk kerangka dari alat uji fluiditas.
6. Mempersatukan dengan menggunakan las listrik rangka yang sudah terbentuk dengan empat buah roda pergerakan bawah.
7. Menggerinda sisi-sisi bekas pengelasan sehingga nampak rapi dan halus.
8. Melakukan pengeboran dengan diameter 25 mm sebagai tempat kedudukan *bearing* dan poros tengah.
9. Melakukan pengeboran dengan diameter 10 mm sebagai pengikat antara besi siku-siku/ *base plate* dengan cetakan/*mould*.
10. Menghaluskan sisi yang tajam dengan menggunakan kikir.
11. Memastikan sudut-sudut kerangka benar-benar siku ( $90^\circ$ ) dengan penggaris siku.
12. Memeriksa hasil pengelasan dan memastikan kerangka yang terbentuk benar-benar kokoh.
13. Melakukan finishing dengan menghaluskan permukaan dengan amplas dilanjutkan dengan pengecatan seluruh kerangka dengan merata.

## **2. Pembuatan Cetakan/ Mould**

Cetakan dibuat dari bahan SKD 61 yang merupakan bahan *tool steel* yang bersifat sangat keras sehingga tidak memungkinkan dikerjakan dengan mesin *frais* konvensional. Pengerjaan cetakan/*mould* seluruhnya dikerjakan dengan mesin EDM (*Electronic Discharge Machining*).

### 3. Pembuatan Isolasi

Isolasi digunakan untuk mempertahankan temperatur cetakan tetap berada pada temperatur yang diinginkan tanpa terpengaruh dengan suhu lingkungan. Isolasi dibuat dari bahan keramik *wool* dengan densitas  $32 \text{ kg/mm}^2$ , dan ketebalan 25 mm dan ditutup dengan lembaran *zeng/galvanis sheet steel* pada bagian dalam dan *aluminium foil tape* pada bagian luar. Sedangkan untuk mengikat keramik *wool* pada lembaran seng menggunakan kawat bendrat dengan diameter 0,5 mm. Peralatan yang digunakan yaitu: tang, tang potong, tang pelobang, pisau potong. Adapun proses pengerjannya:

1. Memotong lembaran seng sesuai ukuran gambar.
2. Menekuk dan bentuk lembaran seng sesuai gambar, menyesuaikan dengan bentuk dan ukuran cetakan/ *mould*. Dilanjutkan dengan melobangi lembaran seng yang telah terbentuk dengan tang pelobang dengan diameter 1 mm pada bagian tepi seng.
3. Menempelkan keramik *wool* pada lembaran seng dan ikat dengan kawat bendrat pada lobang-lobang di lembaran dengan posisi saling silang.
4. Menutup semua keramik *wool* dengan *aluminium foil tape* sehingga terlihat rapi.

### 3. Perakitan

Dalam melakukan perakitan (*assembling*), harus mengetahui fungsi dari masing-masing komponen serta tempatnya, agar dapat menentukan komponen-komponen mana yang lebih dahulu dipasang dan mana yang dirakit kemudian. Dengan demikian kesalahan dalam proses perakitan dapat ditekan sekecil mungkin, selain itu hal yang tidak kalah penting yaitu harus mengerti terlebih dahulu berapa jumlah komponen yang ada dan bagaimana cara merakitnya. Langkah-langkah perakitan:

1. Merangkai kerangka alat uji dengan jalan pengelasan termasuk pemasangan roda penggerak bawah.
2. Merangkai L 40 x 40 mm membentuk kotak segi empat sebagai *base plate* yang nantinya dipasang cetakan/*mould*, termasuk merangkai profil L 40 x

40 mm yang dibengkokkan membentuk lingkaran sebagai jalur pergerakan rantai .

3. Memasang rumah bantalan/ *bearing* dengan menggunakan dua buah baut pengikat..
4. Memasang rangka dengan landasan/*base plate* menggunakan poros/baut berdiameter 25 mm di tengah- tengah landasan/*baseplate* pada *bearing*.
5. Memasang motor penggerak pada rangka, kemudian memasang dan menghubungkan rantai dari motor listrik menuju ke landasan/*base plate* cetakan.
6. Memasang *control panel* yang terdiri dari termometer, *termokontroller* dihubungkan dengan *thermokopel* di cetakan, *adaptor* pengatur tegangan/volt juga sebagai pengatur kecepatan pemiringan, serta saklar *On-Off* sekaligus sebagai pengatur arah pergerakan putaran motor listrik
7. Memasang cetakan pada landasan/*base plate* dan juga memasang *heater* pemanas disisi atas cetakan.
8. Memasang isolator panas yang menutupi seluruh area cetakan sehingga mencegah dari panas yang hilang, dan juga mencegah pengaruh temperatur lingkungan.
9. Melakukan pemeriksaan, *finishing*, pengecekan, hingga alat uji fluiditas siap untuk digunakan

#### 4.1.3 Uji Coba dan Evaluasi

Uji coba dilakukan setelah semua peralatan terangkai dengan sempurna. Hasil uji coba dievaluasi untuk ditemukan beberapa penyimpangan dari hasil perhitungan atau dari rancangan yang dibuat. Dari hasil uji coba ditemui kekurangan hal terkait desain yang memerlukan pengembangan lebih lanjut, antara lain:

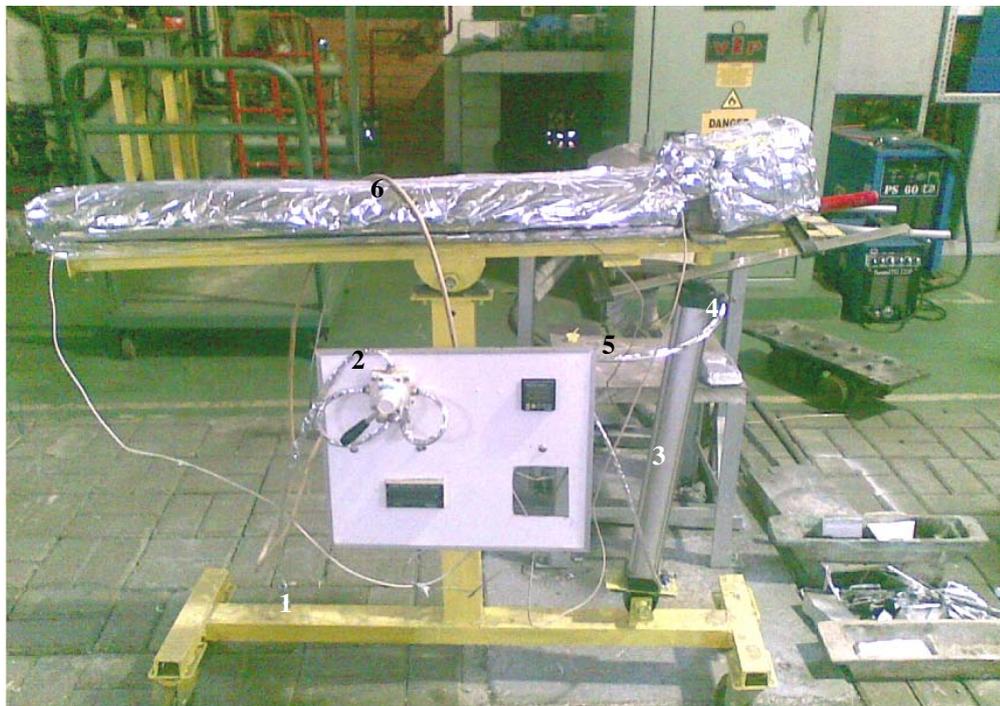
1. Kekurangan pada sistem pergerakan pemiringan cetakan. Sistem pergerakan cetakan tidak dapat bergerak miring sesuai yang diharapkan, sistem hanya dapat bergerak miring setelah cetakan dilepas dari *base platennya*. Hal ini diperkirakan karena cetakan yang ada terlalu berat ( $\pm 50$  kg) sehingga motor tidak mampu lagi bergerak memutar rantai.

2. Pada saat uji coba terjadi hubungan singkat di kabel bagian penghantar antara *thermocontroller* dengan *heater* meskipun sudah dilakukan isolasi dengan isolator anti panas. Bagian sambungan kabel tersebut adalah yang paling rawan karena paling dekat dengan sumber panas/*heater* dan menempel pada cetakan yang kondisinya panas juga, sehingga setelah terkena panas beberapa kali, kondisi sambungan yang terisolasi tersebut kemudian mengelupas. Akibat hubungan singkat tersebut *thermocontroller* yang digunakan meledak dan tidak bisa dipakai lagi karena tidak bisa diperbaiki.

#### 4.1.4 Perbaikan Dari Desain Awal

##### 4.1.4.1 Perbaikan Sistem Pemiringan Cetakan

Evaluasi bertujuan untuk mengetahui fungsi kerja komponen-komponen alat uji fluiditas terhadap kinerjanya. Perbaikan dilakukan akibat tidak bergerak sistem pergerakan kemiringan cetakan, diperkirakan karena torsi motor listrik tidak kuat untuk menarik cetakan naik-turun. Motor listrik yang ada menggunakan motor DC pada *power window* mobil dengan daya 0,30 kW.



Gambar 4.2 Desain perbaikan alat uji fluiditas

Desain pemiringan cetakan dengan sistem motor listrik diperbaiki dengan diganti menggunakan sistem *pneumatis* dengan penambahan komponen :

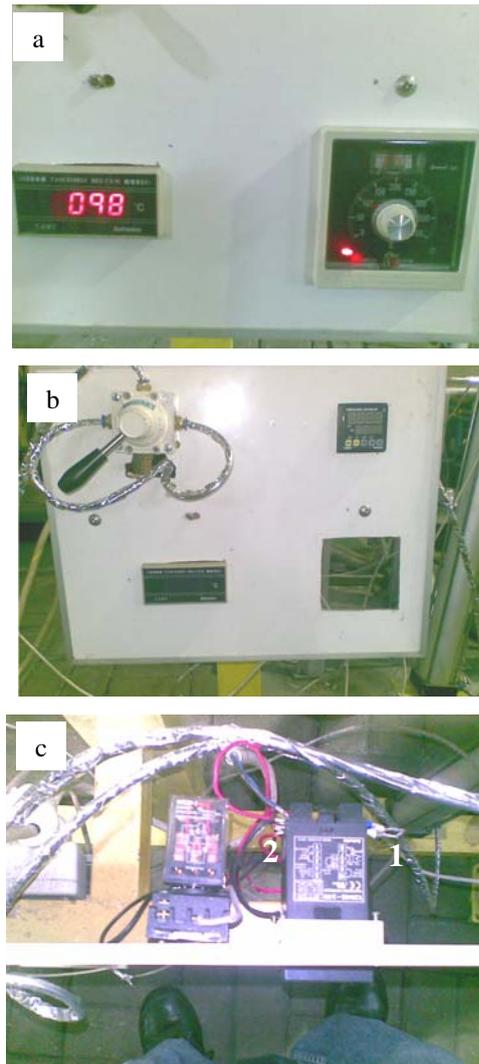
1. *Socket plug in* untuk memasukan udara bertekanan
2. *Handle toggle* pengatur arah pergerakan kemiringan
3. Silinder *pneumatis*
4. Katup pengatur pemasukan udara untuk mengatur kecepatan pemiringan
5. Selang pipa penghubung udara bertekanan

Udara bertekanan tinggi dari kompressor masuk ke *socket plug in* menuju ke *toggle handle*. *Toggle handle* inilah yang mengatur arah angin menuju ke silinder pneumatis atas atau bawah. Dari *toggle handle* sebelum masuk ke silinder pneumatis terlebih dahulu masuk ke katup pengatur tekanan angin, pengaturan tekanan angin ini untuk mengatur kecepatan pergerakan lengan pneumatis. Dengan Bergeraknya lengan pneumatis maka akan menggerakkan *base plate* cetakan beserta cetakan di atasnya.

#### 4.1.4.2 Perbaikan Sistem Pengontrolan Temperatur Cetakan

Sebagai akibat meledaknya *thermocontroller* manual saat uji coba, sehingga diganti dengan *thermocontroller* digital. Diharapkan dengan sistem digital keakuratan dalam pengontrolan suhu cetakan dapat lebih baik. Pada sistem manual tingkat keakuratan dari suhu yang diinginkan dalam range  $\pm 10$  °C batas atas dan batas bawah, sedangkan pada sistem digital dapat dilakukan *setting* untuk tingkat *range* batas atas dan batas bawahnya yang diinginkan sehingga lebih akurat. *Thermocontroller* digital dilengkapi dengan *relay* sebagai aktuator dari data yang diolah berdasarkan masukan sensor dari termokopel dan settingan dari operator. *Relay* ini juga sekaligus sebagai pengaman bagi *thermocontroller* jika terjadi hubungan singkat, yaitu dengan tidak meneruskan arus berlebih saat hubungan singkat, sehingga tidak meledak/rusak dan tetap aman.

Perbaikan sistem pemiringan cetakan dan pengontrolan temperatur cetakan telah menjadikan alat uji laik operasi/ dipakai. Selanjutnya dilakukan uji coba alat uji dengan desain ini, yang hasilnya disampaikan dalam sub bab 4.3



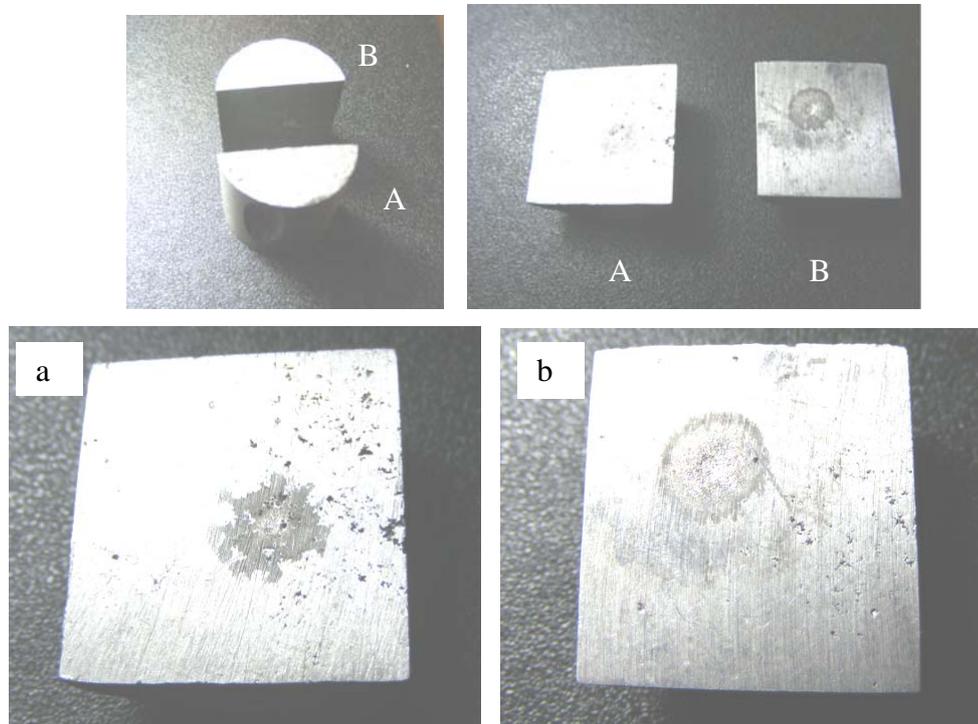
Gambar 4.3 Perbaikan sistem pengontrolan temperatur: (a) *Thermocontroller manual*, (b) *Thermocontroller digital*, (c) *Thermocontroller(1)* dan *relay(2)*

## 4.2 KARAKTERISASI INGOT PADUAN ALUMINIUM AC4B

### 4.2.1 Analisa Komposisi Kimia Paduan Aluminium AC4B Dengan Spektrometer

Sampel yang diuji adalah paduan aluminium silikon AC4B hasil patahan pengujian tarik. Dari sampel patahan pengujian tarik terdapat dua daerah yang dapat dibedakan yang satu berwarna putih dan daerah yang lainnya berwarna kehitaman dan berporus/keropos (lihat Gambar 4.4 dan Gambar 4.6). Kedua daerah tersebut dibelah dengan gergaji tangan untuk diuji komposisi kimianya. Data hasil pengujian komposisi kimia diberikan pada Tabel 4.1, terlihat bahwa secara umum komposisi unsur kimia kedua daerah tersebut telah berada di dalam

rentang standar yang diperbolehkan berdasarkan standar JIS H 5202-1978[13] (Paduan Aluminium tipe AC 4 B).



Gambar 4.4 Permukaan patahan sampel hasil uji tarik paduan aluminium AC4B, (a) Daerah A: Adalah daerah terjadi porositas, (b) Daerah B: Adalah daerah tanpa porositas

Tabel 4.1 Komposisi Kimia Paduan Aluminium Silikon AC4B

Unsur	Kandungan Rata-Rata (wt%)		
	Daerah A (keropos/porosity)	Daerah B (tanpa keropos/porosity)	Standard JIS 5202- 1978[13]
Si	7.03183	8.83403	7.0 – 10.0
Fe	0.54680	0.72678	1.0 max
Cu	2.03036	0.50685	2.0 – 4.0
Mg	0.21684	0.24304	0.5 max
Cr	0.02217	0.01832	2.0 – 4.0 max
Zn	0.75443	0.53251	1.0 max
Ti	0.03804	0.02693	0.2 max
Sn	0.03285	0.00806	0.1 max
Pb	0.06478	0.05248	0.2 max
Mn	0.09630	0.013192	0.5 max
Ni	0.11882	0.04040	0.3 max
Al	Sisa	Sisa	Sisa

#### 4.2.2 Analisa Kekerasan Ingot Paduan Aluminium AC4B

Sampel yang diuji adalah paduan aluminium silikon AC4B. Data hasil pengujian kekerasan pada beban 100 kgf diberikan pada Tabel 4.2 Secara umum nilai kekerasan/*hardness* untuk ingot yang dicoba untuk uji fluiditas telah berada dalam range standar kekerasan dari ingot AC4B sesuai dengan Tabel 2.2 yaitu 65-100 HB [13], yang bila dikonversikan menjadi 38-58 HRB.

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Kekerasan Ingot Aluminium AC4B

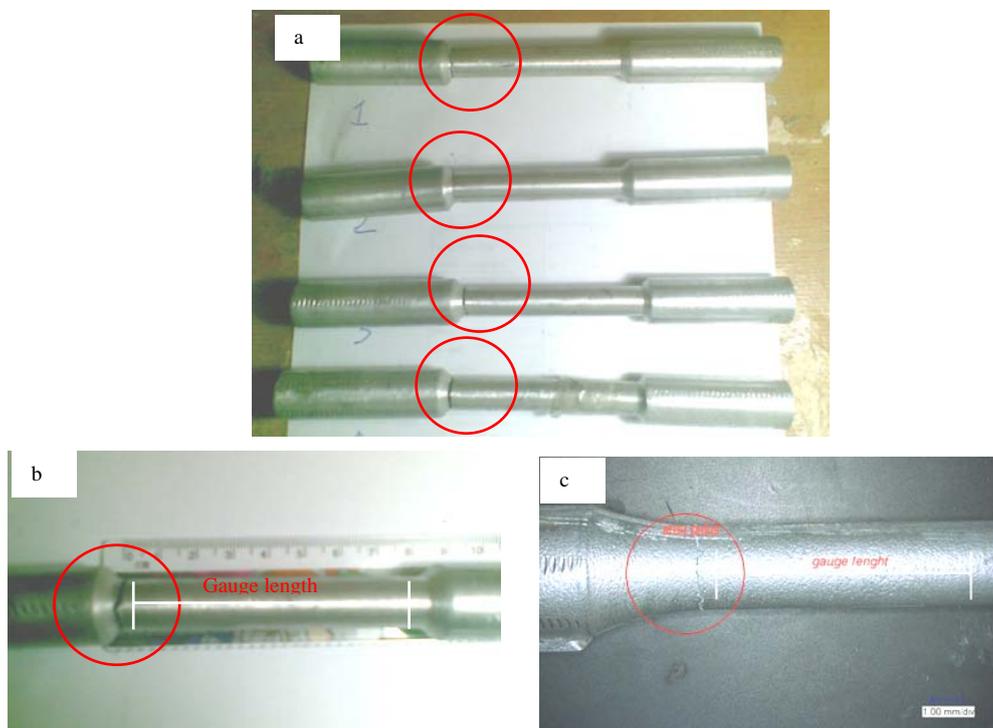
Penjejakan <i>Indention</i>	Kekerasan Rockwell B (HRB) <i>Rockwell B Hardness</i>	Rata-rata HRB <i>Average</i>
I	38.6	
II	38.2	
II	38.3	39
IV	42.0	
V	39.2	

#### 4.2.3 Analisa Kekuatan Tarik Ingot Aluminium Paduan AC4B

Tabel 4.3 menampilkan data pengujian tarik ingot aluminium paduan AC4B. Secara umum nilai kekuatan tarik untuk ingot yang dicoba untuk uji fluiditas ini tidak dalam range standar dari ingot aluminium sesuai dengan Tabel 2.2 yaitu  $\geq 193$  MPa[13]. Kekuatan tarik ingot paduan AC4B yang dibawah standar karena adanya porositas dan juga penyusutan (yang terlihat pada permukaan patahan) yang terjadi pada saat logam cair di tuang ke dalam cetakan. Daerah porositas dan penyusutan tersebut menjadi daerah terlemah tempat terjadinya patahan. Rendahnya kekuatan tarik juga diperkirakan dikarenakan preparasi sampel yang tidak sempurna. Dugaan ini diperkuat dengan fakta bahwa seluruh sampel uji tarik menunjukkan perpatahan getas yang terjadi diluar daerah panjang ukur khususnya di daerah radius sampel. Pengamatan visual pada Gambar 4.5 menunjukkan bahwa daerah radius tidak mulus dan cenderung membentuk sudut yang kemudian menjadi daerah dengan konsentrasi tegangan tinggi. Dengan demikian pada bagian menyudut inilah yang merupakan titik terlemah karena adanya tegangan sisa pada saat sampel diuji dengan tegangan tarik.

Tabel 4.3 Hasil Pengujian Kekuatan Tarik Ingot Aluminium AC4B

Code	Sampel			Kuat Tarik <i>Tensile Strength MPa</i>	Batas Luluh <i>Yield Strength (Kg/mm2)[MPa]</i>	Regangan <i>Elongation (%)</i>	Keterangan <i>Remarks</i>
	Cross section <i>(mm)</i>	Area <i>(mm<sup>2</sup>)</i>	Gauge length <i>(mm)</i>				
Rod 1	13.30	138.92	50	147	-	3	Putus di luar Lo
Rod 2	13.45	142.08	50	137	-	2	Putus di luar Lo
Rod 3	12.6	124.68	50	127	-	1.5	Putus di luar Lo
Rod 4	13.25	137.88	50	118	-	1.5	Putus di luar Lo
Rod 5	13.00	132.73	50	78	-	1	Putus di luar Lo



Gambar 4.5 Sampel uji tarik, (a) Perpatahan terjadi di luar gauge length, (b) Preparasi sampel dengan radius(R) yang salah/tidak sempurna karena terlalu menyudut, (c) Preparasi sampel dengan radius(R) yang benar.

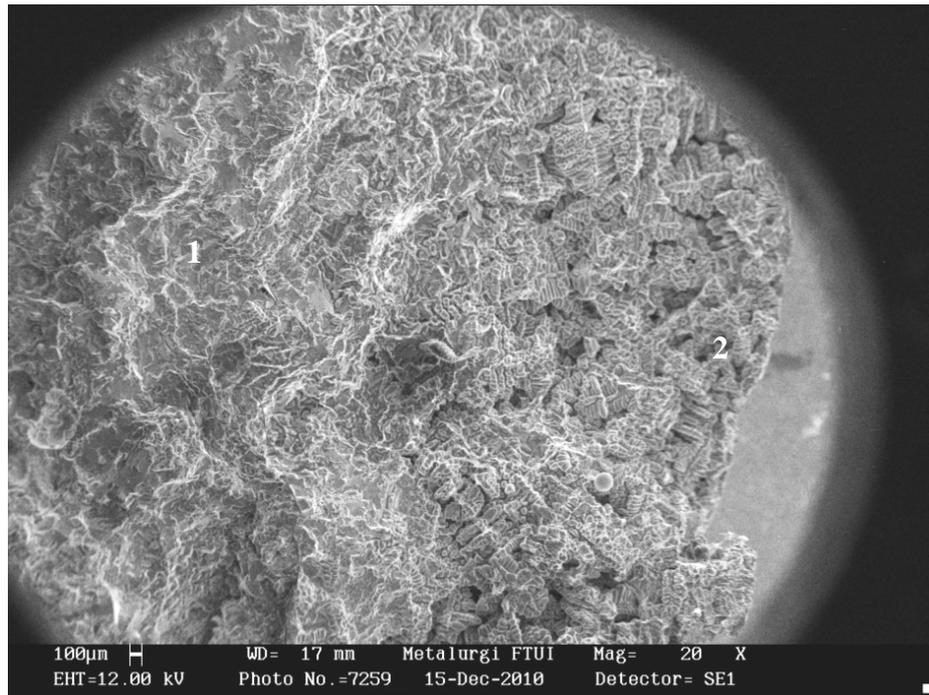
Pengamatan rinci patahan uji tarik secara makro ditampilkan pada Gambar 4.6. Terlihat bahwa secara umum terdapat dua fasa, yaitu yang berwarna putih adalah matriks aluminium (posisi 1 pada Gambar 4.6), dan berwarna keabu-abuan gelap adalah porositas (posisi 2 pada Gambar 4.6). Diperkirakan bahwa daerah porositas ini adalah awal patahan yang memperlemah kekuatan tarik

paduan AC4B. Dari seluruh pernyataan diatas, untuk sementara dapat disimpulkan bahwa kekuatan tarik paduan AC4B yang dibawah standar disebabkan oleh ketidaksempurnaan pembuatan sampel dan terperangkapnya porositas, sehingga paduan tetap dikonfirmasi sebagai paduan AC4B



Gambar 4.6 Foto mikrostruktur sampel bekas patahan pengujian tarik (perbesaran 7x)  
 Posisi 1: Adalah matriks aluminium itu sendiri  
 Posisi 2: Adalah penyusutan yang merupakan kekosongan/porositas diantara dendrit

Pengamatan mikrostruktur lebih rinci dilakukan dengan menggunakan SEM yang ditampilkan pada Gambar 4.7. Terlihat dengan jelas adanya dendrit aluminium di seluruh patahan. Pada posisi 1 menarik untuk memperhatikan bahwa daerah *interdendritik* sebagian besar merupakan kekosongan yang mengindikasikan adanya penyusutan. Penyusutan ini disebabkan karena ukuran cetakan yang besar yaitu 52 x 10 x 4 cm yang kemudian dipotong menjadi 6 sampel uji tarik. Secara jelas penyusutan terlihat disebelah kanan (posisi 2 pada Gambar 4.6).



Gambar 4.7 Permukaan patahan sampel uji tarik hasil pengujian paduan aluminium AC4B  
 Posisi 1: Adalah matriks aluminium itu sendiri  
 Posisi 2: Adalah penyusutan yang merupakan kekosongan/porositas diantara dendrit

Fasa *interdendritik* tidak terlihat pada Gambar 4.7, karena foto diambil tanpa proses etsa. Keberadaan *impuritis* tidak dapat dideteksi pada Gambar 4.7 ini. Pengamatan struktur mikro ini memperkuat dugaan bahwa rendahnya kekuatan tarik yang diperoleh antara lain disebabkan oleh ketidak sempurnaan proses pembuatan/preparasi sampel dan adanya porositas atau penyusutan.

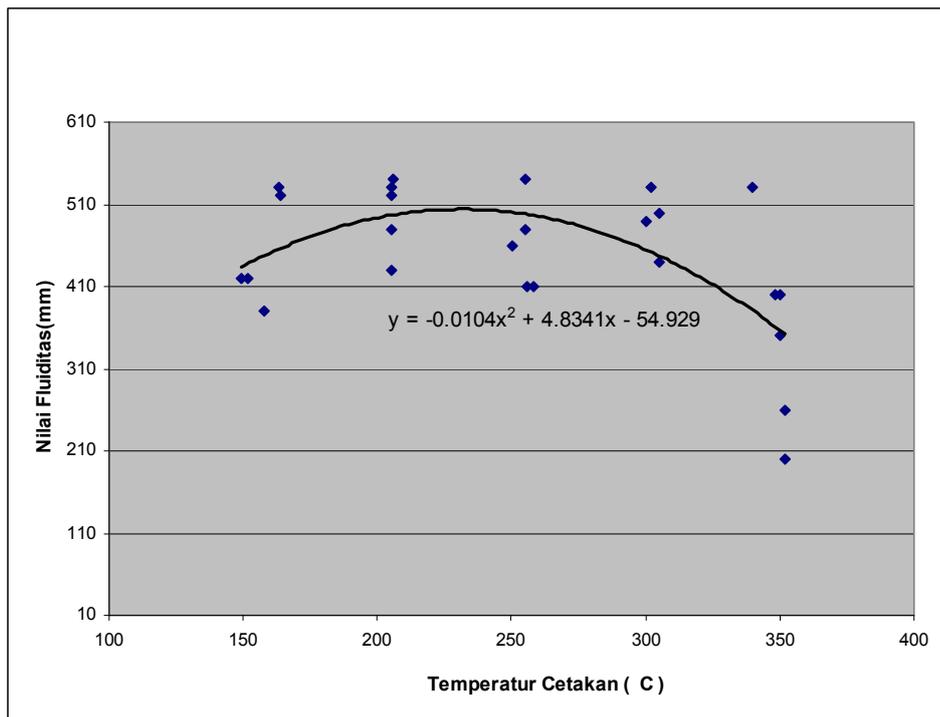
### 4.3. VALIDASI ALAT UJI FLUIDITAS

Untuk memvalidasi kinerja alat uji fluiditas yang didesain dilakukan dengan pengujian fluiditas dengan variasi temperatur cetakan dan kecepatan penuangan. Untuk memastikan hasil uji dilakukan pengamatan mikrostruktur sampel menggunakan mikroskop optik dan SEM.

#### 4.3.1 Validasi Pengaruh Temperatur Cetakan Terhadap Nilai Fluiditas Paduan Aluminium AC4B

Tabel 4.4 Data pengujian validasi temperatur cetakan alat uji fluiditas pada paduan AC4B dengan temperatur tuang 800° C

No	Temp Kontrol Dapur (°C) yang diinginkan	Temp Pemanas Dapur (°C)	Temp logam cair (°C)	Temp Kontrol Cetakan (°C) yang diinginkan	Temp Cetakan (°C)	Nilai Fluiditas / panjang cetakan terisi aluminium (mm)	Range	Rata - rata nilai fluiditas x (mm)	Standar deviasi sampel (s)	Coefficient of Variation $V=s/x$ (%)	Ket
1	800	806	801	150	149	420	150	454	59.9	13.19	
2		818	801		152	420					
3		868	801		158	380					
4		871	799		163	530					Sebelum termokontrol rusak
5		870	799		164	520					Termokontrol rusak/meledak
6		844	804	200	205	430	110	500	40.5	8.10	
7		940	800		205	480					
8		961	799		206	540					
9		969	806		205	530					
10		806	804		205	520					
11		820	799	250	255	540	130	460	48.6	10.56	
12		820	802		255	480					
13		830	799		256	410					
14		901	800		258	410					
15		868	800		250	460					
16		823	799	300	302	530	130	472	46.2	9.79	
17		863	801		305	500					
18		901	799		300	490					
19		857	800		305	440					
20		945	810		350	400					
21		940	802	350	352	260	330	348	114.4	32.87	sebelum coating
22		944	800		352	200					sebelum coating
23		945	799		340	530					setelah coating
24		835	808		348	400					setelah coating
25		923	808		350	350					setelah coating



Gambar 4.8 Pengaruh temperatur cetakan terhadap nilai fluiditas aluminium AC4B pada temperatur tuang 800° C

Data hasil pengujian fluiditas dengan temperatur tuang konstan pada 800 °C dengan variasi temperatur cetakan 150 – 350 °C ditampilkan pada Tabel 4.4. Data pada Tabel 4.4 dituangkan dalam bentuk grafik pada Gambar 4.7 Nilai rata-rata panjang fluiditas dan standard deviasi dari nilai tengah ( $\sigma_m$ ) dimana dikalkulasi untuk tiap temperatur (lihat Tabel 4.4). Panjang rata-rata nilai fluiditas untuk lima temperatur yang berbeda menunjukkan kecenderungan parabola seperti pada Gambar 4.8, yaitu meningkat hingga mencapai titik tertinggi pada temperatur 200° C dan kemudian menurun seiring bertambahnya temperatur cetakan.

Hasil diatas tidak sesuai dengan dasar teori dimana memanaskan cetakan akan meningkatkan nilai fluiditas dan memperlambat pembekuan, meskipun berefek pada pembentukan butir-butiran kasar yang mengurangi kekuatan. Dengan demikian seharusnya semakin tinggi temperatur cetakan maka akan semakin tinggi pula nilai fluiditas. Dugaan sementara ketidaksesuaian diatas dikarenakan *coating* cetakan yang sudah menipis akibat terlalu seringnya cetakan dipakai. Akibat terlalu tipisnya *coating* maka tidak ada isolator atau pembatas

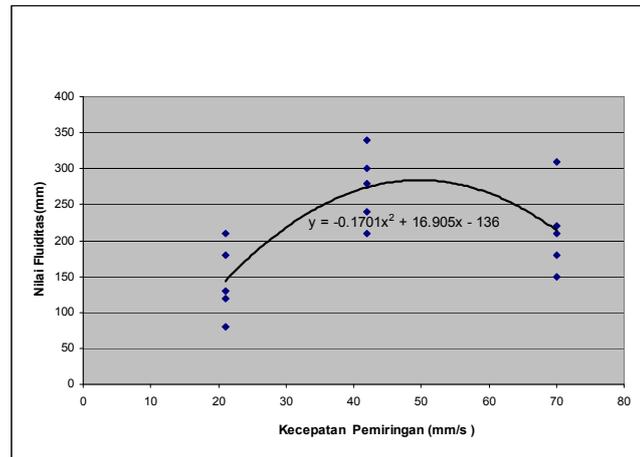
panas antara logam cair dengan cetakan, sehingga perpindahan panas berlangsung sangat cepat dan terjadi pembekuan seketika. Hal ini dibuktikan setelah dilakukan pelapisan kembali cetakan, maka nilai fluiditas kembali naik.

#### 4.3.2 Validasi Pengaruh Kecepatan Pemiringan Cetakan Terhadap Nilai Fluiditas Paduan Aluminium AC4B

Nilai fluiditas terpanjang diperoleh pada temperatur cetakan 200 °C. Berdasarkan hal ini, validasi alat uji fluiditas pada variasi kecepatan pemiringan cetakan dilakukan pada temperatur konstan 200 °C. Data-data hasil pengujian nilai fluiditas dengan variasi kecepatan tersebut ditampilkan pada Tabel 4.5 dan dalam bentuk grafik pada Gambar 4.9.

Tabel 4.5 Data pengujian validasi kecepatan pemiringan alat uji fluiditas pada paduan AC4B

No	Temp Kontrol Dapur yang diinginkan (°C)	Temp Pemanas Dapur (°C)	Temp logam cair (°C)	Temp Kontrol Cetakan (°C) yang diinginkan	Temp Cetakan (°C)	Kecepatan Pemiringan (mm/s)	Nilai Fluiditas/ panjang cetakan terisi aluminium (mm)	Range	Rata rata nilai fluiditas (mm)	standar deviasi sampel (s)	Coefficient of Variation $V=s/x$ (%)
1	800	869	795	200	200	21.00	80	130	144	45.9	31.88
2		818	801	200	218		210				
3		868	801	200	210		120				
4		871	799	200	208		180				
5		758	805	200	200		130				
6	800	730	802	200	199	42.00	280	130	274	45.4	16.67
7		769	806	200	207		300				
8		770	815	200	202		240				
9		871	799	200	218		340				
10		753	804	200	215		210				
11	800	881	798	200	218	70.00	210	160	214	24.1	11.26
12		950	803	200	220		220				
13		894	810	200	215		310				
14		940	804	200	204		180				
15		940	800	200	210		150				



Gambar 4.9 Pengaruh kecepatan pemiringan cetakan terhadap nilai fluiditas paduan aluminum AC4B pada temperatur cetakan 200° C dan temperatur tuang 800° C

Dari Gambar 4.9 terlihat bahwa nilai fluiditas naik secara periodik dari 144 mm pada kecepatan pemiringan cetakan 21 mm/s, menjadi 274 mm pada kecepatan pemiringan 42 mm/s. Setelah itu kembali mengalami penurunan pada 214 mm pada kecepatan pemiringan yang lebih tinggi yaitu 70 mm/s. Hal ini tidak sesuai dengan prediksi bahwa semakin tinggi kecepatan pemiringan maka nilai fluiditas semakin tinggi.

Perbedaan karakteristik ini disimpulkan bahwa pada tahap ini alat uji yang didesain baru dapat diakui keakuratannya hingga kecepatan pemiringan 42 mm/s, hal ini dikarenakan pada kecepatan pemiringan cetakan 70 mm/s tidak seimbang dengan kecepatan pendinginan dari cairan logam yang berakibat sulitnya pengontrolan cairan logam yang masuk ke dalam *pouring* cetakan dan terjadi *splashing*/ cairan logam meluber melebihi lubang *pouring* atas, dapat terlihat pada Gambar 4.10.

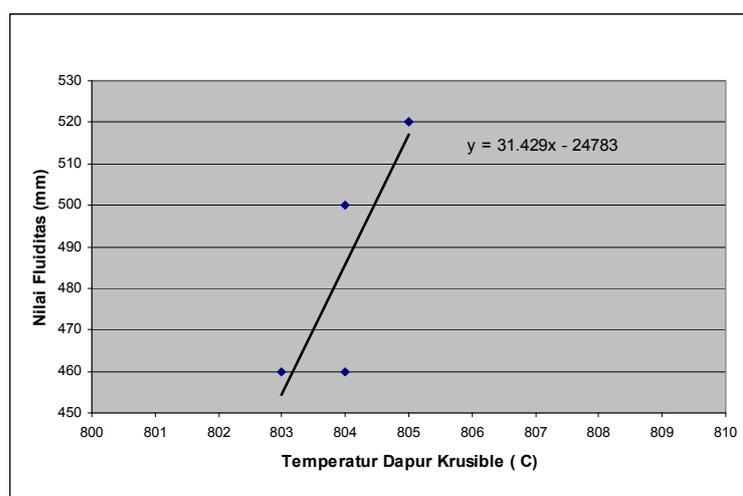


Gambar 4.10 Terjadi *splashing* pada pengujian nilai fluiditas kecepatan pemiringan tinggi (42 mm/s)

Setelah didapatkan nilai fluiditas dari pengujian dengan variasi temperatur cetakan dan variasi kecepatan pemiringan, maka dilakukan verifikasi atau perbandingan dengan alat uji yang sudah ada yaitu alat uji fluiditas vakum. Data-data hasil pengujian nilai fluiditas dengan alat uji fluiditas vakum tersebut dilihat pada Tabel 4.6 dan ditampilkan sebagai grafik dapat dilihat pada Gambar 4.10 sebagai berikut

Tabel 4.6 Data Pengujian Nilai Fluiditas Aluminium AC4B Dengan Alat Uji Fluiditas Vakum

No	Temp Kontrol Dapur(°C)	Temp Pemanas Dapur(°C)	Temp Dapur Krusible(°C)	Nilai Fluiditas/ panjang pipa tembaga terisi aluminium(mm)	Range	Rata-rata nilai fluiditas (mm)	Standard deviasi sampel (s)	Coefficient of variation, $V = s/x$ (%)
1	800	886	805	520				
2	800	845	805	520				
3	800	833	804	500	60	492	27	5.49
4	800	793	804	460				
5	800	765	803	460				



Gambar 4.11 Pengujian nilai fluiditas dengan alat uji vakum

Untuk menganalisa reliabilitas/tingkat kepercayaan dari alat uji fluiditas yang di desain, dilakukan kalkulasi standar deviasi dari pengukuran fluiditas dengan alat uji vakum dan dibandingkan pengukuran dengan alat uji fluiditas gravitasi dengan alat yang baru dengan variasi temperatur cetakan dan variasi kecepatan pemiringan cetakan. Panjang rata-rata dari jumlah 5 sampel dan

standar deviasi dari alat uji fluiditas vakum, mempunyai *coefficient of variation* 5.49 %. Sedangkan panjang rata-rata dari jumlah 25 sampel dan standar deviasi dari alat uji fluiditas gravitasi yang baru, dengan variasi temperatur cetakan 150°C, 200°C, 250°C, 300°C, dan 350°C, mempunyai *coefficient of variation* masing-masing 13.19 %, 8.10 %, 10.56 %, 9.79% , dan 32.87 %. Demikian juga panjang rata-rata dari jumlah 15 sampel dan standard deviasi dari alat uji fluiditas gravitasi yang baru dengan variasi kecepatan pemiringan cetakan 21 mm/s, 42 mm/s, dan 70 mm/s, mempunyai *coefficient of variation* 31.88 %, 16.67 %, dan 11.26 %. Semakin kecil nilai *coefficient of variation* maka akan semakin baik nilai data yang dihasilkan karena deviasi dari data yang dihasilkan semakin kecil.

Dengan demikian menunjukkan bahwa jika dibandingkan antara alat uji vakum dengan alat uji yang baru, tingkat kepercayaan/reliabilitas dengan alat uji yang baru lebih rendah. Hal ini menunjukkan perlu perbaikan lebih lanjut dari perbaikan pengontrolan kecepatan cairan logam dan pengontrolan temperatur cetakan, serta masih tergantungnya pada kemampuan operator pada saat penuangan.

Tabel 4.7 Panjang rata-rata pengukuran fluiditas (alat uji fluiditas vacuum dan alat uji fluiditas gravitasi variasi temperatur cetakan dan variasi kecepatan pemiringan) dan standard deviasi.

	Pengujian variasi temperatur cetakan					Pengujian variasi kecepatan pemiringan			Pengujian fluiditas vakum
	150 °C	200 °C	250 °C	300 °C	350 °C	21 mm/s	42 mm/s	70 mm/s	
Total Pengujian	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Range	150	110	130	130	330	130	130	160	60
Rata-rata nilai fluiditas (x)	454	500	460	472	348	144	274	214	492
Standard deviasi (s)	59.9	40.5	48.6	46.2	114.4	45.9	45.4	24.1	27
<i>Coefficient of variation, V= s/x (%)</i>	13.19	8.10	10.56	9.79	32.87	31.88	16.67	11.26	5.49

### 4.3.3 ANALISA MIKROSTRUKTUR PADA SAMPEL HASIL UJI FLUIDITAS.

Pengamatan mikrostruktur dilakukan juga pada ujung dari meterial hasil dari uji fluiditas dengan parameter temperatur tuang konstan pada 800 °C.

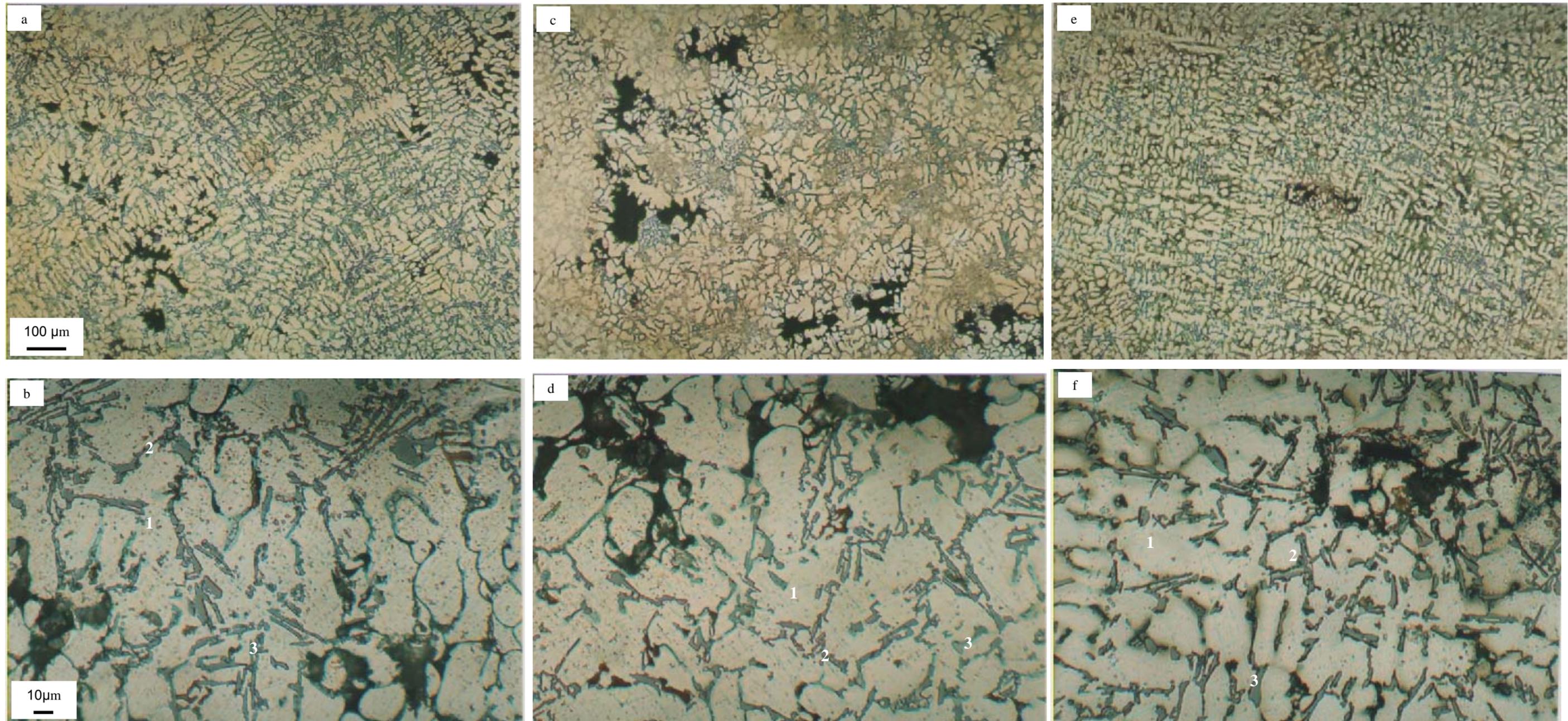
Analisa mikrostruktur ini menggunakan pengamatan mikroskop optik dan SEM. Dari beberapa sampel uji fluiditas diambil 3 buah sampel dengan temperatur cetakan yang berbeda dan diperkirakan mewakili yaitu:

1. Sampel nilai fluiditas terpanjang = 540 mm pada temperatur cetakan 200 °C
2. Sampel nilai fluiditas menengah = 380 mm pada temperatur cetakan 150 °C
3. Sampel nilai fluiditas terpendek = 260 mm pada temperatur cetakan 350 °C

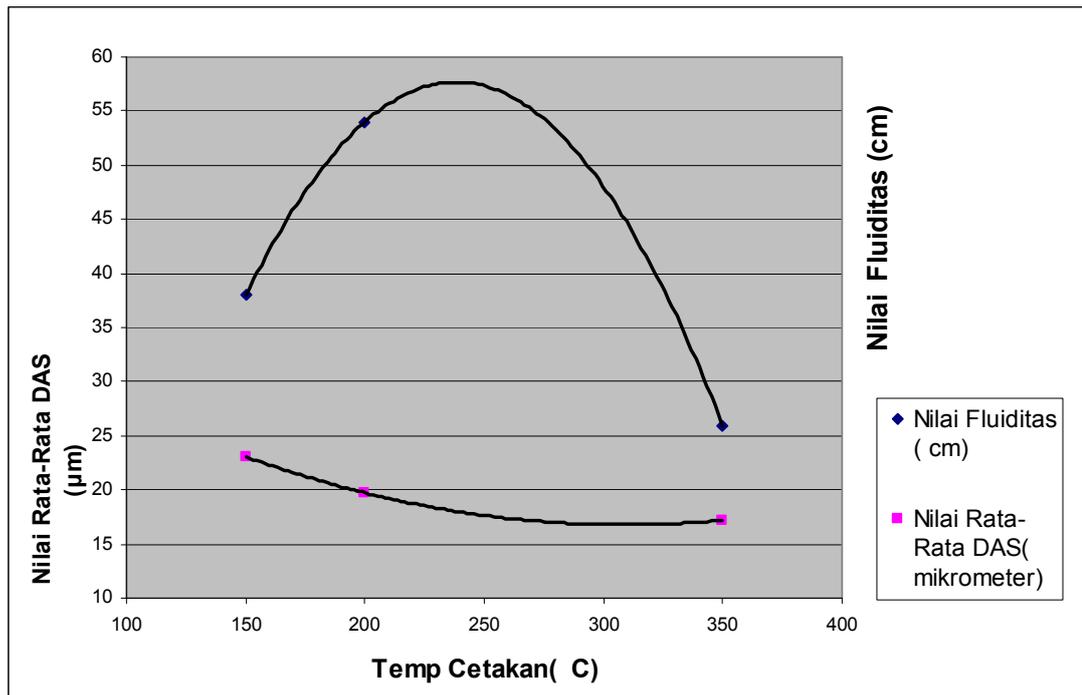
#### 4.3.3.1 Analisa Mikrostruktur dengan Mikroskop Optik

Hasil pengamatan mikroskop optik dapat dilihat pada Gambar 4.12. Dari ketiga foto mikro tersebut tampak adanya tiga fasa yang terlihat seperti huruf cina (*chinese script*). Fasa yang pertama (1) adalah material base itu sendiri, yang kedua (2) berbentuk memanjang agak tebal hitam gelap terletak di batas butir, dan yang ketiga (3) adalah memanjang abu-abu tipis terletak di batas butir. Secara umum morfologi yang terdapat pada struktur mikro paduan aluminium AC4B adalah struktur dendrit yang merupakan (1) fasa aluminium primer ( $\alpha$ -Al) dengan berwarna terang dan (2) fasa eutektik Al-Si yang berupa lamellar pelat-pelat tajam dan kasar yang berwarna hitam gelap dan (3) senyawa *intermetalik* pada daerah interdendritiknya. *Intermetalik* terbanyak adalah  $Al_2Cu$  yang terbentuk karena sudah terlampauinya batas daya larut Cu pada Al. Senyawa masing-masing fasa akan dikonfirmasi melalui pengamatan SEM/EDX pada sub bab berikutnya.

Pada Gambar 4.13 diperlihatkan perubahan nilai rata-rata DAS pada paduan aluminium AC4B untuk tiga nilai fluiditas yang berbeda. DAS (*Dendrit Arm Spacing*) adalah jarak antar lengan dendrit yang akan mempengaruhi sifat mekanis paduan aluminium. Kecepatan proses pembekuan akan mempengaruhi nilai DAS. Dari temperatur cetakan 150 °C nilai DAS 23  $\mu m$  kemudian nilai DAS turun menjadi 19,73  $\mu m$  dan akan terus menurun pada temperatur cetakan 350 °C menjadi 17,2  $\mu m$ . Hal ini berkebalikan dengan teori dimana kecepatan pembekuan secara langsung mengontrol dendrit arm spacing(DAS)[11, hal. 40], semakin cepat pembekuan nilai DAS semakin kecil, kecepatan pembekuan dalam percobaan ini sangat dipengaruhi oleh temperatur cetakan. Sehingga semakin rendah temperatur cetakan nilai DAS semakin kecil.



Gambar 4.12 Mikrostruktur ujung sampel hasil uji fluiditas dengan temperatur tuang konstan 800 °C dengan variasi temperatur cetakan: (a-b) Ujung nilai fluiditas terpanjang = 540 mm pada temperatur cetakan 200 °C, (c-d) Ujung nilai fluiditas menengah = 380 mm pada temperatur cetakan 150 °C, (e-f) Ujung nilai fluiditas terpendek = 260 mm pada temperatur cetakan 350 °C.

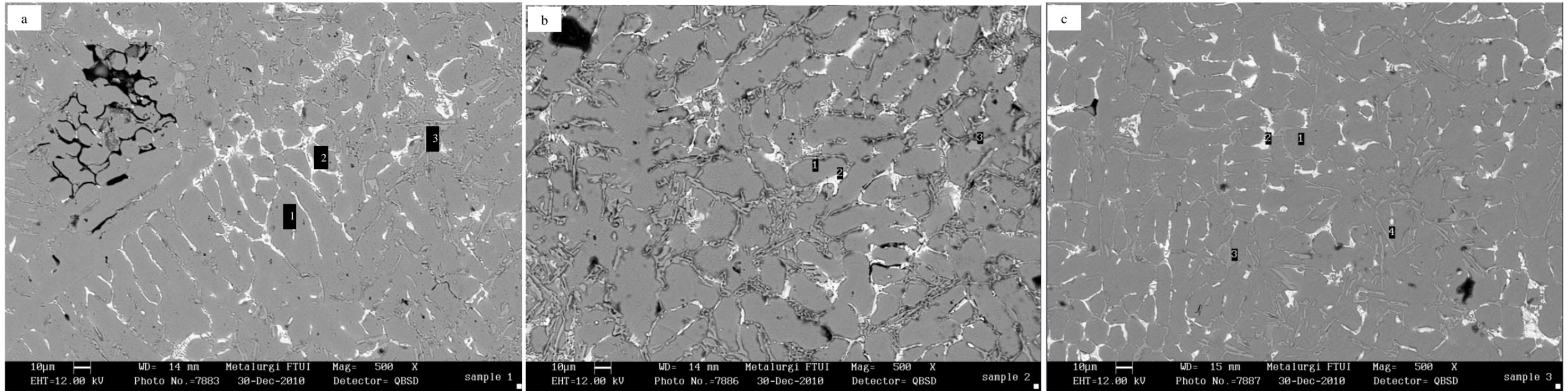


Gambar 4.13 Perubahan nilai rata-rata DAS dan nilai fluiditas pada tiga temperature cetakan paduan aluminium AC4B

Ketidakesesuaian nilai DAS dengan kenaikan temperatur cetakan dikarenakan tidak adanya lapisan *coating* akibat seringnya pemakaian sehingga makin menipis. Ketiadaan *coating* tersebut berakibat tidak adanya penghambat panas antara cairan logam dengan cetakan sehingga kecepatan pembekuan sangat cepat terjadi sebagai akibat transfer panas langsung terjadi antara keduanya[5]. Hal ini terlihat pada Gambar 4.12 dimana jika dibandingkan antara struktur dendritik antara (a) dan (e) akan sangat mirip yaitu dengan struktur yang lamellar dengan ukuran dendritik yang hampir sama dan teratur, amat sangat berbeda dengan gambar (c). Hal tersebut dibuktikan pula pada Tabel 4.4, dimana setelah dilakukan pelapisan *coating* kembali, nilai fluiditas logam kembali naik.

#### 4.3.3.2 Analisa Mikrostruktur dengan SEM/EDX

Berdasarkan analisa SEM pada Gambar 4.14, maka secara umum fasa terdapat tiga fasa, yaitu (1) matriks base aluminium itu sendiri (mendominasi) dan (2) fasa yang berwarna putih keperakan/putih di batas butir berbentuk garis dan juga (3) warna keabu-abuan berbentuk garis memanjang. Dari ketiga fasa tersebut diambil komposisi kimia pada masing-masing fasa menggunakan EDX.



Gambar 4.14 Foto SEM ujung sampel hasil uji fluiditas dengan temperatur tuang konstan 800 °C dengan variasi temperatur cetakan: (a) Ujung nilai fluiditas terpanjang = 540 mm pada temperatur cetakan 200 °C, (b) Ujung nilai fluiditas menengah = 380 mm pada temperatur cetakan 150 °C, (c) Ujung nilai fluiditas terpendek = 260 mm pada temperatur cetakan 350 °C

Tabel 4.8 Hasil pengujian EDAX Komposisi Kimia Paduan Aluminium Silikon AC4B hasil pengujian nilai fluiditas

	Warna	No. Titik	Unsur (wt. %)								Elemen lain	Fasa yang mungkin
			Al	Si	Fe	Cu	Ti	O	Mn	S		
Nilai fluiditas terpanjang	Base mat.Al (abu-abu)	1	84.91	2.09	-	10.12	0.94	1.93	-	-	Sisa	
	Putih	2	40.82	4.26	18.79	30.92	-	2.74	2.47	-	Sisa	Al <sub>3</sub> Cu, Al <sub>5</sub> FeSi, Al <sub>15</sub> Mn <sub>3</sub> Si <sub>2</sub>
	Abu-abu	3	37.42	51.92	-	-	5.90	4.77			Sisa	AlSiCu, TiAl <sub>3</sub> ,
Nilai fluiditas menengah	Base mat.Al (abu-abu)	1	93.87	2.36	-	2.57	-	1.19	-	-	Sisa	
	Putih	2	19.48	0.36	0.72	75.54	-	3.52	-	0.37	Sisa	Al <sub>2</sub> Cu <sub>3</sub> (kaya Cu), Al <sub>3</sub> Cu, Al <sub>5</sub> FeSi
	Abu-abu	3	6.69	67.10	-	6.35	11.39	8.47	-	-	Sisa	AlSi,TiAl <sub>3</sub>
Nilai fluiditas terpendek	Base mat.Al (abu-abu)	1	97.15	1.63	-	-	-	1.22	-	-	Sisa	
	Putih	2	69.43	15.52	-	13.38	-	1.67	-	-	Sisa	Al <sub>2</sub> Cu, Al <sub>3</sub> Cu,
	Abu-abu	3	94.38	2.74	-	1.52	-	1.36	-	-	Sisa	AlSiCu
	Abu-abu	4	16.40	76.12	-	5.97	-	1.52	-	-	Sisa	

Dari Tabel 4.8 diatas tampak adanya tiga fasa yang terlihat seperti huruf cina (*chinese script*). Fasa yang pertama (1) adalah material base itu sendiri (mendominasi), yang kedua (2) berbentuk memanjang agak putih/silver terletak di batas butir tampak sekali adanya fasa yang terbentuk dari unsur Cu dalam jumlah yang cukup tinggi/kaya Cu dan juga dengan penambahan sedikit fasa intermetalik Fe dan Mn, diperkirakan fasa yang terbentuk adalah Al<sub>2</sub>Cu, Al<sub>3</sub>Cu, Al<sub>15</sub>Mn<sub>3</sub>Si<sub>2</sub> dan fasa intermetalik Al<sub>5</sub>FeSi.yang berefek merugikan/harus dihindari karena menyebabkan sifat getas dan menghambat nilai fluiditas. Sedangkan fasa yang ketiga adalah (3) adalah memanjang abu-abu tipis terletak di batas butir adalah fasa yang terbentuk unsur Silikon (Si) dan juga sedikit Titanium(Ti), fasa yang diperkirakan terbentuk yaitu fasa AlSiCu dan TiAl<sub>3</sub>.

Dari dasar teori bahwa paduan aluminium AC4B memiliki kandungan Silikon sebanyak 7-10 wt.% dan tembaga sebanyak 2 – 4 wt.%. Dengan komposisi tersebut, fasa-fasa yang dominan terdapat pada paduan aluminium AC4B merupakan fasa-fasa yang terdapat pada diagram fasa Al-Si dan Al-Cu. Adanya fasa-fasa *intermetalik* selain aluminium primer dan silikon yang terbentuk dari unsur paduan lain. *Intermetalik* terbanyak adalah  $Al_2Cu$  yang terbentuk karena sudah terlampauinya batas daya larut Cu pada Al. Selain itu, *intermetalik* lain yang dijumpai pada paduan aluminium tuang Al-Si-Cu adalah  $Al_5FeSi$ ,  $Al_{15}Mn_3Si_2$ ,  $Mg_2Si$ , dan  $Al_8FeMg_3Si_6$ [8][9]. Dengan demikian hasil dari pengujian EDX ini adalah bahwa fasa- fasa tersebut diatas adalah termasuk dalam kategori fasa – fasa yang terdapat dalam aluminium AC4B.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 KESIMPULAN**

1. Alat uji fluiditas gravitasi baru telah berhasil dirancang dan dimanufaktur, dan di uji coba..
2. Hasil uji coba alat uji fluiditas gravitasi baru adalah sebagai berikut:
  - a. Nilai fluiditas meningkat dengan peningkatan temperatur hingga 200°C namun kemudian menurun dengan temperatur yang lebih tinggi. Nilai fluiditas pada temperature 200°C adalah 500 mm.
  - b. Pada temperatur cetakan dijaga konstan 200°C, nilai fluiditas meningkat dengan peningkatan kecepatan pemiringan hingga kecepatan pemiringan sebesar 42 mm/s, namun kemudian menurun dengan kecepatan pemiringan yang lebih tinggi. Nilai fluiditas pada kecepatan pemiringan 42 mm/s adalah 274 mm.
  - c. Bila dibandingkan dengan alat uji fluiditas vakum yang sudah ada sebelumnya, tingkat reliabilitas alat uji fluiditas gravitasi baru lebih rendah, sehingga diperlukan perbaikan desain aliran laminar.  
Hasil tersebut tidak sesuai teori, yang diperkirakan disebabkan oleh aliran yang tidak laminar sempurna.
3. Hasil pengujian tarik, pengujian kekerasan dan pengujian komposisi kimia, dan pengamatan mikrostruktur memvalidasi bahwa material yang diuji coba adalah AC4B.

#### **5.2 SARAN**

1. Perlu penyempurnaan lebih lanjut untuk meminimalisasi pengaruh ketrampilan operator untuk menghasilkan aliran laminar.
2. Perlu adanya penyempurnaan lebih lanjut untuk alat uji fluiditas terutama untuk alat uji fluiditas dengan variasi kecepatan pemiringan dalam hal otomatisasi pergerakan awal/*start* silinder dan pergerakan akhir/*stop* karena sangat tergantung dari operator.
3. Perlu adanya perbaikan desain untuk buka-tutup dari cetakan karena memakan waktu yang cukup lama hampir setengah jam.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] M.C. Flemming,(1974).*Solidification Processing*.London: McGraw Hills Inc.
- [2] A.K. Dahle, P.A. Tondel , C.J. Paradise and L. Arnberg.(1996). *Metal, Matter, Trans*; 27A: 2305-2313, 1996.
- [3] M. Di Sabatino. (2005). *An improved method for fluidity measurement by gravity casting of spiral sand mould*.(vol 18 No 1). International Journal of Cast Metal Research.
- [4] Campbel John and Harding A Richard.(1994) *TALAT Lecture 3203- The Filling Of Casting*, ( pp 7- 9). EAA: European Alluminium Association.
- [5] M.C. Flemmings, F. R. Mollard and H.F. Taylor(1961) *Modification Casting*. (pp. 100-110).
- [6] C.R. Loper J.R..(1992) *AFS Trans*( pp.533-538)
- [7] L.F. Porter and P. C Rosenthal(1952). *AFS Trans*. (pp. 725-739).
- [8] J.M. Kim and C.R. Loper JR. (1995) *AFS Trans*. (pp. 521-529).
- [9] F.L. Arnold, J.L. Jorstad and G.E Stein.(1963)*Curr. Eng. Pract.* (pp. 10-15).
- [10] J.L. Jorstad, Wayne M Rasmussen.(1997). *Aluminium Casting & Technology* (2nd edition pp. 1-20, 34-35, 40-43).Illinois: American Foundrymen's Society
- [11] Kaufman, J Gilbert and Roy, Elwin L. (2004). *Aluminium Alloy Casting Properties, Process, and Application*. (pp.15-17, 40-41, 45.(7)).ASM International,
- [12] John E Gruzleski, Bernard M. Closset.(1990) *The treatment of Aluminum-Silicon Alloys*,( pp. 1 2-40.(2)). Illinois: American Foundrymen's Society.
- [13] Japan International Standard, JIS, H5202-1978, (1978) *JIS Handbook Non Ferrous Metal and Metallurgy*, Tokyo: Japanesse Standard Association.

- [14] B.Gariepy, G.Dube.(1984) *the TAC Process, A Proven Technology, in Light Metals*, The Metallurgical Society.
- [15] B.Gariepy, G. Dube, the TAC. (1986). *A new Process for Molten Aluminium Refining*, in Proceedings of Aluminium Technology ‘ 86, Institute of Metal.
- [16] J.D. Borman and K Buxman, Dufi.(1982) *A concept of Metal Filtration, in Light Metal*, The Metallurgical Society.
- [17] J.L. Jorstad. (1986). *An Overview of the Need for Melt Cleanliness Control*, in Proceedings of the International Molten Aluminium Conference, American Foundrymen’s Society.
- [18] Kalpakjian, Serope.(1995) *Manufacturing Engineering and Technology*, (3<sup>rd</sup> edition pp 272-283). Illinois: Institute of Technology. Addison–Wesley Publishing Company,
- [19] Suharno Bambang, Is Prima Nanda dan Agung Baskoro.(2007). *Pengaruh Kadar Besi Terhadap Pembentukan Fasa Intermetalik Al-Fe-Si dan Nilai Fluiditas Paduan Hipoeutektik Aluminium Silikon*. (Edisi No 3 Tahun XXI, September 2007, pp 201-208). Jurnal Teknologi ,
- [20] M. Di Sabatino. (2005). *Influence of Temperature and Alloying Elements on Fluidity of Al-Si Alloys*, (vol 18 No 1). International Journal of Cast Metal Research.
- [21] Surdia Tata, Chijiwa Kenji.(2006) *Teknik Pengecoran Logam*, (Cetakan ke 9, pp 74-76). Jakarta: Pradnya Paramita.
- [22] Spiegel Murray R, PhD..(1981). *Schaum’s Outline of Theory and Problems of Statistics in SI Units*. First edition, Singapore: McGraw-Hill International Book Company.

## Lampiran 1: Hasil Pengujian Komposisi Kimia dengan Spektrometer

21-Dec-10 20:33:18 Sampel: AL-A  
Program: ALS1CU Task: ALS1CU

*kerapas*

Run	Si4	Fe7	Cu9	Mn5	Hg1	Zn5	Ti4	Cr1	Ni6	Pb6	Sn5	ALZ
1>	7.36264	0.60303	2.07924	0.10498	0.22686	0.94992	0.04089	0.02697	0.22780	0.09718	0.06419	88.2162
2>	6.81469	0.51640	1.97971	0.08871	0.21711	0.72653	0.03837	0.02060	0.07403	0.05203	0.02068	89.4511
3>	6.91817	0.51882	2.03214	0.09522	0.20656	0.58683	0.03487	0.01894	0.05452	0.04514	0.01367	89.4751
AVG	7.03183	0.54608	2.03036	0.09630	0.21684	0.75443	0.03804	0.02217	0.11882	0.06478	0.03285	89.0475
Sd	0.29112	0.04934	0.04979	0.00819	0.01015	0.18314	0.00303	0.00424	0.09497	0.02827	0.02737	0.7200
Sd%	4.14008	9.03437	2.45207	8.50324	4.68155	24.27552	7.95504	19.11516	79.93056	43.63645	83.32129	0.8086

21-Dec-10 20:36:24 Sampel: AL-B  
Program: ALS1CU Task: ALS1CU

*Terra kerapas*

Run	Si4	Fe7	Cu9	Mn5	Hg1	Zn5	Ti4	Cr1	Ni6	Pb6	Sn5	ALZ
1>	9.00054	0.78339	2.60627	0.13684	0.24940	0.53835	0.02707	0.01864	0.04149	0.05660	0.00806	86.5334
2>	8.78475	0.71138	2.49329	0.13064	0.24271	0.53191	0.02691	0.01826	0.03998	0.05234	0.00818	86.9596
3>	8.71681	0.68556	2.42098	0.12828	0.23700	0.52728	0.02681	0.01805	0.03972	0.04851	0.00794	87.1431
AVG	8.83403	0.72678	2.50685	0.13192	0.24304	0.53251	0.02693	0.01832	0.04040	0.05248	0.00806	86.8787
Sd	0.14615	0.05070	0.09339	0.00442	0.00620	0.00556	0.00013	0.00030	0.00095	0.00405	0.00012	0.3128
Sd%	1.67701	6.97620	3.72525	3.35074	2.55209	1.04448	0.49076	1.63639	2.35815	7.71008	1.51100	0.3601

## Lampiran 2: Hasil Pengujian Kekerasan



**FAKULTAS TEKNIK – UNIVERSITAS INDONESIA**  
**LABORATORIUM UJI**  
**DEPARTEMEN TEKNIK METALURGI & MATERIAL**

KAMPUS BARU UI - DEPOK 16424 - INDONESIA  
 Telp: 021 – 7863510, 78849045 Fax : 021 – 7872350 E-mail : lum@metal.ui.ac.id

**LAPORAN PENGUJIAN KEKERASAN**  
**HARDNESS TEST REPORT**

Page 1 of 1

<b>No Laporan</b> <i>Report Nr</i>	0769	<b>Bahan</b> <i>Material</i>	Rod Al
<b>Pemakai Jasa</b> <i>Customer</i>	Bp Rudi	<b>Identitas Bahan</b> <i>Material Identity</i>	Rod Al
<b>Alamat</b> <i>Address</i>	DTMM	<b>Tanggal Terima</b> <i>Receiving Date</i>	November 26 <sup>th</sup> , 2010
<b>No Kontrak</b> <i>Contract Nr.</i>	1341/PT.02/FT04/P/2010	<b>Standar</b> <i>Standard</i>	ASTM E18-07
<b>Tanggal Uji</b> <i>Date of Test</i>	Desember 9 <sup>th</sup> , 2010	<b>Mesin Uji</b> <i>Testing machine</i>	Rockwell Hardness Testing Machine

<b>Kode Sampel</b> <i>Sample Code</i>	<b>Penjejakkan</b> <i>Indentation</i>	<b>Kekerasan Rockwell B (HRB)</b> <i>Rockwell B Hardness (HRB)</i>	<b>Rata-rata HRB</b> <i>Average</i>	<b>Keterangan</b> <i>Remarks</i>
Al Rod	I	38.6	39	Load = 100 kgf
	II	38.2		
	III	38.3		
	IV	42		
	V	39.2		

Depok, Desember 9<sup>th</sup>, 2010  
 LABORATORIUM UJI MATERIAL  
 Technical Manager,



(Ahmad Ivan Karayan, ST, M.Eng)

## Lampiran 3: Hasil Pengujian Tarik



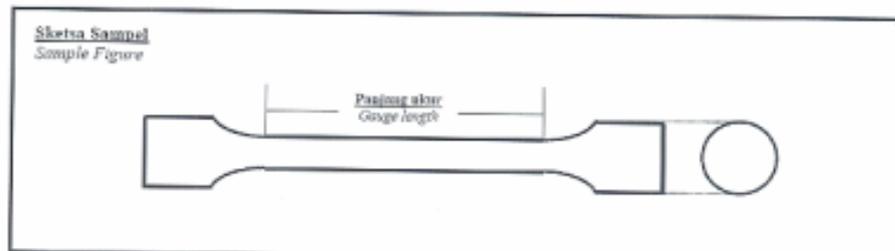
FAKULTAS TEKNIK – UNIVERSITAS INDONESIA  
**LABORATORIUM UJI**  
**DEPARTEMEN TEKNIK METALURGI & MATERIAL**

KAMPUS BARU UI - DEPOK 16124 - INDONESIA  
 Telp: 021 – 7863510, 78849045 Fax : 021 – 7872350 E-mail : lum@metal.ui.ac.id

**LAPORAN PENGUJIAN TARIK**  
**TENSILE TEST REPORT**

Page 1 of 5

No Laporan <i>Report Nr</i>	1341	Bahan <i>Material</i>	Al
Pemakai Jasa <i>Customer</i>	Rudi E	Identitas Bahan <i>Material Identity</i>	Rod 1
Alamat <i>Address</i>	DTMM FTUI	Tanggal Terima <i>Receiving Date</i>	November 23 <sup>th</sup> , 2010
No Kontrak <i>Contract Nr.</i>	1341/PT.02/FT04/P/2010	Standar <i>Standard</i>	JIS Z 2201
Tanggal Uji <i>Date of Test</i>	December 13 <sup>th</sup> , 2010	Mesin Uji <i>Testing machine</i>	Servopulser Shimadzu Kapasitas 20 Ton



Code	SAMPSEL			Kuat Tarik <i>Tensile Strength</i> (Kg/mm <sup>2</sup> )[MPa]	Batas Luluh <i>Yield Strength</i> (Kg/mm <sup>2</sup> )[MPa]	Regangan <i>Elongation</i> (%)	Keterangan <i>Remark</i>
	Cross section (mm)	Area (mm <sup>2</sup> )	Gauge length (mm)				
Rod 1	13.30	138.92	50	15[147]	-	3 %	Putus di Luar Lo

$\frac{0.45 \times 5}{50} \times 100 \% = 2.5 \%$

Depok, December 13<sup>th</sup> 2010  
 Manajer Teknis  
 Laboratorium Uji  
 Departemen Teknik Metalurgi Dan Material

(Ahmad Ivan Karayan, ST.,M.Eng)

FF-22/ LU-DTMM Rev 1

Laporan hasil pengujian ini hanya berlaku untuk sample yang diuji di Laboratorium Uji-DTMM, publikasi serta penggunaan dokumen ini atau sebagian dari padanya harus dengan izin dari Laboratorium Uji-DTMM



DEPARTMENT OF METALLURGY AND MATERIALS  
 FACULTY OF ENGINEERING UNIVERSITY OF INDONESIA



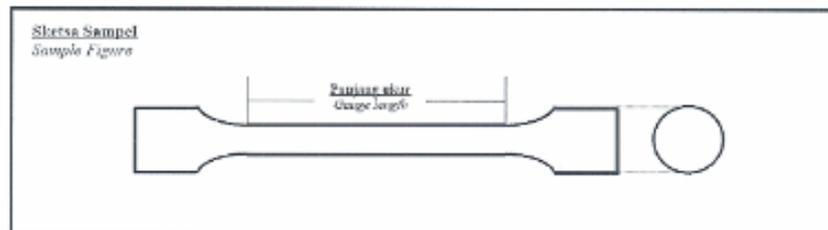
**FAKULTAS TEKNIK – UNIVERSITAS INDONESIA**  
**LABORATORIUM UJI**  
**DEPARTEMEN TEKNIK METALURGI & MATERIAL**

KAMPUS BARU UI - DEPOK 16424 - INDONESIA  
 Telp: 021 – 7863510, 78849045 Fax : 021 – 7872350 E-mail : lum@metal.ui.ac.id

**LAPORAN PENGUJIAN TARIK**  
**TENSILE TEST REPORT**

Page 2 of 5

No Laporan <i>Report No</i>	1341	Bahan <i>Material</i>	Al
Pemakai Jasa <i>Customer</i>	Rudi E	Identitas Bahan <i>Material Identity</i>	Red 2
Alamat <i>Address</i>	DTMM FTUI	Tanggal Terima <i>Receiving Date</i>	November 23 <sup>th</sup> , 2010
No Kontrak <i>Contract No</i>	1341/PT.02/FT04/P/2010	Standar <i>Standard</i>	JIS Z 2201
Tanggal Uji <i>Date of Test</i>	December 13 <sup>th</sup> , 2010	Mesin Uji <i>Testing machine</i>	Servopulser Shimadzu Kapasitas 20 Ton

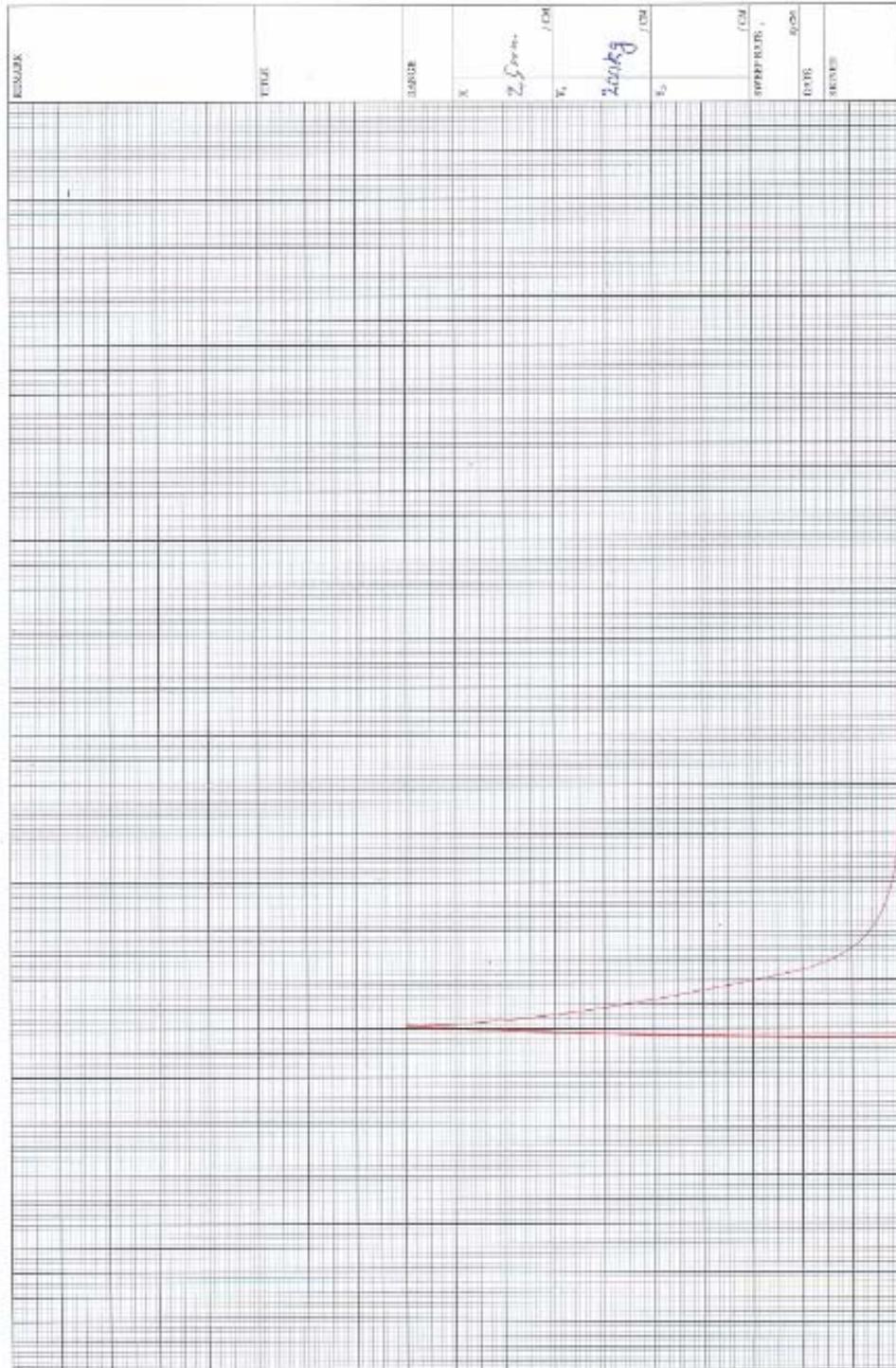


$$0,25 \times 8 \times 100 \frac{1}{8} = 2 \%$$

Code	SAMPSEL			Kuat Tarik <i>Tensile Strength</i> (Kg/mm <sup>2</sup> )[MPa]	Batas Luluh <i>Yield Strength</i> (Kg/mm <sup>2</sup> )[MPa]	Regangan <i>Elongation</i> (%)	Keterangan <i>Remark</i>
	Cross section (mm)	Area (mm <sup>2</sup> )	Gauge length (mm)				
Red 2	13,45	142,08	50	14[137]	-	2 %	Putus di Luar Lo

Depok, December 13<sup>th</sup> 2010  
 Manjer Teknis  
 Laboratorium Uji  
 Departemen Teknik Metalurgi Dan Material

(Ahmad Ivan Karayan, ST.,M.Eng)



DEPARTMENT OF METALLURGY AND MATERIALS  
FACULTY OF ENGINEERING UNIVERSITY OF INDONESIA



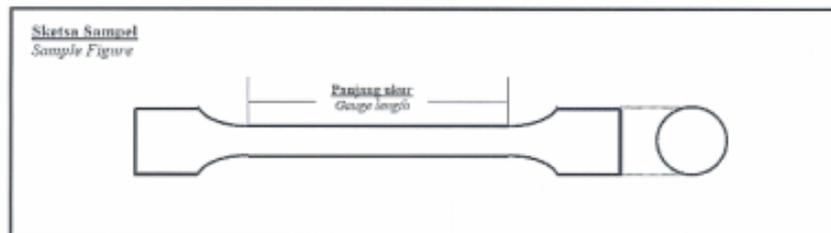
**FAKULTAS TEKNIK – UNIVERSITAS INDONESIA**  
**LABORATORIUM UJI**  
**DEPARTEMEN TEKNIK METALURGI & MATERIAL**

KAMPUS BARU UI - DEPOK 16424 - INDONESIA  
 Telp: 021 – 7863510, 78849045 Fax : 021 – 7872350 E-mail : lum@metal.ui.ac.id

**LAPORAN PENGUJIAN TARIK**  
**TENSILE TEST REPORT**

Page 3 of 5

No Laporan <i>Report Nr</i>	1341	Bahan <i>Material</i>	Al
Pemakai Jasa <i>Customer</i>	Rudi E	Identitas Bahan <i>Material Identity</i>	Rod 3
Alamat <i>Address</i>	DTMM FTUI	Tanggal Terima <i>Receiving Date</i>	November 23 <sup>th</sup> , 2010
No Kontrak <i>Contract Nr.</i>	1341/PT.02/FT04/P/2010	Standar <i>Standard</i>	JIS Z 2201
Tanggal Uji <i>Date of Test</i>	December 13 <sup>th</sup> , 2010	Mesin Uji <i>Testing machine</i>	Servopulser Shimadzu Kapasitas 20 Ton



SAMPSEL				Kuat Tarik <i>Tensile Strength</i> (Kg/mm <sup>2</sup> )[MPa]	Batas Luluh <i>Yield Strength</i> (Kg/mm <sup>2</sup> )[MPa]	Regangan <i>Elongation</i> (%)	Keterangan <i>Remark</i>
Code	Cross section (mm)	Area (mm <sup>2</sup> )	Gauge length (mm)				
Rod 3	12.60	124.68	50	13[127]	-	-	Putus di Luar Lo

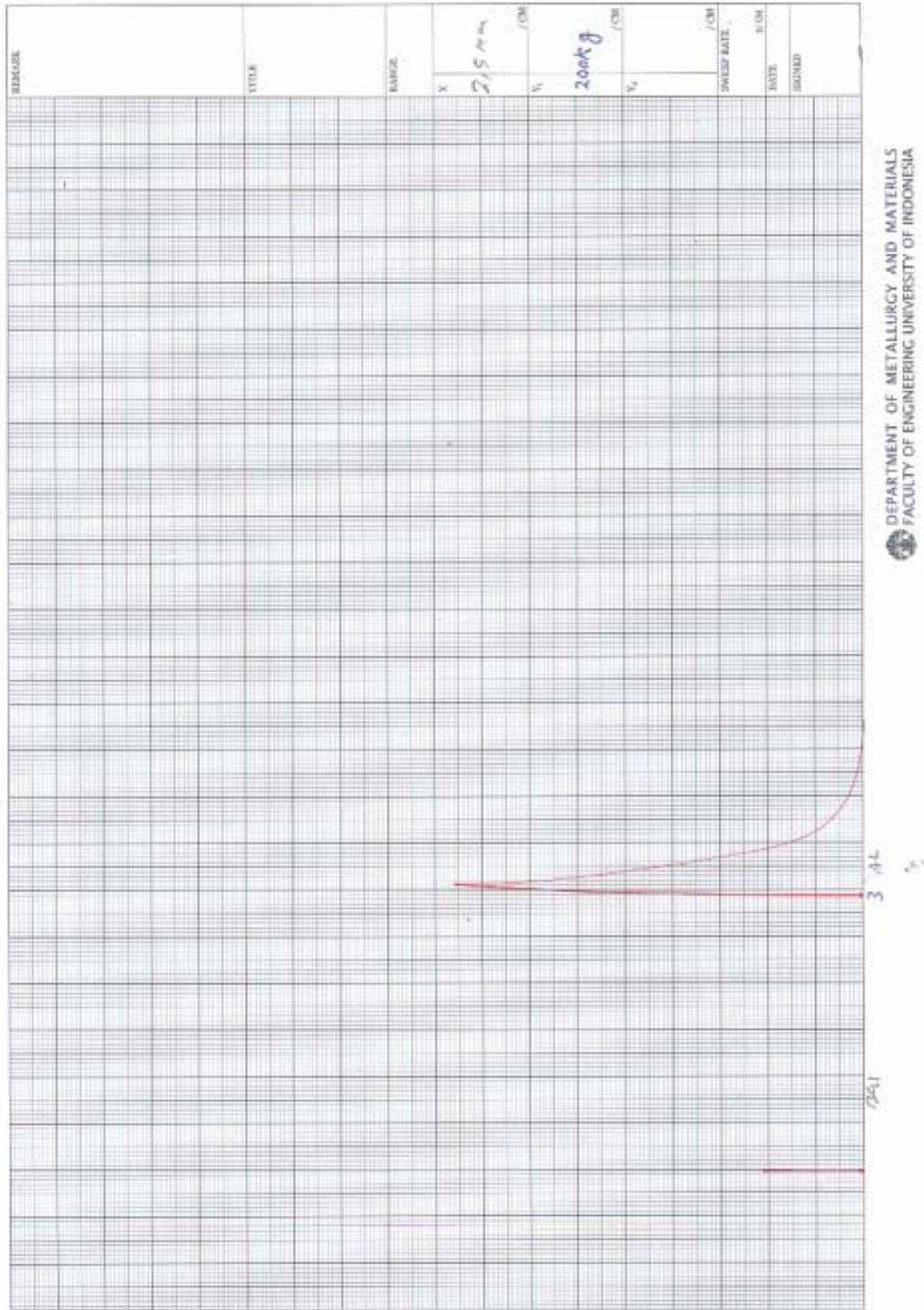
*0,25 x 3 x 100 % = 1,5 %*

Depok, December 13<sup>th</sup> 2010  
 Manajer Teknis  
 Laboratorium Uji  
 Departemen Teknik Metalurgi Dan Material

(Ahmad Ivan Karayan, ST., M.Eng)

FF-22/ LU-DTMM Rev 1

Laporan hasil pengujian ini hanya berlaku untuk sampel yang diuji di Laboratorium Uji-DTMM, publikasi serta penggunaan dokumen ini atau sebagian dari padanya harus dengan izin dari Laboratorium Uji-DTMM





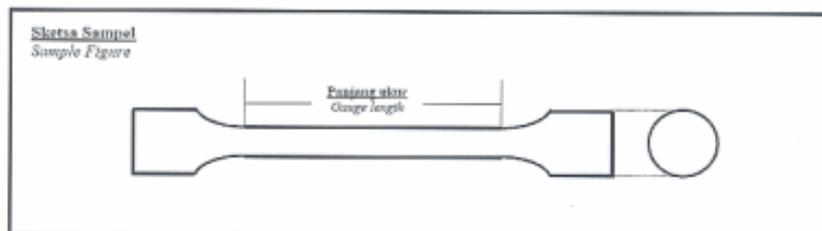
**FAKULTAS TEKNIK – UNIVERSITAS INDONESIA**  
**LABORATORIUM UJI**  
**DEPARTEMEN TEKNIK METALURGI & MATERIAL**

KAMPUS BARU UI - DEPOK 16424 - INDONESIA  
 Telp: 021 – 7863510, 78849045 Fax : 021 – 7872350 E-mail : lum@metal.ui.ac.id

**LAPORAN PENGUJIAN TARIK**  
**TENSILE TEST REPORT**

Page 4 of 5

<b>No Laporan</b> <i>Report Nr</i>	1341	<b>Bahan</b> <i>Material</i>	Al
<b>Pemakai Jasa</b> <i>Customer</i>	Rudi E	<b>Identitas Bahan</b> <i>Material Identity</i>	Rod 4
<b>Alamat</b> <i>Address</i>	DTMM FTUI	<b>Tanggal Terima</b> <i>Receiving Date</i>	November 23 <sup>rd</sup> , 2010
<b>No Kontrak</b> <i>Contract Nr.</i>	1341/PT.02/FT04/P/2010	<b>Standar</b> <i>Standard</i>	JIS Z 2201
<b>Tanggal Uji</b> <i>Date of Test</i>	December 13 <sup>th</sup> , 2010	<b>Mesin Uji</b> <i>Testing machine</i>	Servopulser Shimadzu Kapasitas 20 Ton



$\frac{0,50}{50} \times 100\% = 1,0\%$

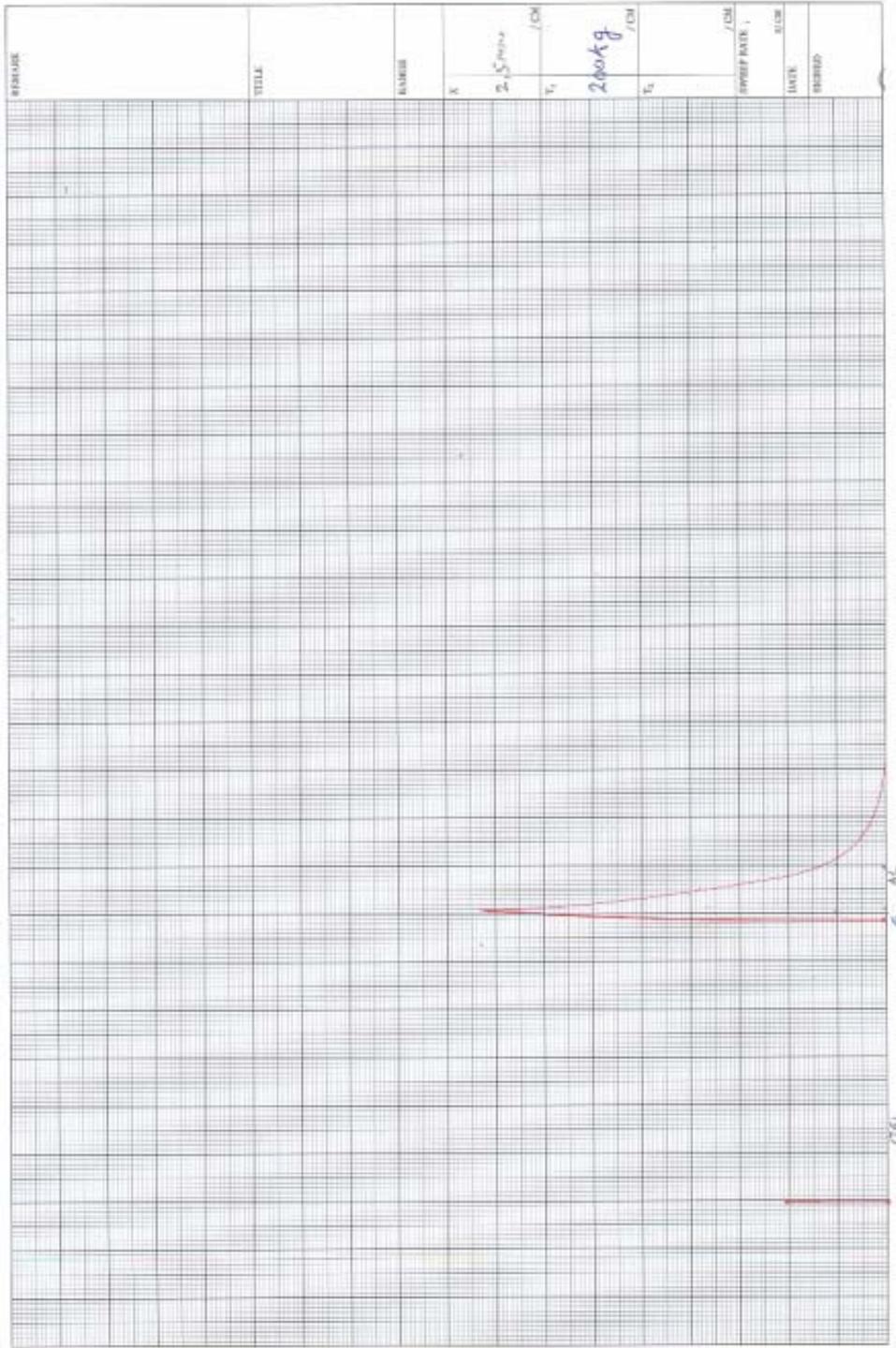
Code	SAMPSEL			Kuat Tarik <i>Tensile Strength</i> (Kg/mm <sup>2</sup> )[MPa]	Batas Luluh <i>Yield Strength</i> (Kg/mm <sup>2</sup> )[MPa]	Regangan <i>Elongation</i> (%)	Keterangan <i>Remark</i>
	Cross section (mm)	Area (mm <sup>2</sup> )	Gauge length (mm)				
Rod 4	13.25	137.88	50	12[118]	-	-	Putus di Luar Lo

Depok, December 13<sup>th</sup> 2010  
 Manajer Teknis  
 Laboratorium Uji  
 Departemen Teknik Metalurgi Dan Material

(Ahmad Ivan Karayan, ST.,M.Eng)

FF-22/ LU-DTMM Rev 1

Laporan hasil pengujian ini hanya berlaku untuk sample yang diuji di Laboratorium Uji-DTMM, publikasi serta penggunaan dokumen ini atau sebagian dari padanya harus dengan izin dari Laboratorium Uji-DTMM



DEPARTMENT OF METALLURGY AND MATERIALS  
FACULTY OF ENGINEERING UNIVERSITY OF INDONESIA



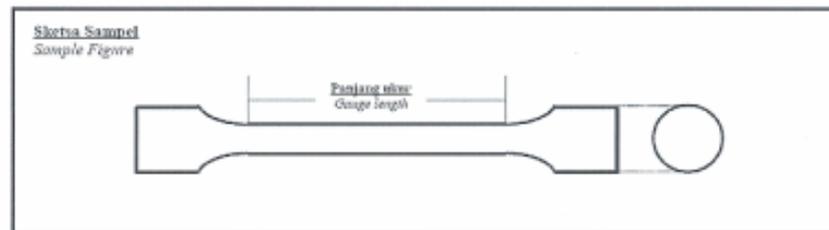
**FAKULTAS TEKNIK – UNIVERSITAS INDONESIA**  
**LABORATORIUM UJI**  
**DEPARTEMEN TEKNIK METALURGI & MATERIAL**

KAMPUS BARU UI - DEPOK 16424 - INDONESIA  
 Telp: 021 – 7863510, 78849045 Fax : 021 – 7872350 E-mail : lum@metal.ui.ac.id

**LAPORAN PENGUJIAN TARIK**  
**TENSILE TEST REPORT**

Page 5 of 5

<b>No Laporan</b> <i>Report Nr</i>	1341	<b>Bahan</b> <i>Material</i>	Al
<b>Pemakai Jasa</b> <i>Customer</i>	Rudi E	<b>Identitas Bahan</b> <i>Material Identity</i>	Rod 5
<b>Alamat</b> <i>Address</i>	DTMM FTUI	<b>Tanggal Terima</b> <i>Receiving Date</i>	November 23 <sup>th</sup> , 2010
<b>No Kontrak</b> <i>Contract Nr</i>	1341/PT.02/FT04/P/2010	<b>Standar</b> <i>Standard</i>	JIS Z 2201
<b>Tanggal Uji</b> <i>Date of Test</i>	December 13 <sup>th</sup> , 2010	<b>Mesin Uji</b> <i>Testing machine</i>	Servopulser Shimadzu Kapasitas 20 Ton



$$\frac{0,125 \times 2 \times 100}{50} \% = 1\%$$

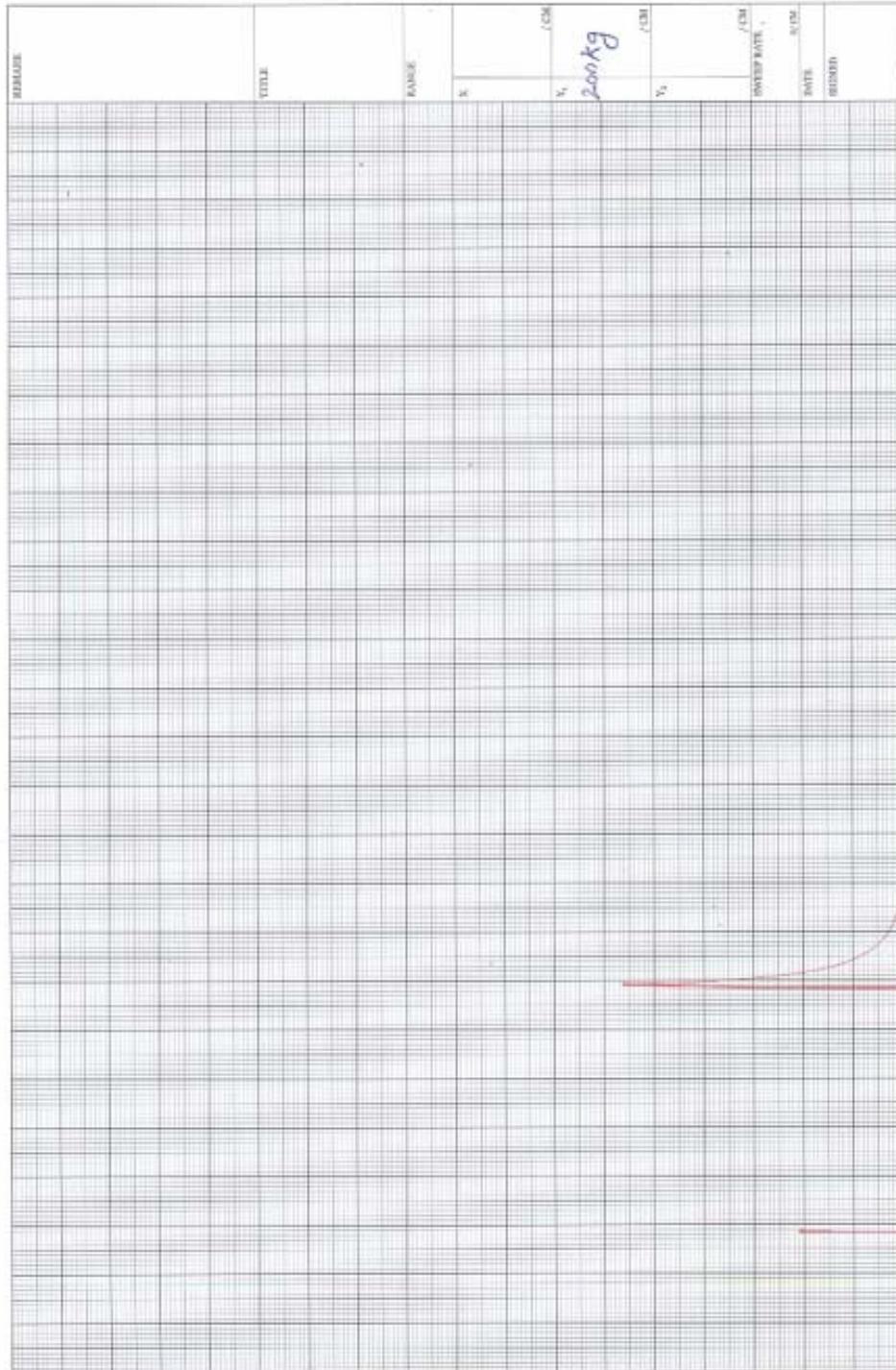
Code	SAMPSEL			Kuat Tarik <i>Tensile Strength</i> (kg/mm <sup>2</sup> )[MPa]	Batas Luluh <i>Yield Strength</i> (kg/mm <sup>2</sup> )[MPa]	Regangan <i>Elongation</i> (%)	Keterangan <i>Remark</i>
	Cross section (mm)	Area (mm <sup>2</sup> )	Gauge length (mm)				
Rod 5	13.00	132.73	50	8 [78]	-	-	Putus di Luar Lo

Depok, December 13<sup>th</sup> 2010  
 Manajer Teknis  
 Laboratorium Uji  
 Departemen Teknik Metalurgi Dan Material

(Ahmad Ivan Karayan, ST., M.Eng)

FF-22/ LU-DTMM Rev 1

Laporan hasil pengujian ini hanya berlaku untuk sample yang diuji di Laboratorium Uji-DTMM; publikasi serta penggunaan dokumen ini atau sebagian dari padanya harus dengan izin dari Laboratorium Uji-DTMM



DEPARTMENT OF METALLURGY AND MATERIALS  
FACULTY OF ENGINEERING UNIVERSITY OF INDONESIA

## Lampiran 4: Hasil Pengamatan Struktur Makro dengan Mikroskop Optik Pada Patahan Uji Tarik



**FAKULTAS TEKNIK – UNIVERSITAS INDONESIA**  
**LABORATORIUM UJI**  
**DEPARTEMEN TEKNIK METALURGI & MATERIAL**

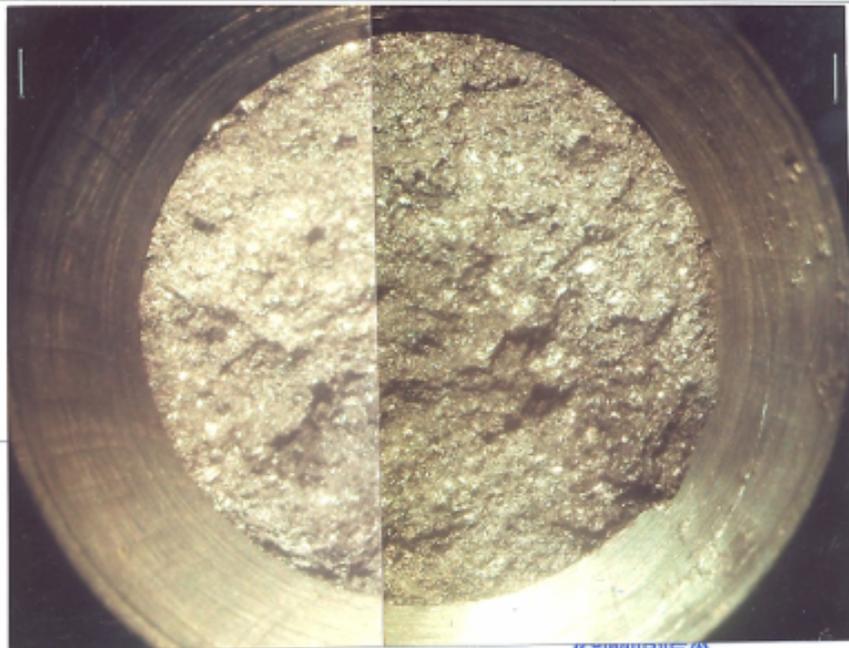
KAMPUS BARU UI - DEPOK 16424 - INDONESIA  
Telp: 021 – 7863510, 78849045 Fax : 021 – 7872350 E-mail : lum@metal.ui.ac.id

**LAPORAN PENGUJIAN STRUKTUR MAKRO**  
**MACROSTRUCTURE TEST REPORT**

Page 1 of 2

<b>No Laporan</b> <i>Report Nr</i>	1341	<b>Bahan</b> <i>Material</i>	Aluminium
<b>Pemakai Jasa</b> <i>Customer</i>	Bapak Rudi	<b>Identitas Bahan</b> <i>Material Identity</i>	Tensile Test Part Fracture
<b>Alamat</b> <i>Address</i>	DTMM	<b>Tanggal Terima</b> <i>Receiving Date</i>	November 23 <sup>rd</sup> , 2010
<b>No Kontrak</b> <i>Contract Nr</i>	1341/PT.02/FT04/P/2010	<b>Standar</b> <i>Standard</i>	ASTM E 340-00
<b>Tanggal Uji</b> <i>Date of Test</i>	December 16 <sup>th</sup> , 2010	<b>Mesin Uji</b> <i>Testing machine</i>	Wild Photo Macro

<b>Kode Sampel</b> : <i>Sample Code</i>	1	<b>Ersa</b> : <i>Etching</i>	-
<b>Lokasi foto</b> : <i>Picture's location</i>	Penampang Patahan	<b>Keterangan:</b> <i>Remarks</i>	-
<b>Perbesaran</b> : <i>Magnification</i>	7x		



(Ahmad Ivan Karayan, S.T., M.Eng)

Laporan hasil pengujian ini hanya berlaku untuk sampel yang diuji di Laboratorium Uji-DTMM. Publikasi serta penggunaan  
delapan ini atau sebagian dari padanya harus dengan izin dari Laboratorium Uji-DTMM



**FAKULTAS TEKNIK – UNIVERSITAS INDONESIA**  
**LABORATORIUM UJI**  
**DEPARTEMEN TEKNIK METALURGI & MATERIAL**

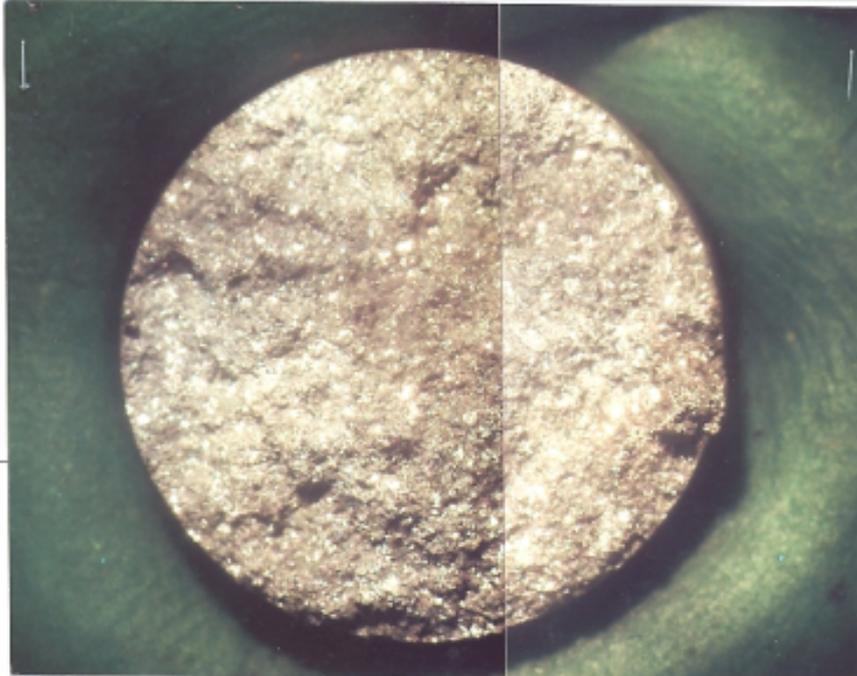
KAMPUS BARU UI - DEPOK 16424 - INDONESIA  
 Telp: 021 – 7863510, 78849045 Fax : 021 – 7872350 E-mail : [tum@metal.ui.ac.id](mailto:tum@metal.ui.ac.id)

**LAPORAN PENGUJIAN STRUKTUR MAKRO**  
**MACROSTRUCTURE TEST REPORT**

Page 2 of 2

<b>No Laporan</b> <i>Report Nr</i>	1341	<b>Bahan</b> <i>Material</i>	Aluminium
<b>Pemakai Jasa</b> <i>Customer</i>	Bapak Rudi	<b>Identitas Bahan</b> <i>Material Identity</i>	Tensile Test Part Fracture
<b>Alamat</b> <i>Address</i>	DTMM	<b>Tanggal Terima</b> <i>Receiving Date</i>	November 23 <sup>rd</sup> , 2010
<b>No Kontrak</b> <i>Contract Nr.</i>	1341/PT.02/FT04/P/2010	<b>Standar</b> <i>Standard</i>	ASTM E 340-00
<b>Tanggal Uji</b> <i>Date of Test</i>	December 16 <sup>th</sup> , 2010	<b>Mesin Uji</b> <i>Testing machine</i>	Wild Photo Macro

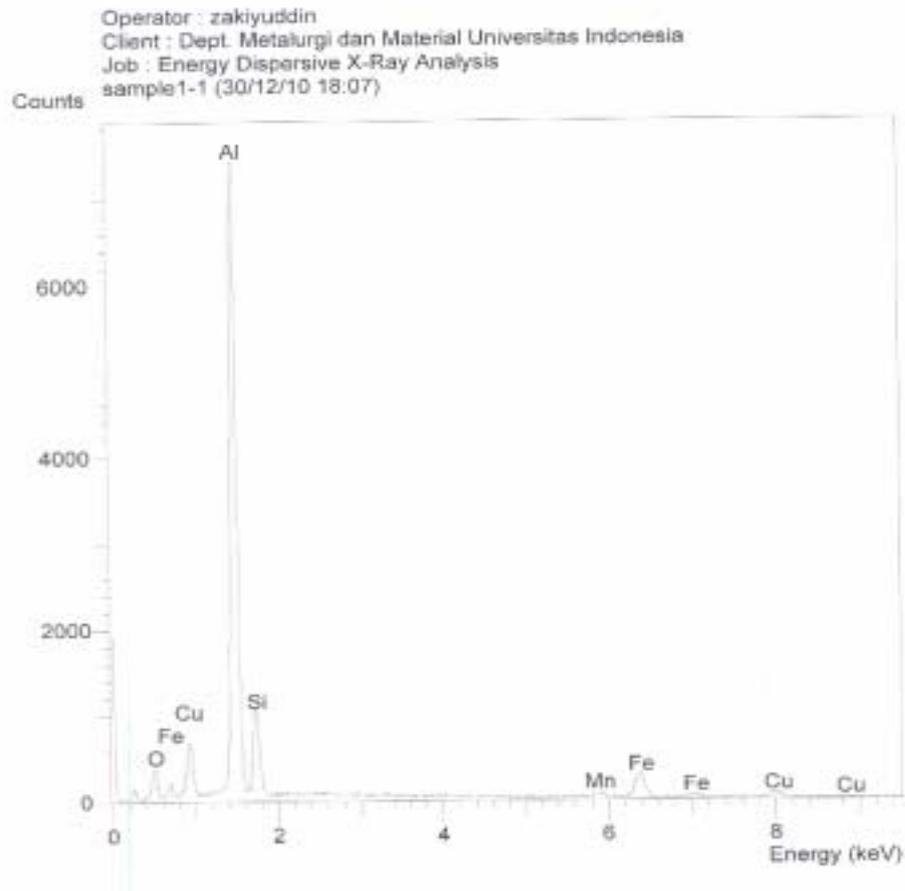
<b>Kode Sampel</b> : <i>Sample Code</i>	2	<b>Etsa</b> : <i>Etching</i>	-
<b>Lokasi foto</b> : <i>Picture's location</i>	Penampang Patahan	<b>Keterangan:</b> <i>Remarks</i>	-
<b>Perbesaran</b> : <i>Magnification</i>	7x		



(Ahmad Ivan Karayan, STA, M.Eng)

Laporan hasil pengujian ini hanya berlaku untuk sampel yang diuji di Laboratorium Uji-DTMM; publikasi serta penggunaan dokumen ini atau sebagian dari padanya harus dengan izin dari Laboratorium Uji-DTMM

### Lampiran 5: Hasil Pengujian Komposisi Kimia dengan EDX pada ujung hasil uji Fluiditas



SEMQuant results. Listed at 18:09:11 on 30/12/10  
 Operator: zakiyuddin  
 Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia  
 Job: Energy Dispersive X-Ray Analysis  
 Spectrum label: sample1-1

System resolution = 62 eV

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

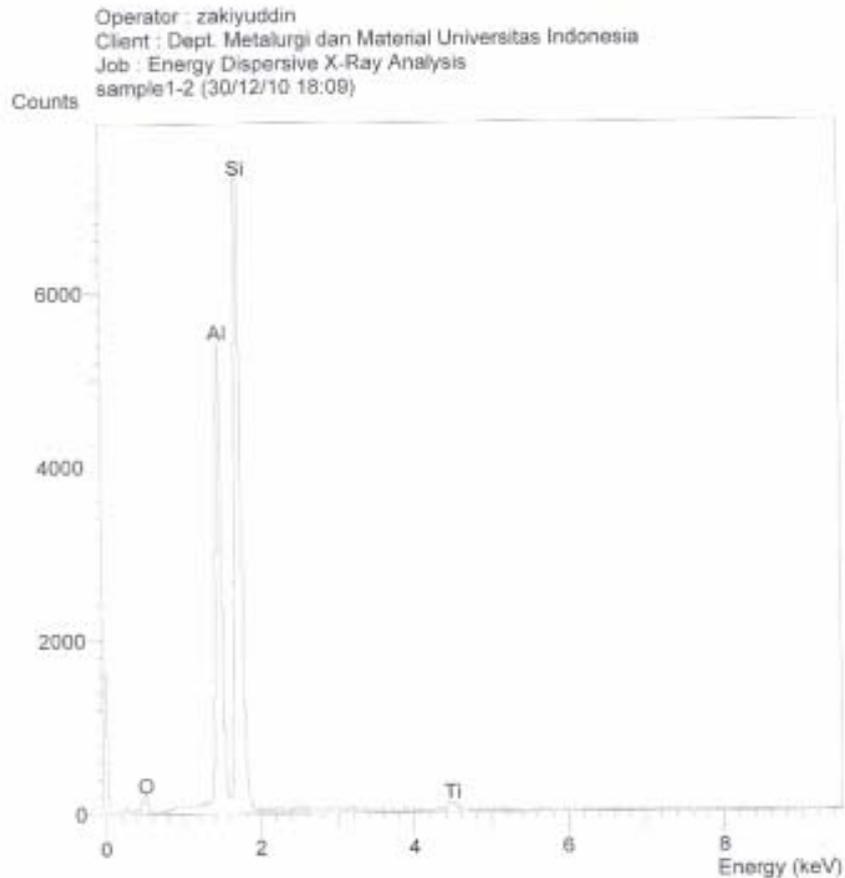
1 peak possibly omitted: 0.00 keV

Standards :

O K AL2O3 17/11/09  
 Al K AL2O3 17/11/09  
 Si K Low Carbon Steel 13/09/06  
 Mn K Mangan 02 13/09/06  
 Fe K FeS2 22/03/06  
 Cu K Copper 22/03/06

Elmt	Spect. Type	Element %	Atomic %
O K	ED	2.74	6.34
Al K	ED	40.82	55.95
Si K	ED	4.26	5.61
Mn K	ED	2.47	1.66
Fe K	ED	18.79	12.44
Cu K	ED	30.92	18.00
Total		100.00	100.00

\* = <2 Sigma



SEMQuant results. Listed at 18:10:49 on 30/12/10  
 Operator: zakiyuddin  
 Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia  
 Job: Energy Dispersive X-Ray Analysis  
 Spectrum label: sample1-2

System resolution = 60 eV

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

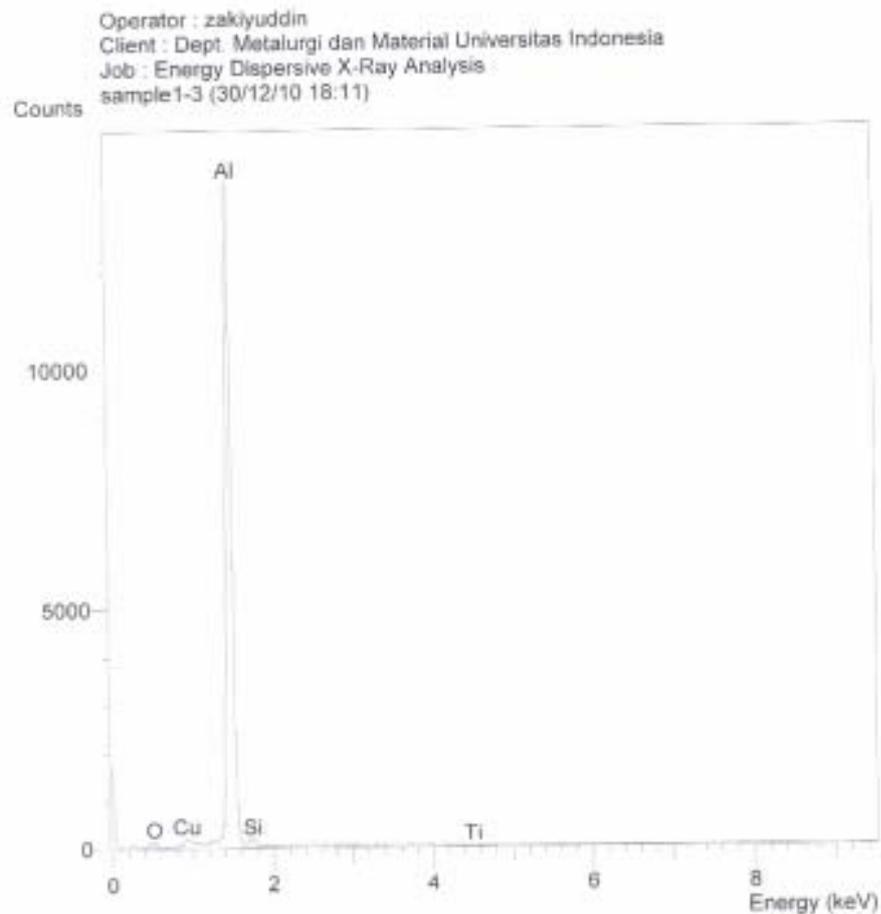
2 peaks possibly omitted: 0.00, 0.94 keV

Standards :

O K	AL2O3	17/11/09
Al K	AL2O3	17/11/09
Si K	Low Carbon Steel	13/09/06
Ti K	Titanium Oxide	19/05/06

Elmt	Spect. Type	Element %	Atomic %
O K	ED	4.77	8.15
Al K	ED	37.42	37.93
Si K	ED	51.92	50.56
Ti K	ED	5.90	3.37
Total		100.00	100.00

\* = <2 Sigma



SEMQuant results. Listed at 18:13:10 on 30/12/10  
 Operator: zakiyuddin  
 Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia  
 Job: Energy Dispersive X-Ray Analysis  
 Spectrum label: sample1-3

System resolution = 60 eV

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

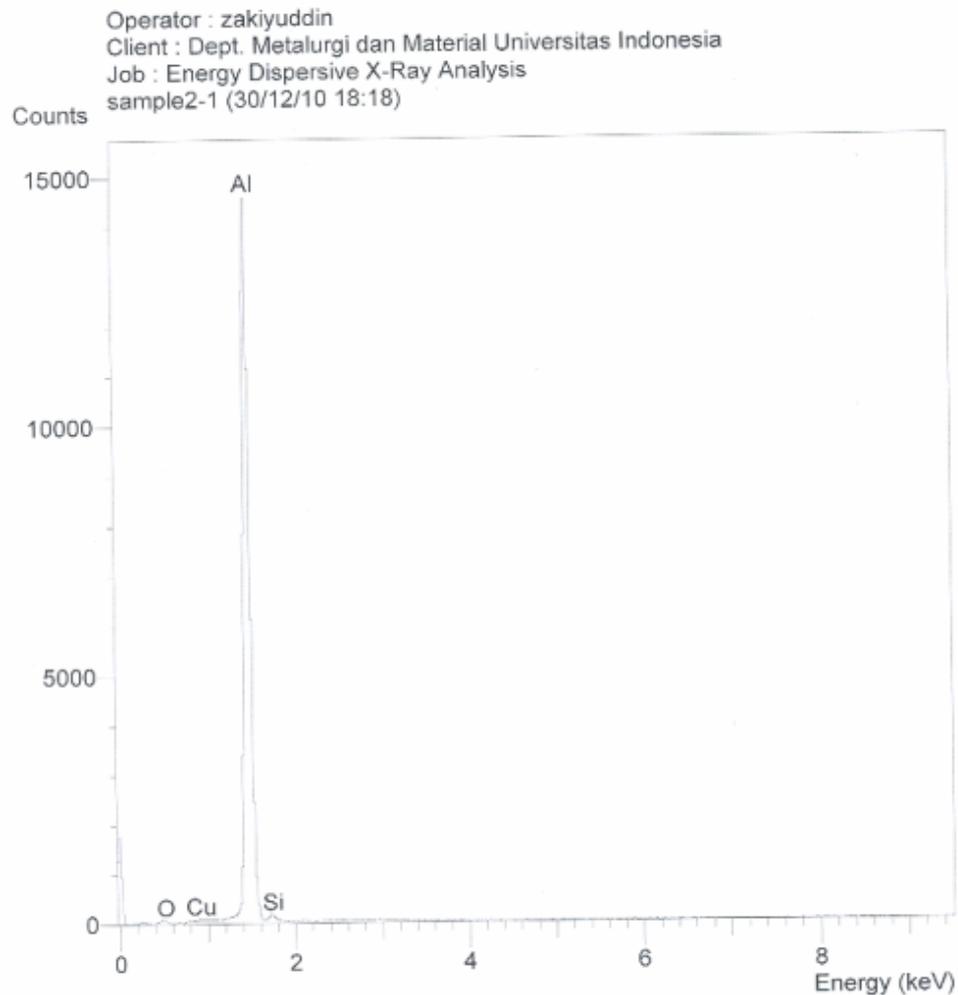
1 peak possibly omitted: 0.00 keV

Standards :

O K AL2O3 17/11/09  
 Al K AL2O3 17/11/09  
 Si K Low Carbon Steel 13/09/06  
 Ti K Titanium Oxide 19/05/06  
 Cu K Copper 22/03/06

Elmt	Spect. Type	Element %	Atomic %
O K	ED	1.93	3.43
Al K	ED	84.91	89.37
Si K	ED	2.09	2.12
Ti K	ED	0.94	0.56
Cu K	ED	10.12	4.53
Total		100.00	100.00

\* = <2 Sigma



SEMQuant results. Listed at 18:19:58 on 30/12/10  
 Operator: zakiyuddin  
 Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia  
 Job: Energy Dispersive X-Ray Analysis  
 Spectrum label: sample2-1

System resolution = 60 eV

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

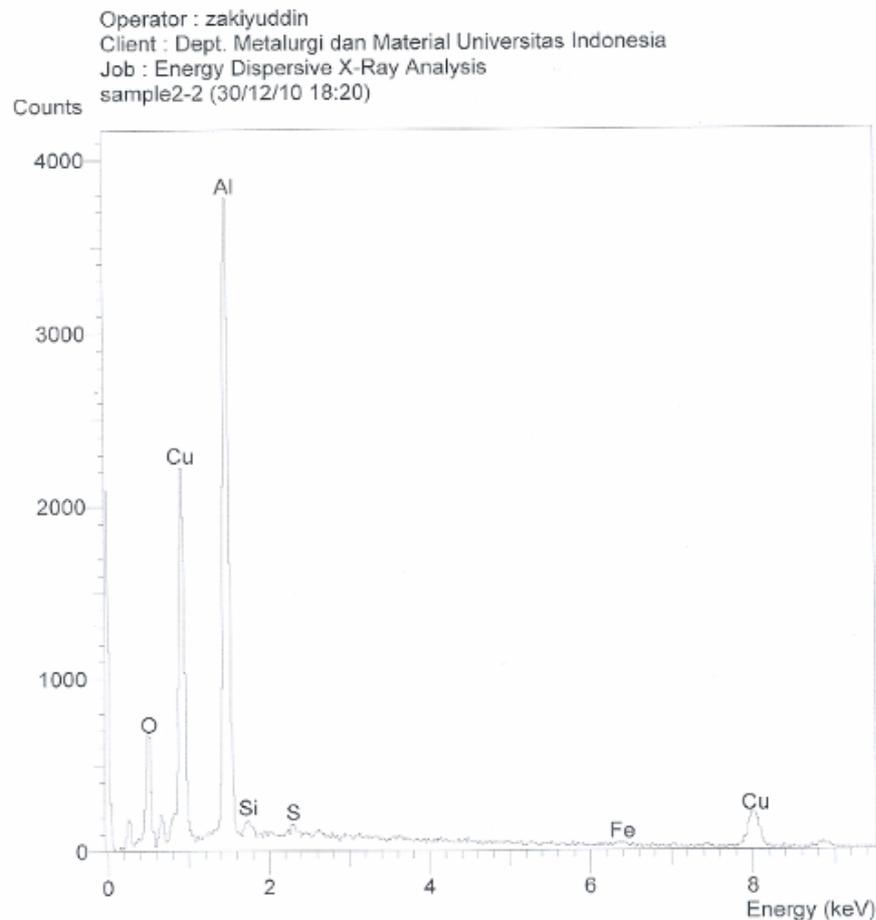
2 peaks possibly omitted: 0.00, 2.98 keV

Standards :

O K AL2O3 17/11/09  
 Al K AL2O3 17/11/09  
 Si K Low Carbon Steel 13/09/06  
 Cu K Copper 22/03/06

Elmt	Spect. Type	Element %	Atomic %
O K	ED	1.19	2.03
Al K	ED	93.87	94.58
Si K	ED	2.36	2.29
Cu K	ED	2.57*	1.10*
Total		100.00	100.00

\* = <2 Sigma



SEMQuant results. Listed at 18:21:35 on 30/12/10  
 Operator: zakiyuddin  
 Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia  
 Job: Energy Dispersive X-Ray Analysis  
 Spectrum label: sample2-2

System resolution = 61 eV

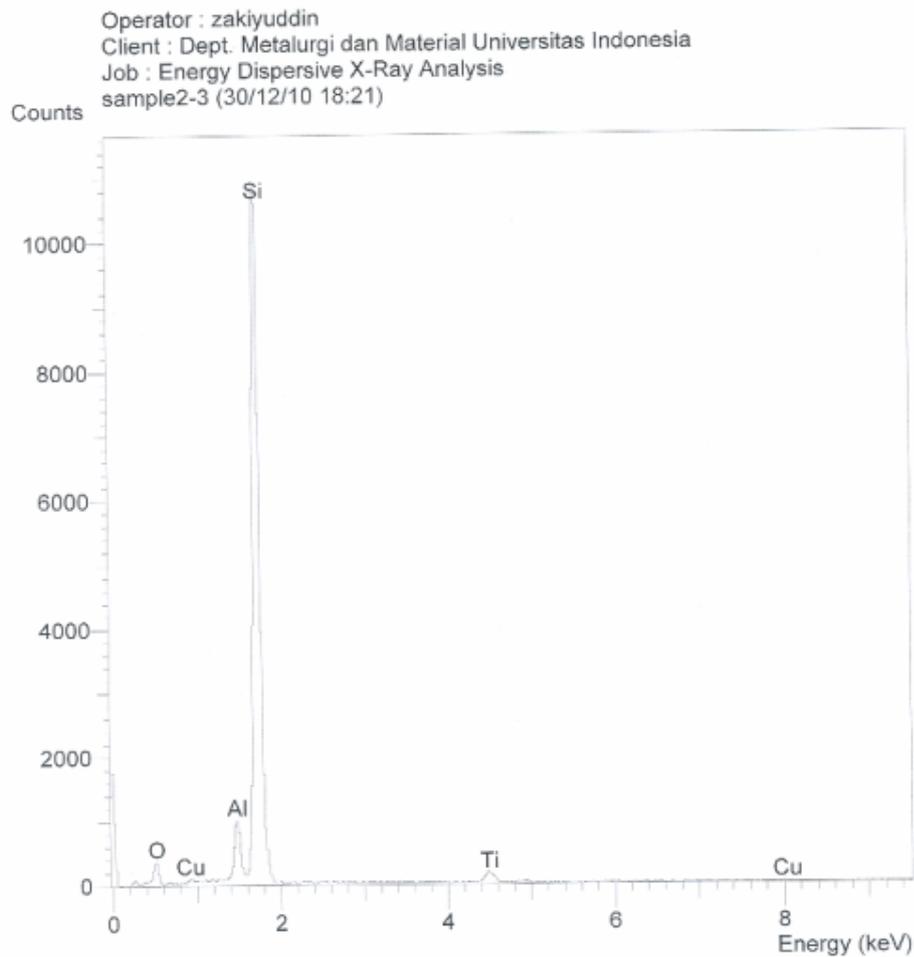
Quantitative method: ZAF ( 3 iterations).  
 Analysed all elements and normalised results.

1 peak possibly omitted: 0.00 keV

Standards :  
 O K AL2O3 17/11/09  
 Al K AL2O3 17/11/09  
 Si K Low Carbon Steel 13/09/06  
 S K FeS2 22/03/06  
 Fe K FeS2 22/03/06  
 Cu K Copper 22/03/06

Elmt	Spect. Type	Element %	Atomic %
O K	ED	3.52	10.16
Al K	ED	19.48	33.30
Si K	ED	0.36	0.59
S K	ED	0.37	0.53
Fe K	ED	0.72	0.59
Cu K	ED	75.54	54.82
Total		100.00	100.00

\* = <2 Sigma



SEMQuant results. Listed at 18:23:06 on 30/12/10  
 Operator: zakiyuddin  
 Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia  
 Job: Energy Dispersive X-Ray Analysis  
 Spectrum label: sample2-3

System resolution = 60 eV

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

1 peak possibly omitted: 0.00 keV

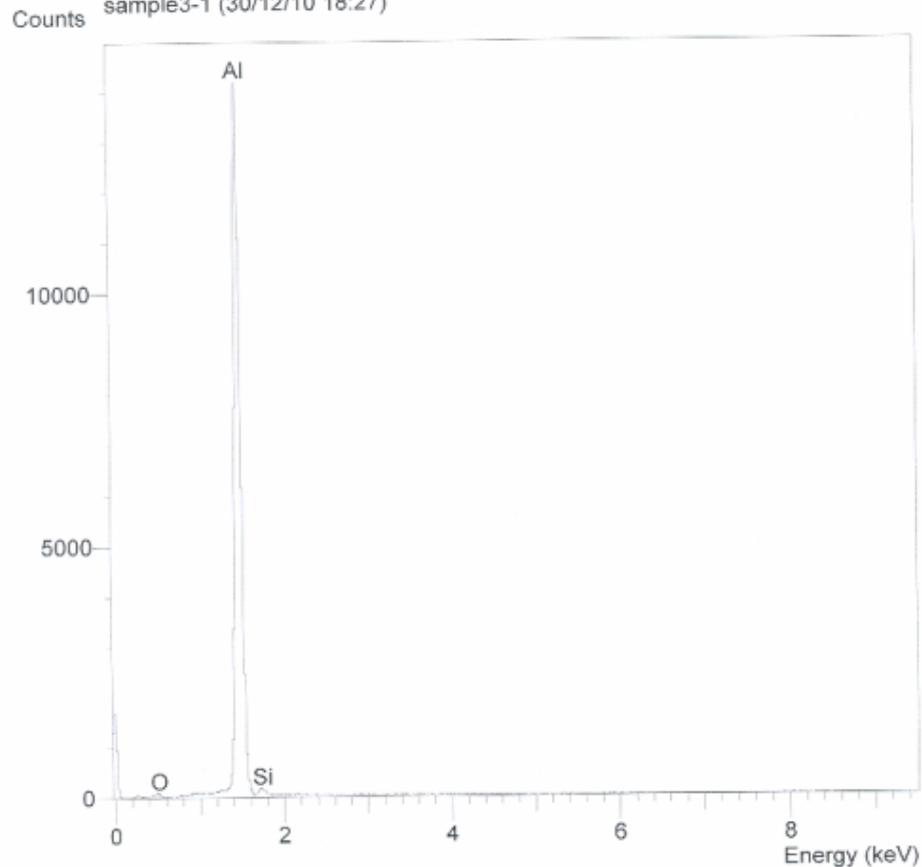
Standards :

O K AL2O3 17/11/09  
 Al K AL2O3 17/11/09  
 Si K Low Carbon Steel 13/09/06  
 Ti K Titanium Oxide 19/05/06  
 Cu K Copper 22/03/06

Elmt	Spect. Type	Element %	Atomic %
O K	ED	8.47	15.11
Al K	ED	6.69	7.08
Si K	ED	67.10	68.18
Ti K	ED	11.39	6.79
Cu K	ED	6.35*	2.85*
Total		100.00	100.00

\* = <2 Sigma

Operator : zakiyuddin  
 Client : Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia  
 Job : Energy Dispersive X-Ray Analysis  
 sample3-1 (30/12/10 18:27)



SEMQuant results. Listed at 18:28:46 on 30/12/10  
 Operator: zakiyuddin  
 Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia  
 Job: Energy Dispersive X-Ray Analysis  
 Spectrum label: sample3-1

System resolution = 59 eV

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

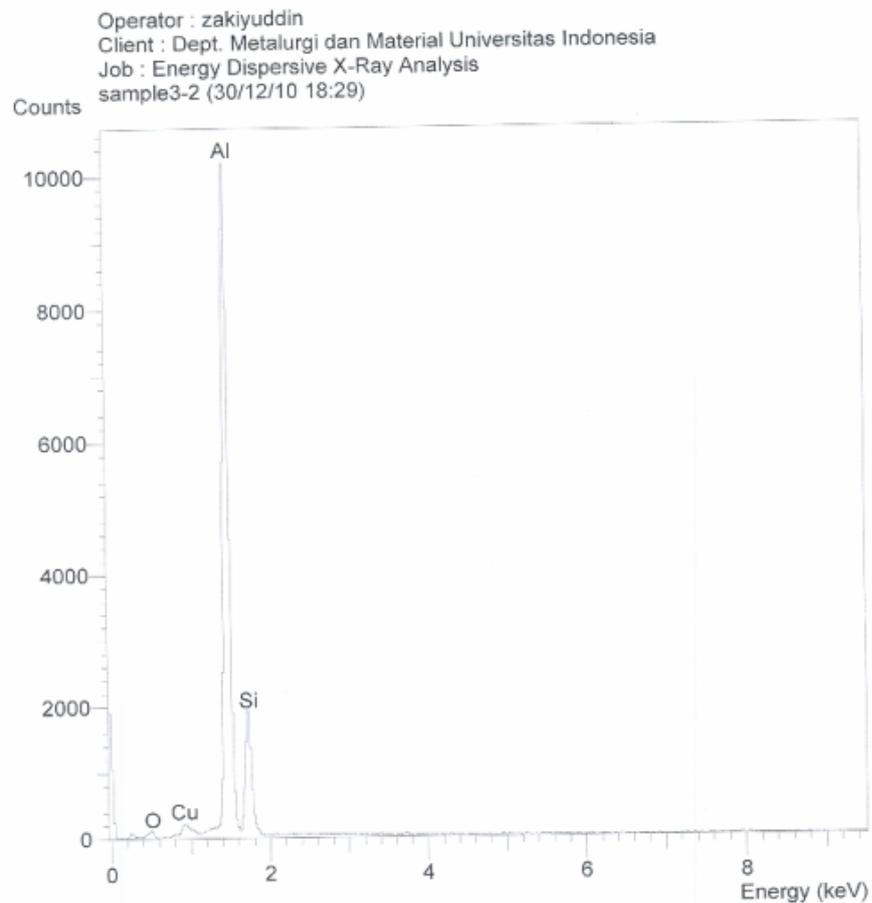
3 peaks possibly omitted: 0.00, 0.96, 2.96 keV

Standards :

O K AL2O3 17/11/09  
 Al K AL2O3 17/11/09  
 Si K Low Carbon Steel 13/09/06

Elmt	Spect. Type	Element %	Atomic %
O K	ED	1.22	2.04
Al K	ED	97.15	96.40
Si K	ED	1.63	1.56
Total		100.00	100.00

\* = <2 Sigma



SEMQuant results. Listed at 18:30:01 on 30/12/10  
 Operator: zakiyuddin  
 Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia  
 Job: Energy Dispersive X-Ray Analysis  
 Spectrum label: sample3-2

System resolution = 60 eV

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

1 peak possibly omitted: 0.00 keV

Standards :

O K AL203 17/11/09  
 Al K AL203 17/11/09  
 Si K Low Carbon Steel 13/09/06  
 Cu K Copper 22/03/06

Elmt	Spect. Type	Element %	Atomic %
O K	ED	1.67	3.04
Al K	ED	69.43	74.78
Si K	ED	15.52	16.06
Cu K	ED	13.38	6.12
Total		100.00	100.00

\* = <2 Sigma

SEMQuant results. Listed at 18:31:27 on 30/12/10  
 Operator: zakiyuddin  
 Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia  
 Job: Energy Dispersive X-Ray Analysis  
 Spectrum label: sample3-3

System resolution = 60 eV

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

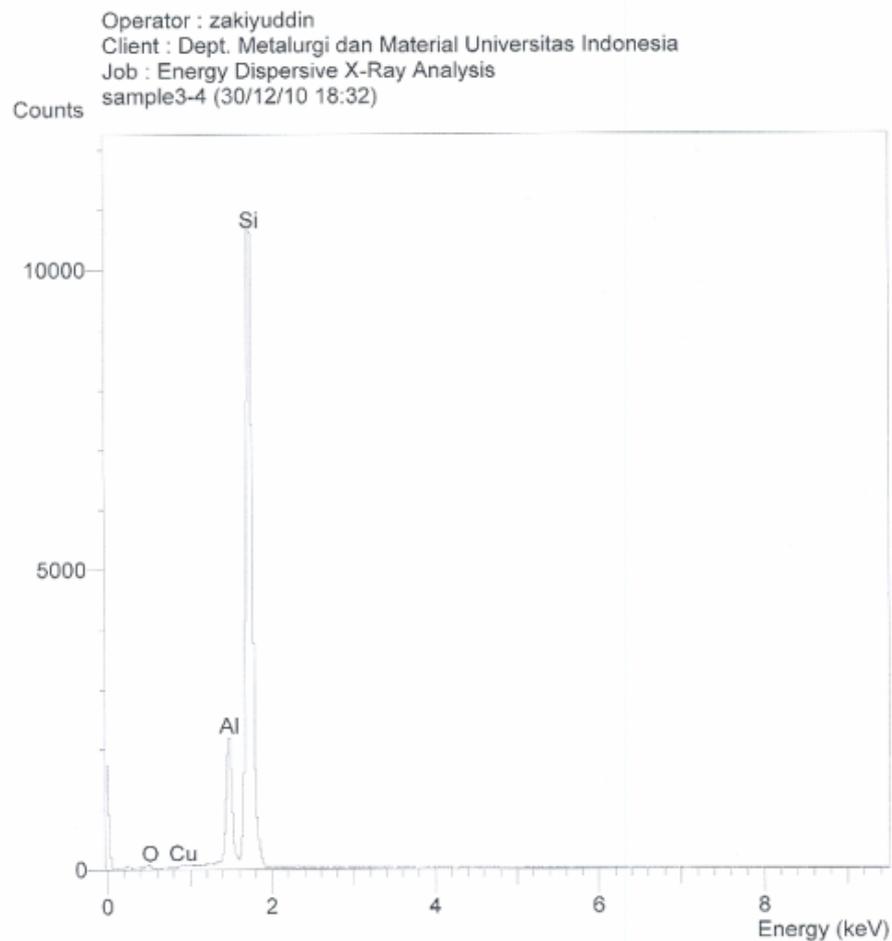
2 peaks possibly omitted: 0.00, 2.96 keV

Standards :

O K	AL2O3	17/11/09
Al K	AL2O3	17/11/09
Si K	Low Carbon Steel	13/09/06
Cu K	Copper	22/03/06

Elmt	Spect. Type	Element %	Atomic %
O K	ED	1.36	2.30
Al K	ED	94.38	94.42
Si K	ED	2.74	2.63
Cu K	ED	1.52*	0.65*
Total		100.00	100.00

\* = <2 Sigma



SEMQuant results. Listed at 18:32:59 on 30/12/10  
 Operator: zakiyuddin  
 Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia  
 Job: Energy Dispersive X-Ray Analysis  
 Spectrum label: sample3-4

System resolution = 60 eV

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

1 peak possibly omitted: 0.00 keV

Standards :

O K	AL2O3	17/11/09
Al K	AL2O3	17/11/09
Si K	Low Carbon Steel	13/09/06
Cu K	Copper	22/03/06

Elmt	Spect. Type	Element %	Atomic %
O K	ED	1.52	2.71
Al K	ED	16.40	17.33
Si K	ED	76.12	77.29
Cu K	ED	5.97*	2.68*
Total		100.00	100.00

\* = <2 Sigma