

UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH PENAMBAHAN FRAKSI VOLUME Al_2O_3
TERHADAP KEKUATAN TARIK DAN DENSITAS
KOMPOSIT $\text{Al5Cu}/ \text{Al}_2\text{O}_3(\text{P})$ MELALUI PROSES
*SEMI-SOLID THIXOFORMING***

SKRIPSI

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

**ZULFAHMI
0606075366**

**FAKULTAS TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK METALURGI DAN MATERIAL
DEPOK
JULI 2011**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Zulfahmi
NPM : 0606075366

Tanda Tangan :

Tanggal : 11 Juli 2011

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Zufahmi
NPM : 0606075366
Departemen : Teknik Metalurgi dan Material
Judul Skripsi : Pengaruh Penambahan Fraksi Volume Al_2O_3
Terhadap Kekuatan Tarik dan Densitas Komposit
 $AlSiCu/Al_2O_3(q)$ Melalui Proses Semi-Solid
Thixofforming

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Ir. Dedi Priadi, DEA

Penguji : Dr. Ir. Winarto, M.Sc

Penguji : Badrul Munir, Ph.D

Ditctapkan di : Depok
Tanggal : 11 Juli 2011



KATA PENGANTAR/UCAPAN TERIMA KASIH

Segala puji hanya bagi Allah Subhaanahu Wa Ta'ala yang telah memberikan Hidayah dan Isti'anah. Sholawat dan salam kepada Nabi Muhammad Shallallahu Alaihi Wasallam sehingga atas Rahmat dan Karunia Allah, saya dapat menyelesaikan penelitian dan seluruh kegiatan perkuliahan di Program Sarjana Reguler, Program Studi Teknik Metalurgi dan Material guna memperoleh gelar Sarjana Teknik. Saya menyadari bahwa tanpa pertolongan Allah Subhaanahu Wa Ta'ala dan bantuan serta bimbingan dari berbagai pihak, sejak awal masa perkuliahan hingga saat penyusunan tesis, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan seluruh kegiatan penelitian dan perkuliahan ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada :

1. Dr. Ir. Dedi Priadi, DEA, sebagai Dosen Pembimbing dan Wakil Dekan Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
2. Dr. Ir. Winarto, M.Sc, sebagai Tim Penguji dan Sekretaris Departemen Teknik Metalurgi dan Material Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
3. Badrul Munir, Ph.D, M.Sc, sebagai Tim Penguji.
4. Dr. Ir. Sri Harjanto, sebagai Pembimbing Akademik.
5. Seluruh staf pengajar dan Teknisi di Departemen Teknik Metalurgi dan Material Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
6. Kedua Orang Tua yang setiap saat memberi dukungan.
7. Adik-adikku tercinta, Rizky Amelia, Hanaa Ikhtiarina dan Ahmad Fikri Aulia, atas segala dukungan dan do'anya.
8. Bang Tulus Swasono, S.T., M.T, sebagai rekan satu tim yang selalu memberikan arahan dan bimbingan selama melaksanakan tugas akhir.
9. Teman-teman di Program Sarjana Reguler Departemen Teknik Metalurgi dan Material Fakultas Teknik Universitas Indonesia terutama Panny Ricky, Adi Jaya Chandra, Andika Insan Adiyatma, Remon Yonasa, dan yang lainnya tidak bisa disebutkan satu persatu.

Semoga Allah Subhaanahu Wa Ta'ala memberikan balasan kebaikan kepada semua pihak yang telah membantu penelitian ini. Semoga hasil penelitian ini membawa manfaat dan barokah bagi pengembangan ilmu material di Indonesia.

Depok, 11 Juli 2010

Penulis



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

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

Nama : Zulfahmi
NPM : 0606075366
Departemen : Metalurgi dan Material
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul : **“Pengaruh Penambahan Fraksi Volume Al_2O_3 Terhadap Kekuatan Tarik dan Densitas Komposit Al5Cu/ $Al_2O_{3(p)}$ Melalui Proses *Semi-Solid Thixoforming*”** 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 mempublikasikan 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 : 11 Juli 2011

Yang Menyatakan

(Zulfahmi)

ABSTRAK

Nama : Zulfahmi

Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material

Judul : **Pengaruh Penambahan Fraksi Volume Al_2O_3
Terhadap Kekuatan Tarik dan Densitas Komposit
 $Al_5Cu/ Al_2O_{3(p)}$ Melalui Proses *Semi-Solid Thixoforming***

Komposit Matrik Logam dengan penguat partikel banyak diterapkan pada bidang keteknikan dikarenakan memiliki performan yang baik seperti kekuatan tinggi, kekerasan tinggi, sifat tahan aus, koefisien ekspansi panas rendah dan harga bersaing. Jenis paduan yang banyak digunakan di industri paduan aluminium-tembaga (AlCu) yang bila di kombinasikan dengan alumina dari jenis keramik yang kuat dan keras akan membentuk suatu material baru berupa komposit matrik logam. Salah satu metode pembuatan komposit yang sekarang banyak dikembangkan adalah metode pembentukan semisolid. *Thixoforming* adalah proses pembentukan material dalam kondisi semisolid dengan pemanasan ulang ingot yang berstruktur mikro globular. Pada penelitian ini dilakukan pembuatan komposit dengan proses *thixoforming* pada matrik paduan Al5Cu serta penguat berupa 5, 10, 15 dan 20 % V_f partikel Al_2O_3 . Penambahan 4 % magnesium pada komposit dilakukan untuk meningkatkan sifat *wetting* partikel Al_2O_3 . Karakterisasi komposit matrik logam Al5Cu/ Al_2O_3 dilakukan dengan pengujian mekanik (kekuatan tarik), pengujian metalografi, berat jenis, porositas, SEM/EDS dan XRF. Hasil pengujian menunjukkan foto SEM memperlihatkan penyebaran partikel alumina tersebar merata pada matrik. Komposit hasil *thixoforming* menurunkan kekuatan tarik dengan penambahan fraksi volume penguat partikel Al_2O_3 . Namun berat jenis komposit matrik logam berkurang dengan peningkatan fraksi volume Al_2O_3 .

Kata kunci : Komposit Matrik Logam Al5Cu/ Al_2O_3 , Pembentukan semisolid, *Thixoforming*, Sifat Mekanis, densitas.

ABSTRACT

Name : Zulfahmi
Study Program : Metallurgical and Material Engineering
Title : **Effect of Adding Volume Fraction Al₂O₃ on Tensile Strength and Density of Metal Matrix Composite Al₅Cu/Al₂O_{3(p)} by using Semi-Solid Thixoforming Process**

Metal Matrix Composite with reinforced particles have been applied mostly in engineering materials due to the high strength, high hardness, high wear resistance, low heat coefficient expansion and competitive prices. The most types of MMC alloying used for industrial components is aluminum-copper Alloys (AlCu). When this alloying is combined with ceramic particle alumina (Al₂O₃) can be produced the new materials of MMC. One of the recent developed manufacturing method for MMC is used by semi-solid forming method. *Thixoforming* is one of semi-solid forming process by reheating the ingots of MMC and continued by forged them into the parts. The research is focused on manufacturing of metal matrix composite by *thixoforming* process using the alloying matrix of Al₅Cu with the addition of particle reinforcement of 5, 10, 15 and 20 % volume fraction (vf) of Al₂O₃. The wetting agent of Al₂O₃ particles is used by the addition of 4 % of magnesium. The characterization of MMC was carried out by mechanical tests (tensile strength and density), and by Metallographic tests (microstructure, porosity and density) and also using SEM/EDS to characterize the microstructure of both matrix and reinforcement of MMC. The results show that MMC manufactured by *Thixoforming* process have decreased tensile strength by increasing the volume fraction of Al₂O₃. However, the bulk density of MMC is decreased by increasing the the volume fraction of Al₂O₃. The SEM photographs shows that the alumina particles are randomly distributed into the MMC matrix.

Keywords : *Metal Matrix Composite of Al₅Cu/Al₂O₃, Semi-Solid Forming, Thixoforming, Mechanical Properties and Bulk Density.*

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH.....	vi
ABSTRAK.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xvi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvii
1. PENDAHULUAN.....	1
1.1 LATAR BELAKANG.....	1
1.2 PERUMUSAN MASALAH.....	4
1.3 RUANG LINGKUP PENELITIAN.....	5
1.3.1 Bahan Penelitian.....	5
1.3.2 Parameter Proses.....	5
1.3.2 Karakterisasi.....	6
1.4 TUJUAN.....	7
1.5 SISTEMATIKA PENULISAN.....	7
2. TEORI PENUNJANG.....	8
2.1 KOMPOSIT Matrik Logam.....	8
2.2 ALUMINIUM Matrik Komposit.....	10
2.3 KOMPOSIT PENGUAT PARTIKEL.....	12
2.4 MEKANISME IKATAN ANTARMUKA.....	13
2.4.1 Adsorpsi dan Pembasahan.....	14
2.5 STIR CASTING.....	15
2.6 MATERIAL PENYUSUN KOMPOSIT Matrik Logam.....	17
2.6.1 Paduan Al-Cu.....	17
2.6.2 Alumina.....	22
2.5 Metode Pembentukan Semisolid.....	24
3. METODOLOGI PENELITIAN.....	32
3.1 PENJELASAN DIAGRAM ALIR PENELITIAN.....	34
3.1.1 Tahapan Persiapan Bahan dan Percobaan.....	34
3.1.2 Proses Pembuatan Komposit Aluminium Al ₅ Cu/Al ₂ O ₃ dengan Metode <i>Semisolid</i>	36
3.1.2.1 Pembuatan Paduan Al ₅ Cu.....	36
3.1.2.2 Stir Casting Al ₅ Cu/Al ₂ O ₃	37
3.1.2.3 Thixoforming Komposit Al ₅ Cu/Al ₂ O ₃	39
3.1.3 Persiapan Sampel Uji dan Perlakuan Panas.....	40
3.1.4 Proses Karakterisasi Komposit Aluminium Al ₅ Cu/Al ₂ O ₃	41
4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	45
4.1 HASIL PENGUJIAN.....	45
4.1.1 Perhitungan Fraksi Volume, Berat dan Densitas.....	45

	Komposit Teoritis.....	
4.1.2	Analisa Kimia.....	46
4.1.3	Hasil Pengukuran Butir Partikel Alumina dengan SEM.....	47
4.1.4	Hasil Uji Berat Jenis dan Porositas.....	48
4.1.5	Hasil Uji Tarik.....	48
4.1.6	Distribusi Alumina di dalam matrik Al ₅ Cu.....	53
4.1.7	Hasil Pengamatan Metalografi.....	46
4.1.8	Pengujian SEM dan EDS.....	56
4.2	PEMBAHASAN.....	57
4.2.1	Analisa Kimia.....	57
4.2.2	Pengaruh Fraksi Volume Alumina Terhadap Densitas dan Porositas Komposit Hasil Thixoforming dan Hasil Casting.....	58
4.2.3	Pengaruh Metalografi, Porositas dan Distribusi Partikel Alumina Terhadap Kekuatan Tarik.....	60
5.	KESIMPULAN.....	69
	DAFTAR REFERENSI.....	70
	LAMPIRAN.....	73

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Grafik kondisi pada pembentukan cacat makro	3
Gambar 1.2	Tipe makrostruktur pada tiga daerah pada gambar 1(c)	4
Gambar 2.1	Klasifikasi komposit matrik logam	8
Gambar 2.2	Bentuk umum penguat <i>fiber</i> , dapat berupa <i>Continuously fibers</i> , <i>Discontinuously fiber</i> atau <i>Whiskers</i> , <i>chopped fibres</i> , <i>particulates</i> , atau <i>continuous fibers</i> . ¹²	9
Gambar 2.3	Metalurgi peleburan komposit matrik logam.....	10
Gambar 2.4	Grafik komposisi Al 2024/Al ₂ O ₃ dan fraksi volume Al ₂ O ₃ yang berbeda	11
Gambar 2.5	Grafik kekuatan tarik, kekerasan, elongasi dari komposit Al 2024/Al ₂ O ₃ dan fraksi volume Al ₂ O ₃ yang berbeda	12
Gambar 2.6	Sudut kontak fasa solid-liquid yang menggambarkan <i>wettability</i>	14
Gambar 2.7	Skema proses melt steering.....	16
Gambar 2.8	Perbedaan kekuatan luluh dari pengujian tarik terhadap paduan AlCu (a) dengan penambahan 0,18 wt % Mg (b) tanpa penambahan Mg.	18
Gambar 2.9	Diagram fasa Aluminium-Tembaga	19
Gambar 2.10	Mekanisme pengerasan presipitasi pada paduan Al ₅ Cu...	20
Gambar 2.11	Diagram waktu dan temperatur proses pengerasan presipitasi paduan AlCu.....	20
Gambar 2.12	Grafik kekuatan tarik dan kekuatan yield paduan AlCu dengan penambahan unsur Cu dan perlakuan panas T4 dan T6	21
Gambar 2.13	Pengaruh kadar pada sudut kontak pada Al-Mg / Al ₂ O ₃ dan Al / Al ₂ O ₃ murni.....	23
Gambar 2.14	Pengaruh temperatur pada sudut kontak pada Al-Mg / Al ₂ O ₃ dan Al / Al ₂ O ₃ murni.....	23

Gambar 2.15	Struktur mikro a) dendritik and (b) globular.....	25
Gambar 2.16	Skema pemutusan dan perbanyakan dendrit.....	25
Gambar 2.17	Skema ilustrasi evolusi struktur pada proses pembekuan cairan dibawah kondisi steering.: (a) <i>initial dendritic fragment</i> ; (b) <i>dendritic growth</i> ; (c) <i>rosette</i> ; (d) <i>ripened rosette</i> ; (e) <i>spheroid</i>	26
Gambar 2.18	Jenis stirring: (a) <i>mechanical stirring</i> ; (b) <i>passive stirring</i> ; (c) <i>electromagnetic .vertical. stirring</i> ; (d) <i>electromagnetic .horizontal. stirring</i>	27
Gambar 2.19	Fungsi volume fraksi likuid sebagai fungsi temperatur pada beberapa paduan aluminium.....	27
Gambar 2.20	Kurva fraksi volume solid pada paduan A356 dan Al4,4Cu. Garis putus-putus menunjukkan temperatur eutektik.....	28
Gambar 2.21	Bagan proses pembuatan logam <i>Semisolid</i>	30
Gambar 3.1	Proses Pembuatan bahan matriks Komposit Matrik Logam Al5Cu.....	32
Gambar 3.2	Skema Penelitian Komposit Matrik Logam dengan Squeeze Casting.....	33
Gambar 3.3	Ingot aluminium murni.....	34
Gambar 3.4	Ingot Magnesium murni.....	34
Gambar 3.5	Tembaga murni.....	34
Gambar 3.6	Oksida Aluminium (Al ₂ O ₃)	34
Gambar 3.7	Cetakan tempa <i>semisolid</i> yang dilengkapi pemanas.....	35
Gambar 3.8	Proses peleburan aluminium dan tembaga menggunakan burner minyak tanah.....	36
Gambar 3.9	Paduan Al5Cu hasil pengecoran.....	37
Gambar 3.10	Dapur listrik untuk pembuatan komposit dan pemanasan hingga mencapai kondisi <i>semisolid</i>	37
Gambar 3.11	Proses <i>steering</i> cairan aluminium-tembaga sambil melakukan pencampuran partikel alumina secara	

	bertahap.....	38
Gambar 3.12	Ingot komposit Al5Cu/ AL ₂ O ₃ hasil casting.....	38
Gambar 3.12	Proses pemanasan kembali ingot komposit Al5Cu/ AL ₂ O ₃ untuk mencapai fasa <i>semisolid</i>	39
Gambar 3.13	Proses penampatan material <i>semisolid</i> komposit Al5Cu/ AL ₂ O ₃ di cetakan	39
Gambar 3.14	Proses penekanan material semi solid dalam cetakan tertutup. (a) <i>punch</i> bergerak turun. (b) penekanan disertai penahanan 3 detik. (c). <i>puch</i> bergerak naik.....	39
Gambar 3.15	Produk hasil prose <i>thixoforming</i>	40
Gambar 3.16	Proses perlakuan panas komposit hasil forming <i>semisolid</i>	41
Gambar 3.17	Gambar spesimen uji tarik.....	41
Gambar 4.1	Hasil uji XRF terhadap serbuk Alumina.....	46
Gambar 4.2.	(a), (b), Pengukuran butir serbuk alumina dengan SEM...	47
Gambar 4.3	Distribusi Alumina pada matrik Al5Cu, hasil <i>casting</i> dengan penguat (a) 0%, (b) 5%, (c) 10%, (d) 15 %, (e) 20 % Al ₂ O ₃	48
Gambar 4.4	Distribusi Alumina pada matrik Al5Cu, hasil <i>thixoforming</i> tanpa <i>aging</i> dengan penguat (a) 0%, (b) 5%, (c) 10%, (d) 15 %, (e) 20 % Al ₂ O ₃	50
Gambar 4.5	Distribusi Alumina pada matrik Al5Cu, hasil <i>thixoforming</i> dan <i>Aging</i> 16 jam dengan penguat (a) 0%, (b) 5%, (c) 10%, (d) 15 %, (e) 20 % Al ₂ O ₃	51
Gambar 4.6	Distribusi Alumina pada matrik Al5Cu, hasil <i>Thixoforming</i> dan <i>aging</i> 28 jam dengan penguat (a) 0%, (b) 5%, (c) 10%, (d) 15 %, (e) 20 % Al ₂ O ₃	52
Gambar 4.7	Metalografi sampel hasil cor dengan penguat (a) 0%, (b) 5%, (c) 10%, (d) 15 %, (e) 20 % Al ₂ O ₃ . Perbesaran 500x.....	53
Gambar 4.8	Metalografi sampel hasil <i>thixoforming</i> dengan penguat (a) 0%, (b) 5%, (c) 10%, (d) 15 %, (e) 20 % Al ₂ O ₃ sebelum di <i>heat treatment</i> . Perbesaran 500x.....	54

Gambar 4.9	Metalografi sampel hasil <i>thixoforming</i> dengan penguat (a) 0%, (b) 5%, (c) 10%, (d) 15 %, (e) 20 % Al_2O_3 setelah proses <i>solution treatment</i> 540 °C hold 4 jam kemudian di <i>aging</i> selama 16 jam. Perbesaran 500x.....	55
Gambar 4.10	Metalografi sampel hasil <i>thixoforming</i> dengan penguat (a) 0%, (b) 5%, (c) 10%, (d) 15 %, (e) 20 % Al_2O_3 setelah proses <i>solution treatment</i> 540 °C hold 4 jam kemudian di <i>aging</i> selama 28 jam. Perbesaran 500x.....	56
Gambar 4.11.	Densitas komposit secara teoritis, bentuk ingot <i>casting</i> dan hasil <i>thixoforming</i>	58
Gambar 4.12	Grafik hasil uji porositas pada ingot komposit dan hasil <i>thixoforming</i>	61
Gambar 4.13	Distribusi partikel alumina pada fraksi volume 5 % Al_2O_3 ; (a) ingot, (b) <i>thixoforming</i> , (c) T6, aging 16 jam, (d) T6, aging 28 jam.....	61
Gambar 4.14	Distribusi partikel alumina pada fraksi volume 10 % Al_2O_3 ; (a) ingot, (b) <i>thixoforming</i> , (c) T6, aging 16 jam, (d) T6, aging 28 jam	62
Gambar 4.15	Distribusi partikel alumina pada fraksi volume 15 % Al_2O_3 ; (a) ingot, (b) <i>thixoforming</i> , (c) T6, aging 16 jam, (d) T6, aging 28 jam	62
Gambar 4.16	Distribusi partikel alumina pada fraksi volume 20 % Al_2O_3 ; (a) ingot, (b) <i>thixoforming</i> , (c) T6, aging 16 jam, (d) T6, aging 28 jam	63
Gambar 4.17	Grafik hasil uji tarik hasil <i>thixoforming</i> pada berbagai fraksi volume alumina.	65
Gambar 4.18	Perubahan struktur mikro hasil laku panas T6 pada fraksi volume 5 % Al_2O_3 ; (a) ingot, (b) <i>thixoforming</i> , (c) T6, aging 16 jam, (d) T6, aging 28 jam	66
Gambar 4.19	Perubahan struktur mikro hasil laku panas T6 pada fraksi volume 10 % Al_2O_3 ; (a) ingot, (b) <i>thixoforming</i> , (c) T6, aging 16 jam, (d) T6, aging 28 jam	66
Gambar 4.20	Perubahan struktur mikro hasil laku panas T6 pada fraksi volume 15 % Al_2O_3 ; (a) ingot, (b) <i>thixoforming</i> , (c) T6, aging 16 jam, (d) T6, aging 28 jam	67

Gambar 4.21 Perubahan struktur mikro hasil laku panas T6 pada fraksi volume 20 % Al_2O_3 ; (a) ingot, (b) thixoforming, (c) T6, aging 16 jam, (d) T6, aging 28 jam 68



DAFTAR TABEL

Tabel II.1	Klasifikasi Paduan Aluminium	17
Tabel II.2	Kodifikasi Temper Paduan Aluminium.....	22
Tabel II.3	Karakteristik Alumina dan Beberapa Penguat.....	24
Tabel IV.1	Perhitungan Densitas Teoritis Paduan.....	45
Tabel IV.2	Perhitungan Berat Paduan.....	45
Tabel IV.3	Komposisi Kimia Ingot Aluminium Tembaga Hasil Cor..	46
Tabel IV.4	Komposisi Kimia Serbuk Alumina.....	46
Tabel IV.5	Komposisi Kimia Ingot Magnesium	47

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Hasil Uji SEM/EDS.....	73
Lampiran 2	Perhitungan Densitas dan Porositas.....	90
Lampiran 3	Data Perhitungan Uji Tarik.....	91



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. LATAR BELAKANG

Perkembangan teknologi yang sangat cepat membutuhkan material baru yang memiliki sifat-sifat unggul. Mendapatkan sifat-sifat unggul dari berbagai material dapat dilakukan dengan membuat komposit. Komposit merupakan kombinasi dua atau lebih material yang memiliki fasa, sifat mekanis dan sifat fisik yang berbeda dengan material penyusunnya sehingga diperoleh sifat material yang baru. Komposit dapat dikelompokkan menurut jenis material matrik komposit, seperti Komposit Matrik Logam, Komposit Matrik Polimer, Komposit Matrik Keramik.

Komposit Matrik Logam (KML) dengan penguat partikel keramik merupakan jenis Komposit Penguat Diskontinu (*Discontinuous Reinforcements for Metal Matrix Composites*), penguat partikel memberikan penguatan terhadap matrik logam dengan mentransfer beban ke penguat partikel keramik, pergerakan dislokasi menjadi terhambat sehingga kepadatan dislokasi meningkat. Interaksi antara penguat partikel keramik dengan matriks logam adalah sebagai dasar untuk meningkatkan sifat mekanik dan fisik material seperti yang banyak diterapkan pada bidang keteknikan dikarenakan memiliki performa yang baik seperti kekuatan tinggi, kekerasan tinggi, sifat tahan aus, koefisien ekspansi panas rendah, harga kompetitif^[1].

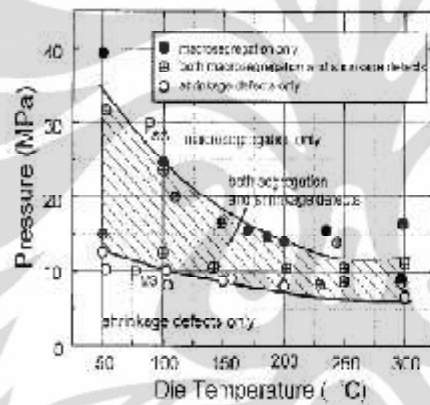
Material yang banyak digunakan di industri pada saat ini adalah paduan aluminium. Matriks paduan aluminium merupakan material yang banyak digunakan selain baja, kekuatan tarik paduan aluminium berkisar dari 45 MPa (6,5 ksi)-700 MPa (100 ksi). Kombinasi antara densitas rendah dengan kekuatan yang tinggi menjadikan paduan aluminium sebagai material standar untuk aplikasi komponen pesawat terbang, dimana kekuatan spesifik yaitu *strength-to-weight ratio* yang merupakan kekuatan tarik dibagi dengan densitas yang sangat baik. Salah satu jenis paduan aluminium tersebut adalah paduan aluminium-tembaga (AlCu) yang bila di kombinasikan dengan alumina, karbida silikon, boron karbida dari jenis keramik yang kuat dan keras akan membentuk suatu material baru berupa komposit matrik logam^[1].

Komposit matrik aluminium dengan penguat partikel memberikan sejumlah alternatif penggunaan karena komposit ini memiliki keunggulan dari sisi kapasitas panas spesifik dan konduktivitas panas tinggi, densiti rendah, kekuatan spesifik tinggi, kekakuan spesifik tinggi, koefisien ekspansi baik, ketahanan fatik kestabilan dimensi^[2].

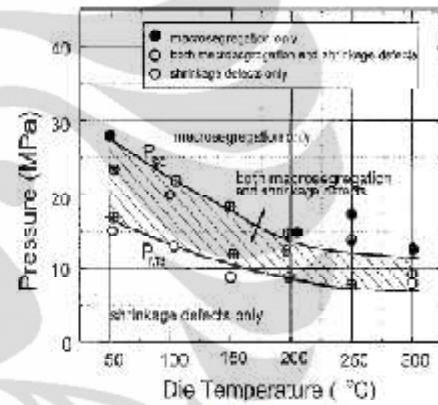
Sifat mekanis komposit aluminium dengan perbedaan jenis matrik dan penguat, berhubungan dengan struktur mikronya. Sehingga pemilihan jenis, geometri dan volume fraksi penguat sangat penting dalam menentukan kombinasi terbaik dari sifat-sifatnya dan harga yang murah. Proses pembuatan komposit aluminium dapat dilakukan dengan metalurgi serbuk, infiltrasi cairan logam, *squeeze casting*, pembentukan *semisolid*, dan lain-lain^[2].

Penggunaan alumina sebagai penguat pada komposit matrik aluminium Al-4,5% Cu-fly ash_(p) yang mengandung 58,41% SiO₂, 30% Al₂O₃ dengan proses *stir casting* menunjukkan peningkatan kekuatan tarik mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya fraksi volume *fly ash* dan menurunkan densitas komposit Al-4,5% Cu^[3]. Proses perlakuan panas T6 yang dilakukan pada paduan AlCu dengan persentase Cu sebesar 5% menunjukkan bahwa kekerasan Al5Cu meningkat secara signifikan pada *aging* 28 jam dengan temperatur 190 °C, yaitu 96 VHN^[4]. Untuk meningkatkan sifat pembasahan antar matrik aluminium dengan penguat Al₂O₃ maka ditambahkan unsur magnesium sebagai wetting agent kedalam lelehan aluminium^[5]. Paduan AlCu dengan kandungan Cu kurang dari 5% memiliki kemampuan untuk ditingkatkan kekuatannya dengan mekanisme pengerasan presipitasi^[6].

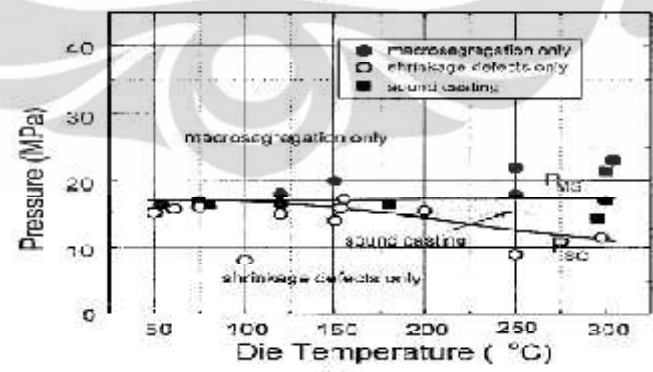
Suatu penelitian terhadap sifat mekanis komposit matrik Al5Cu/Al₂O₃ dengan proses tempa dapat menaikinya kekerasan sebesar 92,8%, menurunkan laju keausan 33,15%. Setelah mengalami proses perlakuan panas T6, kekuatan tarik maksimum dicapai pada fraksi volume 10 % alumina sebesar 184,2 N/mm² dan kekerasan 141 HB.^[7]





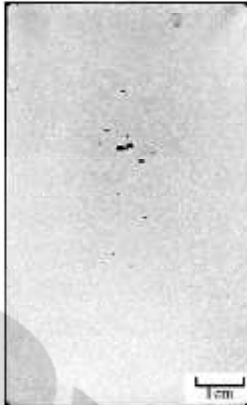
(a)

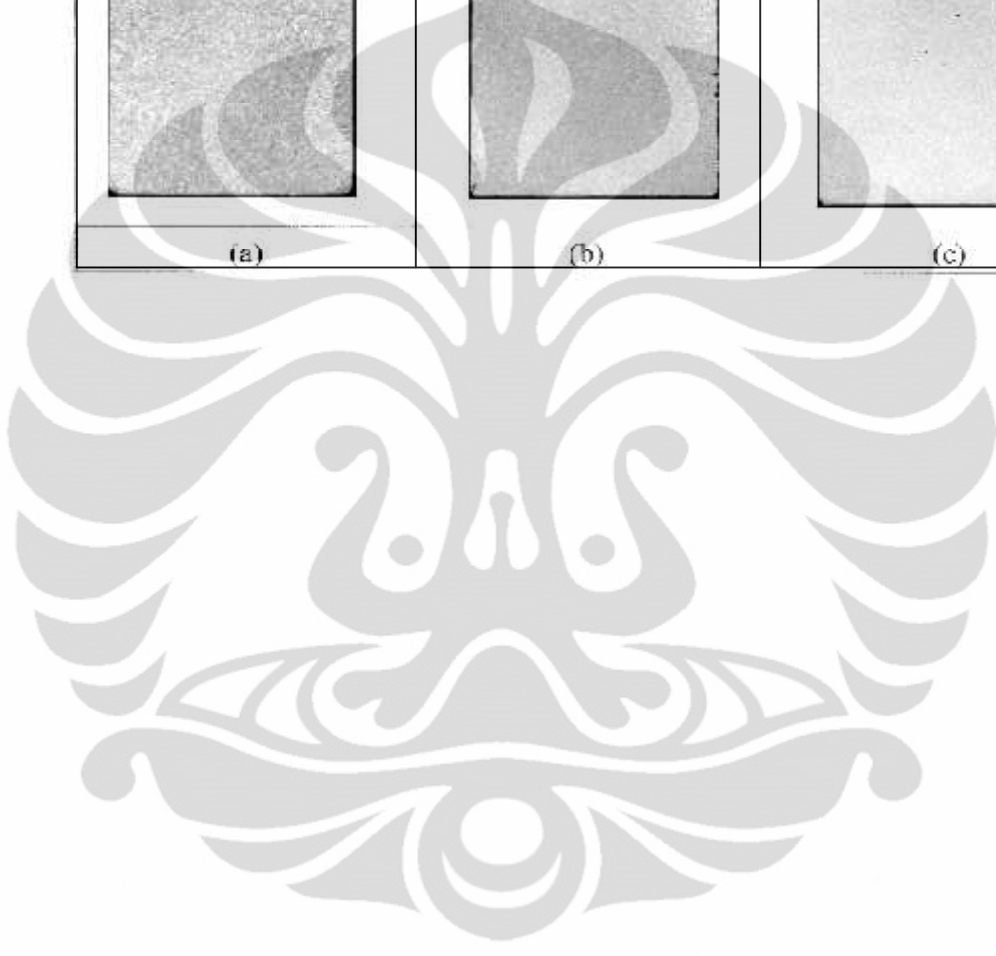


(b)



(c)

$P > P_{hs} > P_{sc}$ macrosegregation only	$P_{sc} < P < P_{hi}$ sound casting	$P < P_{sc} < P_{hs}$ shrinkage defects only
 <p data-bbox="470 795 518 828">(a)</p>	 <p data-bbox="813 795 861 828">(b)</p>	 <p data-bbox="1181 795 1228 828">(c)</p>



Sifat mekanis terbaik diperoleh dengan melakukan *solution treatment* selama 17 jam pada temperatur 500°C, dilanjutkan dengan *quench* di air dan *aging* selama 24 jam pada temperatur 160°C [9]. Proses pembentukan dalam kondisi *semisolid* secara garis besar terbagi menjadi dua, yaitu *thixoforming* dan *rheoforming*. *Thixoforming* adalah proses pembentukan material dalam kondisi *semisolid* dengan pemanasan ulang ingot yang berstruktur mikro globular. Kondisi struktur logam *semisolid* merupakan perbanyak jumlah butir dari dendrit yang terputus. Hal ini terjadi karena selama proses pembekuan dibentuk aliran yang menyebabkan lengan dendrit mencair atau terputus, sehingga yang terbentuk selanjutnya adalah partikel inti kedua. Tingginya densitas partikel yang terbentuk membuat bertambah banyaknya partikel non dendritik sehingga dihasilkan *semisolid* logam [10].

Pada penelitian tentang fraksi volume *solid* paduan A356 dan Al4.4Cu diketahui kecilnya rentang temperatur 40-60% *solid* untuk paduan Al4.4Cu, yaitu pada rentang temperatur 625-635 °C. [11]

Produk yang dibuat dengan proses pembentukan *semisolid* memiliki beberapa keunggulan dalam sifat mekanis, porositas rendah, dapat diterapkan pada pengecoran berbagai paduan, menghasilkan komponen yang tipis, memperpanjang umur cetakan, dapat dilas dengan las laser, MIG atau TIG, dapat dikenakan perlakuan panas dari T0 – T7, *near-net shape part production*, kondisi permukaan sangat baik [12].

Uraian di atas menunjukkan sejumlah keunggulan proses *thixoforming* pada pembuatan Komposit Matrik Logam. Dengan pertimbangan tersebut maka penelitian pembuatan Komposit Matrik Logam ini dilakukan dengan metode *thixoforming* dengan variabel penambahan fraksi volume penguat alumina (Al₂O₃) pada matrik Al5Cu. Proses *thixoforming* dilanjutkan dengan *solution heat treatment* dan *artificial aging* pada waktu yang berbeda untuk mendapatkan waktu perlakuan panas optimum dengan sifat mekanis terbaik.

1.2. PERUMUSAN MASALAH

Proses *thixoforming* dilakukan pada suhu material diantara garis *solidus* dan *liquidus* dan struktur butir sferoidit tersebar merata dalam matrik liquid sebelum proses forming. Nukleasi dan solidifikasi forming cairan eutektik adalah faktor penting untuk mendapatkan mikrostruktur ideal tanpa cacat maupun sifat mekanis yang baik pada proses *thixoforming*^[9].

Pembuatan komponen dengan *semisolid* terdiri dari tiga tahap. Tahap pertama adalah pembuatan billet. Pembuatan billet ini ditujukan untuk membuat billet dengan mikrostruktur berupa butiran halus berbentuk bulatan kecil. Tahap kedua adalah pemanasan ulang untuk mencapai kondisi *semisolid*. Pemanasan billet harus cepat pada jumlah fasa tertentu dan homogen. Tahap ketiga adalah operasi pembentukan *semisolid*. Setelah pemanasan ulang, *billet semisolid* dibentuk menjadi bentuk akhir dengan satu operasi pembentukan^[13].

Berdasarkan uraian diatas maka dapat dirumuskan beberapa permasalahan pada proses pembuatan komposit matrik logam dengan proses *thixoforming* sebagai berikut:

- Penambahan fraksi volume alumina dapat meningkatkan sifat mekanis komposit terutama kekuatan tarik dan kekerasan serta menurunkan densitas komposit^[3].
- Rendahnya sifat pembasahan alumina terhadap matrik dapat ditingkatkan dengan menambahkan magnesium^[5].
- Proses pembuatan komposit dengan memberikan tekanan yang besar dapat meningkatkan kekuatan tarik secara signifikan^[7].
- Pencegahan cacat mikrosegregasi dan *shrinkage* pada proses *squeeze casting* Al₄,5Cu menunjukkan bahwa *sound casting* hanya dapat dicapai pada temperatur cetakan yang tinggi dan temperatur cairan pada saat penuangan yang rendah^[8].
- Sifat mekanis terbaik pada aluminium 2014 diperoleh dengan melakukan *solution treatment* lebih lama dibanding waktu standar perlakuan panas T6^[9].

Fraksi volume solid paduan pada Al4.4Cu sulit untuk dicapai secara tepat dikarenakan kecilnya rentang temperatur 40-60% solid yaitu pada rentang temperatur 625-635 °C^[11].

1.3. RUANG LINGKUP PENELITIAN

Untuk kelancaran proses penelitian pembuatan material komposit ini maka hal-hal seperti bahan baku komposit, parameter proses dan karakterisasi material ditentukan sebagaimana berikut.

1.3.1. Bahan Penelitian

Bahan penelitian yang digunakan adalah :

- Aluminium murni
- Tembaga (berasal dari kabel listrik)
- Ingot magnesium sebagai *wetting agent*.
- Al₂O₃ (99,91%) ± 8,89-68,75 µm sebagai penguat (*reinforcement*)

1.3.2. Parameter Proses

Untuk memperlancar proses pembuatan komposit dan sebagai pedoman dalam pelaksanaan proses pembuatan komposit maka ditetapkan parameter proses sebagaimana berikut.

Parameter Proses :	Keterangan :
Proses pembuatan	: Tempa semi solid
Jenis <i>semisolid</i>	: <i>Thixoforming</i>
Prosentase Magnesium	: ± 4% berat
Prosentase Tembaga	: ± 5 % berat
Prosentase penguat Alumina (Al ₂ O ₃)	: 0, 5, 10, 15 dan 20 % berat
Temperatur proses pencairan	: 700 °C

Temperatur proses <i>semisolid</i>	: 625-635 °C
Parameter <i>thixoforming</i>	
Pouring temperatur	: 635 °C
Dies temperatur	: 300 °C
Pressure load	: 20 Ton
Pressure duration	: 3 detik
Temperatur pengerjaan panas	
- Solution heat treatment	: 540 °C selama 4 jam
- Media quench	: Air dengan suhu 26 °C
- Temperatur <i>aging</i>	: 200 °C
Waktu <i>aging</i>	: 16 dan 28 jam

1.3.3. Karakterisasi

Karakterisasi material pada beberapa tahapan dilakukan pada sejumlah sampel untuk mengetahui keadaan dan pengaruh proses pembentukan dan perlakuan panas yang diberikan pada material komposit adalah.

Jenis Pengujian :	Standart pengujian :
1 Uji komposisi kimia OES (<i>Optical Emission Spectroscope</i>)	: ASTM 227-90 (1996)
2 Uji tarik	: ISO / TTA2 (1997)
5 Uji Berat jenis dan porositas	: ASTM C 20-00
6 Metalografi	: ASTM E 407-93
7 Analisa SEM dan EDS	: Manual book JEOL-JSM-6390A

1.4. TUJUAN

Tujuan penelitian ini adalah untuk :

- a. Mendapatkan komposit matrik logam dimana Al5Cu sebagai matrik dengan Al₂O₃ sebagai penguat berupa partikel melalui proses *thixoforming* semi solid dengan kekuatan tarik dan densitas yang tinggi.
- b. Mengetahui pengaruh perbedaan fraksi volume penguat terhadap kekuatan tarik dan densitas KML Al5Cu/ Al₂O₃ hasil proses *thixoforming*.
- c. Mengetahui pengaruh distribusi partikel Al₂O₃ terhadap kekuatan tarik dan densitas komposit.
- d. Mengetahui pengaruh perbedaan temperatur dan lamanya waktu penahanan (*holding time*) pada saat proses aging terhadap fasa-fasa yang terjadi.

1.5. SISTEMATIKA PENULISAN

Secara garis besarnya, pembahasan dalam Tugas Akhir ini dibagi atas lima bab, yaitu:

BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini merupakan bab Pendahuluan yang menguraikan tentang Latar Belakang, Tujuan Penulisan, Batasan Masalah, Metode Penulisan, Waktu dan Tempat Pelaksanaan dan Sistematika penulisan.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menjelaskan komposit matrik logam, aluminium matrik komposit, komposit penguat partikel, mekanisme ikatan antarmuka, *stir casting*, material penyusun komposit matrik logam, metode pembentukan *semisolid*

BAB III : METODOLOGI PENELITIAN

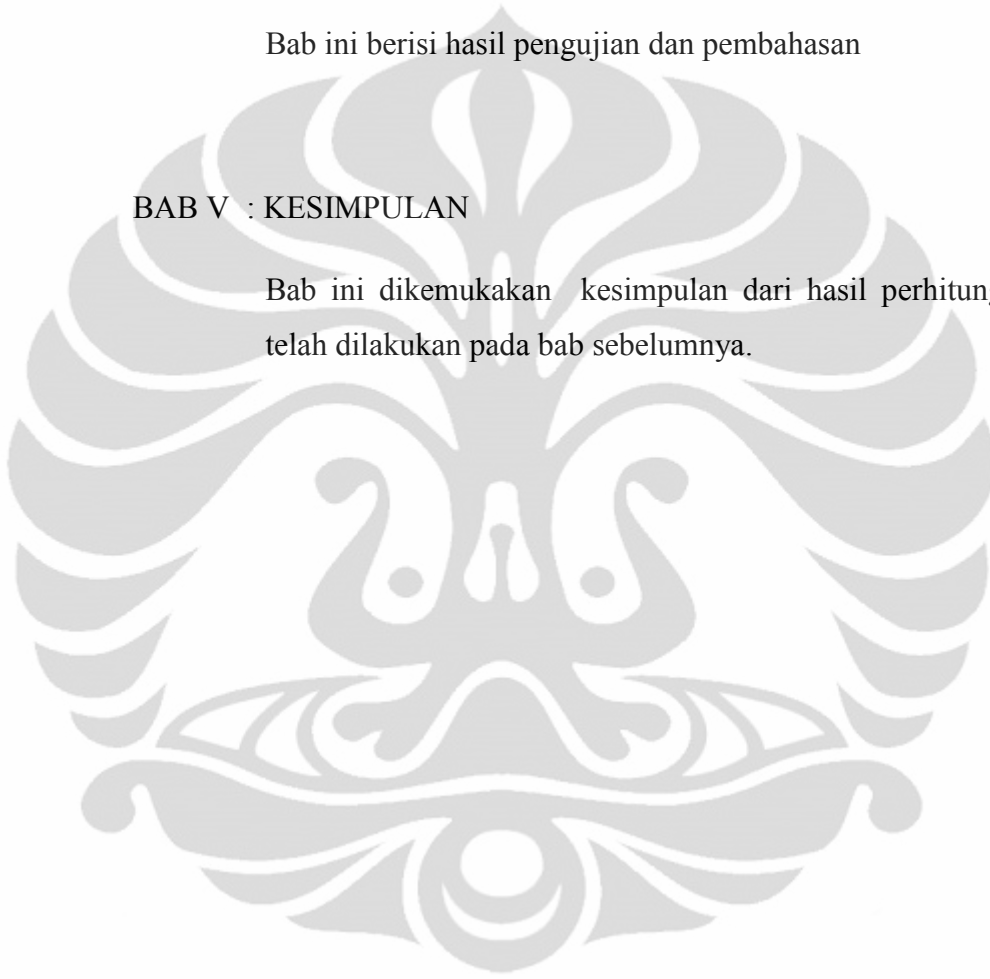
Bab ini berisi penjelasan diagram alir penelitian,

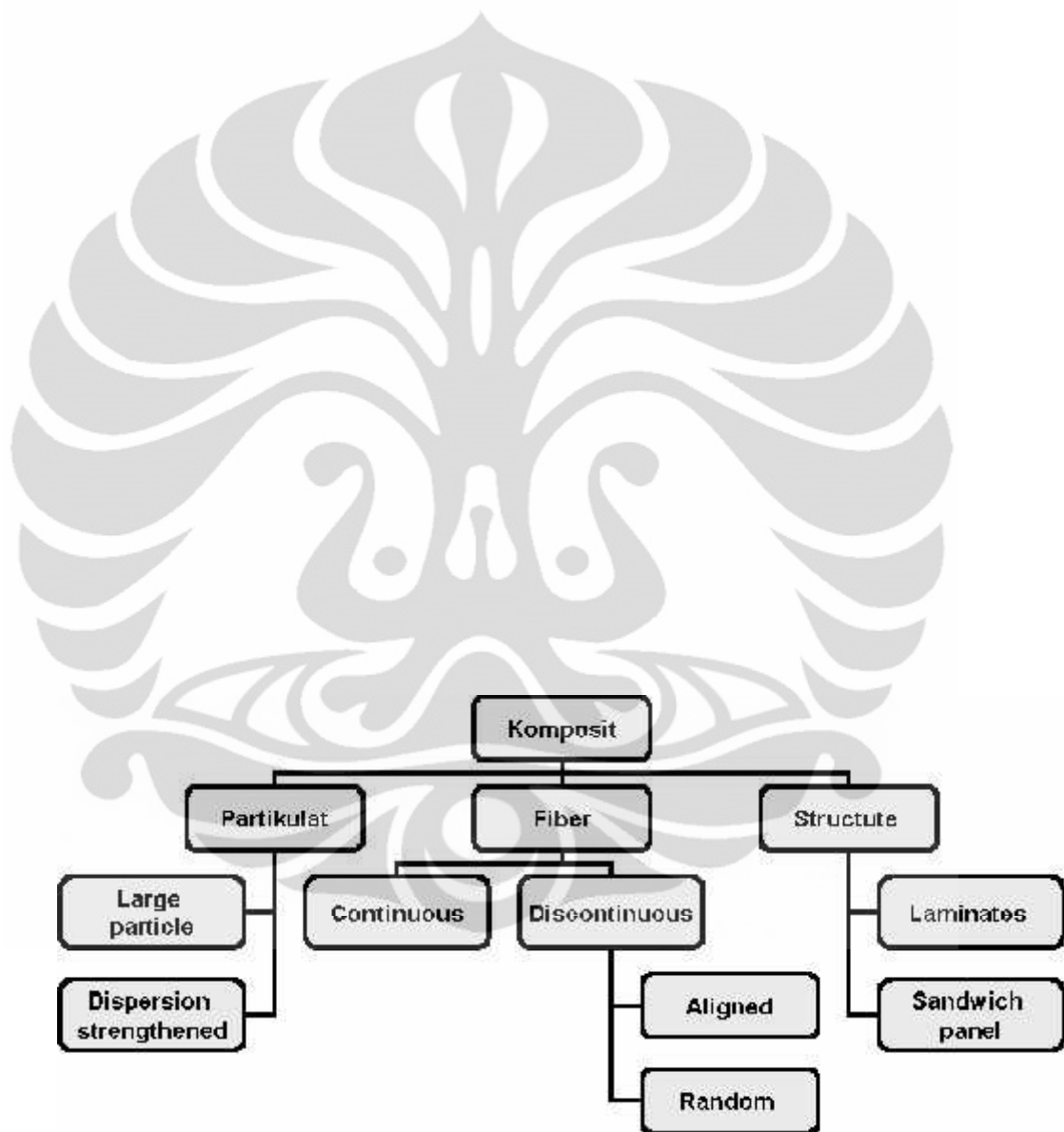
BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN

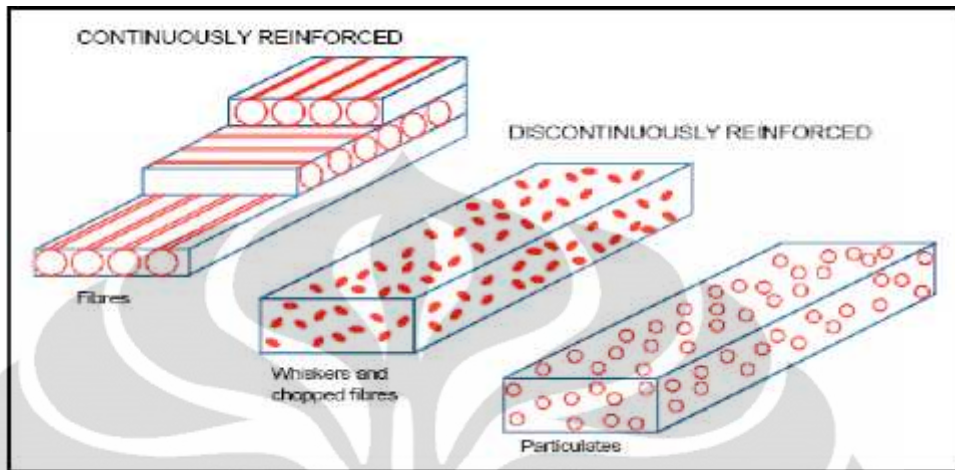
Bab ini berisi hasil pengujian dan pembahasan

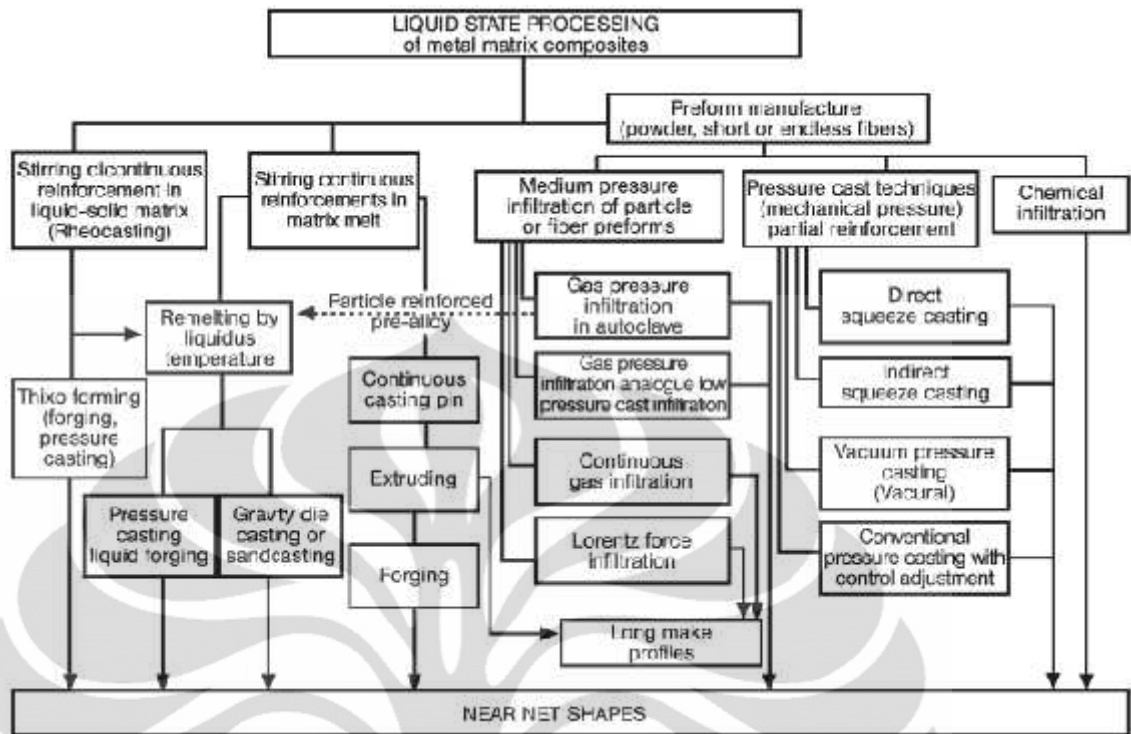
BAB V : KESIMPULAN

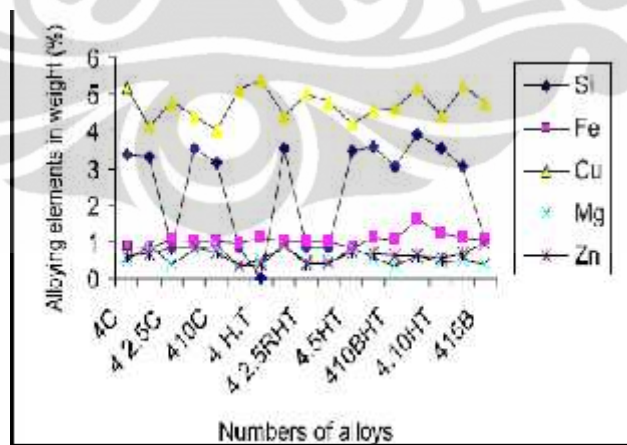
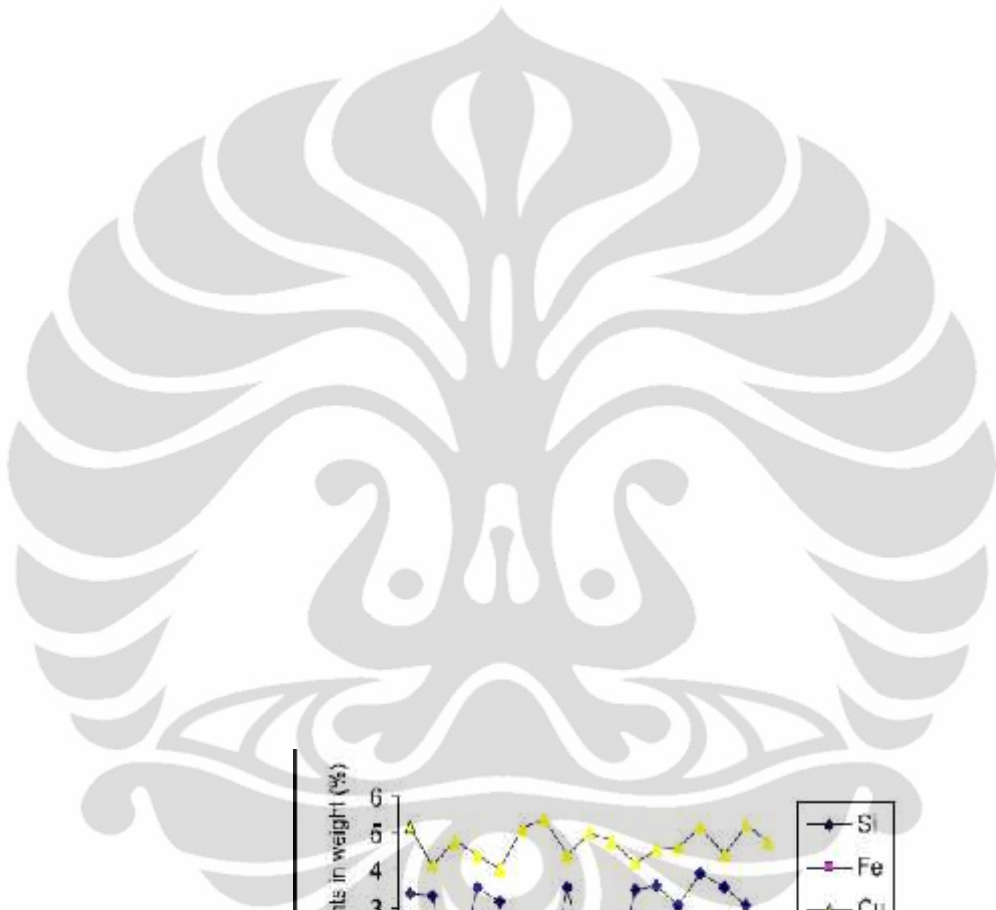
Bab ini dikemukakan kesimpulan dari hasil perhitungan yang telah dilakukan pada bab sebelumnya.

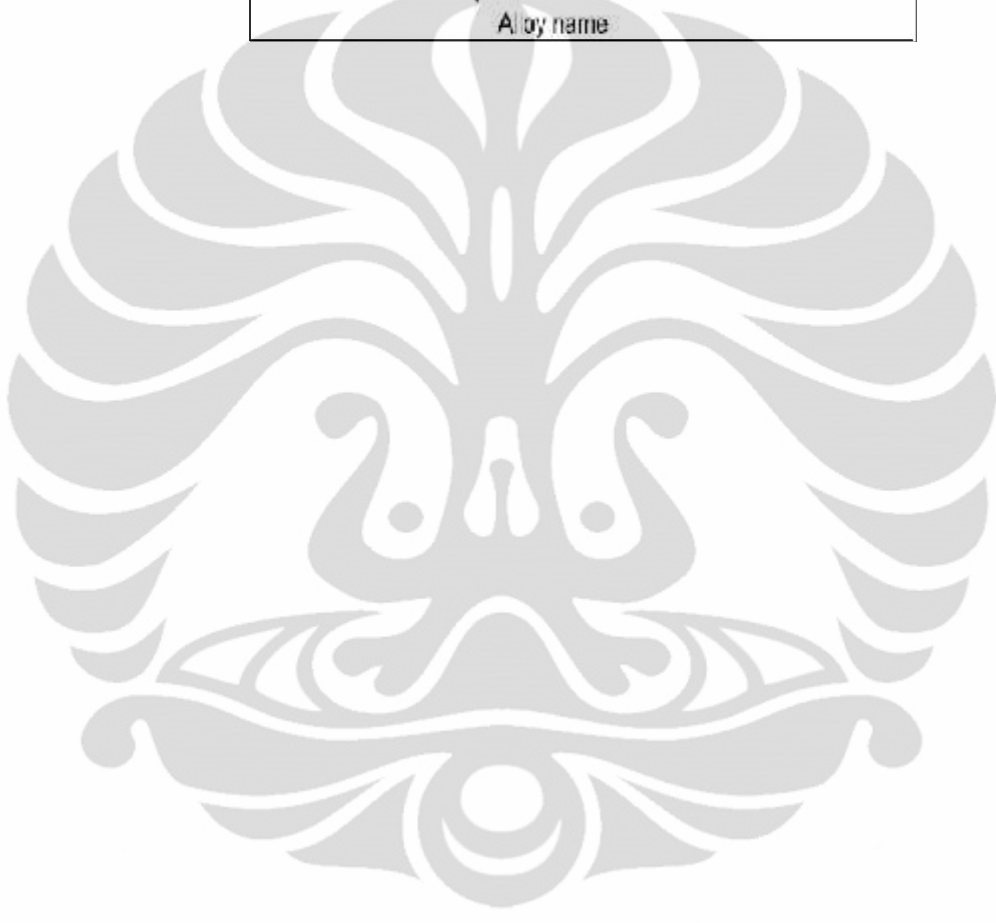
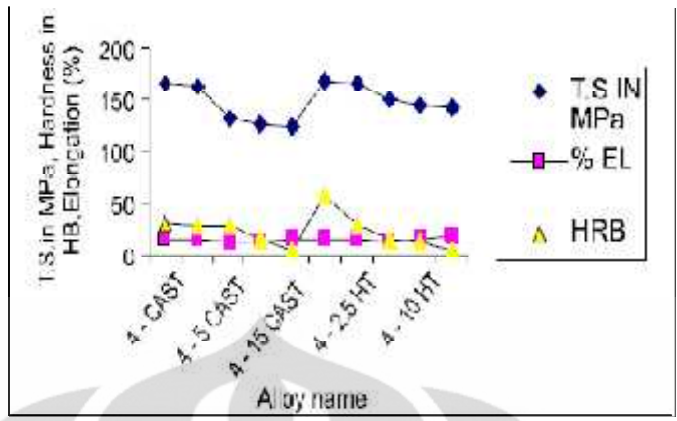












antarmuka. Besarnya kekuatan komposit dipengaruhi oleh volume fraksi, distribusi dan bentuk partikel^[19]. Penguat partikel memiliki dimensi yang hampir sama pada semua arah. Bentuk partikel penguat bisa berupa seperti bola, kubus, *platelet* atau bentuk tertentu dan geometri yang tidak beraturan. Komposit penguat partikel dapat diklasifikasikan dalam dua subkelompok :

- (a) Komposit Penguat Partikel Besar (*Large-particle composites*)
- (b) Komposit Penguatan Dispersi (*Dispersion-strengthened composites*)

2.3.1 Mekanisme Penguatan Komposit Penguat Partikel

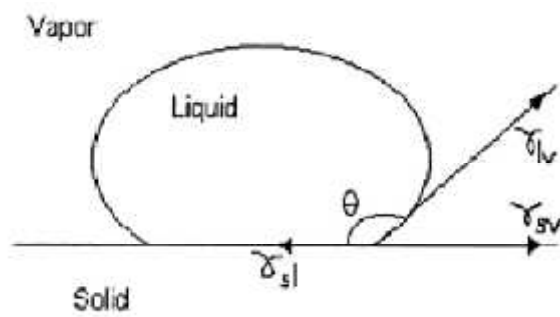
(a) Komposit Penguat Partikel Besar (*large-particle composite*)

Komposit penguat partikel bisa berupa *large particle* dan *dispersion strengthened* merupakan dua subklasifikasi komposit penguat partikel. Perbedaan antara keduanya adalah berdasarkan mekanisme penguatannya.

Istilah '*large*' digunakan untuk mengindikasikan interaksi antara matriks-partikel tidak bisa dilakukan dalam skala atomik atau molekul. Pada beberapa komposit, fasa partikel lebih keras dan lebih kaku dibandingkan matriks. Partikel penguat ini cenderung mengalami pergerakan *restrain* fasa matriks disekitar setiap penguat partikel. Matriks mentransfer sejumlah tegangan yang diberikan ke partikel, yang menghasilkan fraksi beban. Tingkat penguatan atau peningkatan sifat mekanis tergantung pada kekuatan ikatan pada antarmuka antara matriks-partikel.

(b) Komposit Penguatan Dispersi (*dispersion-strengthened composite*)

Pada komposit dengan penguatan dispersi, partikel umumnya berukuran lebih kecil dibandingkan komposit penguat partikel, diameter berukuran antara 10 dan 100 nm. Interaksi matriks-partikel yang menyebabkan penguatan terjadi pada skala atomik atau molekul. Mekanisme penguatan hampir sama dengan pengerasan presipitat. Sedangkan matriks menghasilkan bagian terbesar dari tegangan yang diberikan, partikel berukuran kecil yang tersebar menghambat



Wettability tidak akan terjadi apabila viskositas matrik terlalu tinggi dan apabila pembasahan mengakibatkan energi bebas sistem turun. Keberhasilan penggabungan partikel keramik padat kedalam pengecoran terjadi ketika lelehan membasahi fasa keramik padat. Masalah pembasahan pada penguat partikel keramik dengan leburan logam berkaitan dengan tegangan permukaan (*surface tension*) dan kimia permukaan (*surface chemistry*).

Sifat kimia permukaan, termasuk kontaminasi, atau oksidasi, permukaan lelehan dan lapisan oksida harus dipertimbangkan. Seluruh permukaan dihubungkan dengan energi bebas (*free energy*)^[19].

γ_{SL} = energi bebas per satuan luas antarmuka *solid-liquid*

γ_{SV} = energi bebas per satuan luas antarmuka *solid-vapor*

γ_{LV} = energi bebas per satuan luas antarmuka *liquid-vapor*.

Spreading Coefficient dapat didefinisikan sebagai berikut :

$$SC = \gamma_{SV} - (\gamma_{SL} + \gamma_{LV}) \dots\dots\dots (1)$$

Gaya ikatan yang terjadi antara fasa liquid dan fasa solid disebut sudut kontak yang terdapat dalam persamaan Young-Dupre.

$$\gamma_{SV} = \gamma_{SL} + \gamma_{LV} \cos \theta \dots\dots\dots (2)$$

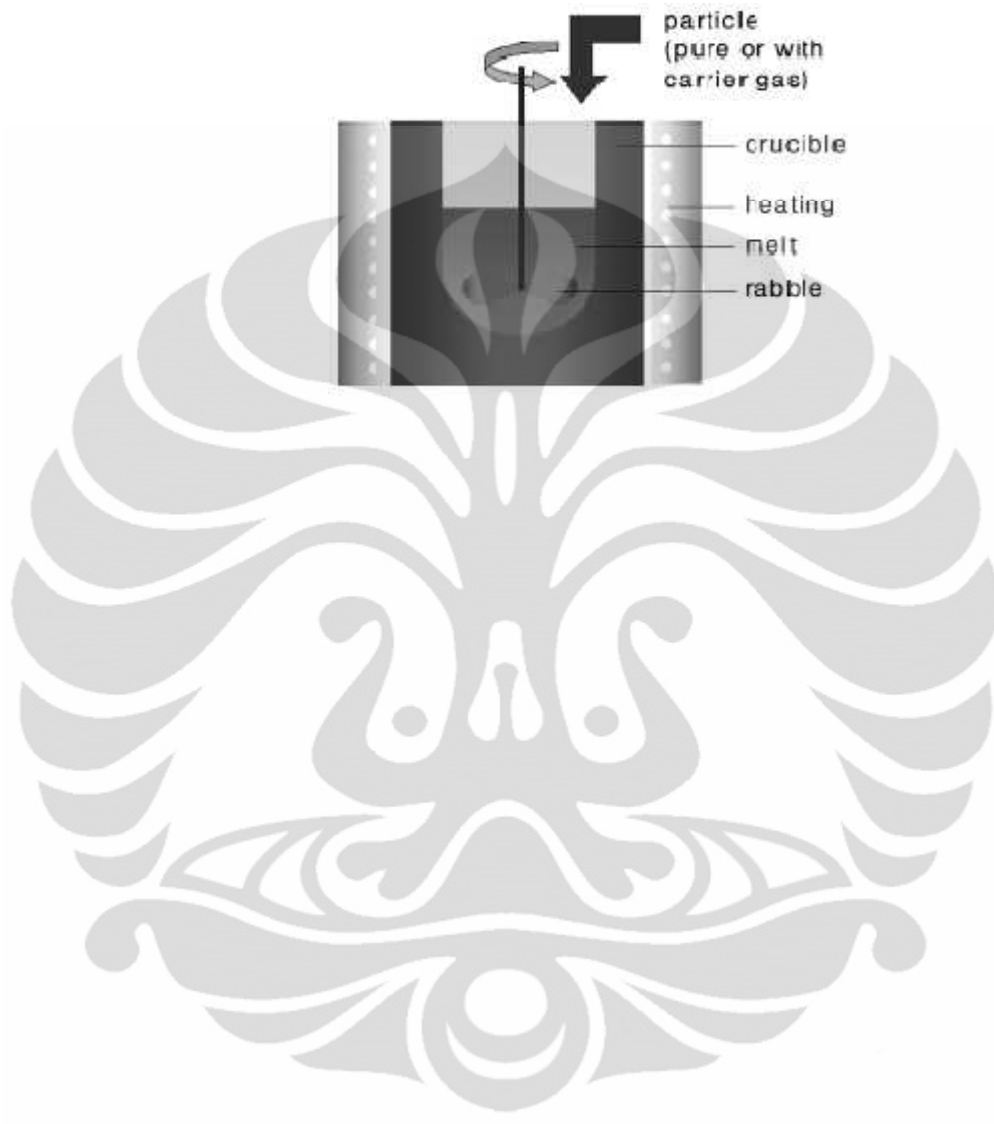
$$\theta = (\gamma_{SV} - \gamma_{SL}) / \gamma_{LV} \dots\dots\dots (3)$$

θ digunakan untuk mengukur derajat *wettability*.

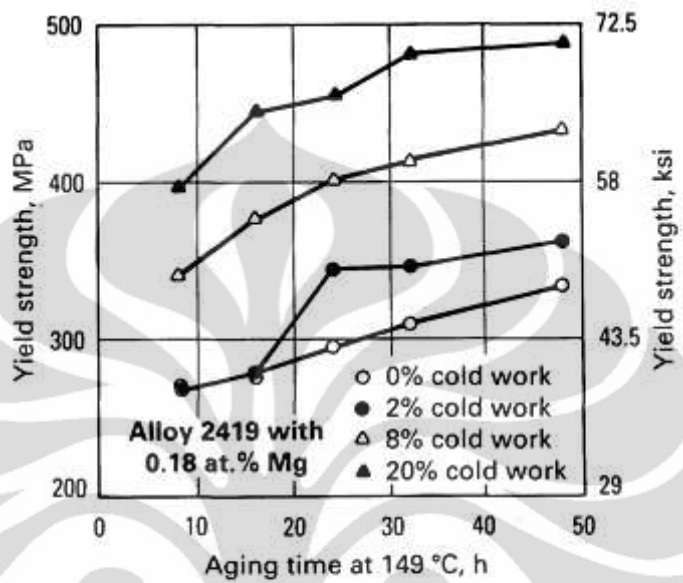
- a) $\theta = 180^\circ$, *no wettability*
- b) $\theta = 0^\circ$, *perfect wettability*
- c) $0^\circ < \theta < 180^\circ$, *partial wettability*

2.5. STIR CASTING

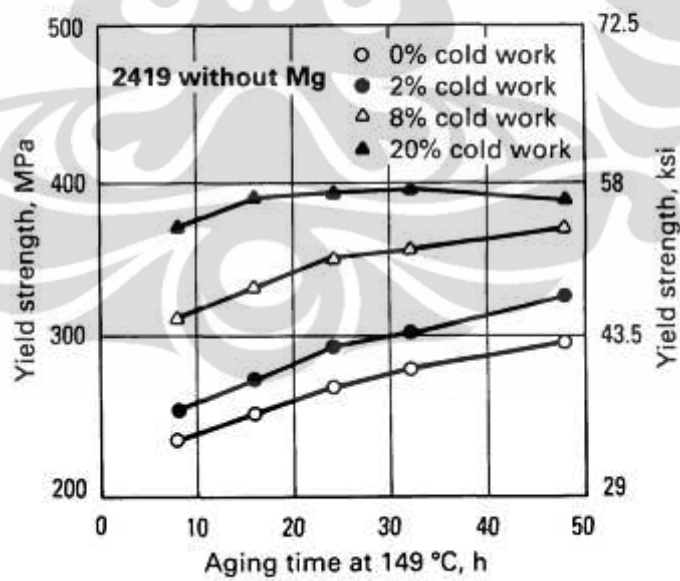
Secara umum, *stir casting* komposit matrik logam melibatkan peleburan matriks yang diikuti oleh pemberian material penguat ke dalam leburan dan penyebaran bahan penguatnya melalui proses pengadukan. Pengadukan dilakukan untuk membentuk *vortex* dimana partikel penguat dimasukkan pada tepi *vortex*. Pembentukan *vortex* akan menghambat tidak hanya partikel penguat tetapi juga pengotor yang terbentuk pada permukaan lelehan. Akan tetapi *vortex* akan menjebak udara ke dalam cetakan yang sangat sulit untuk dikeluarkan pada saat



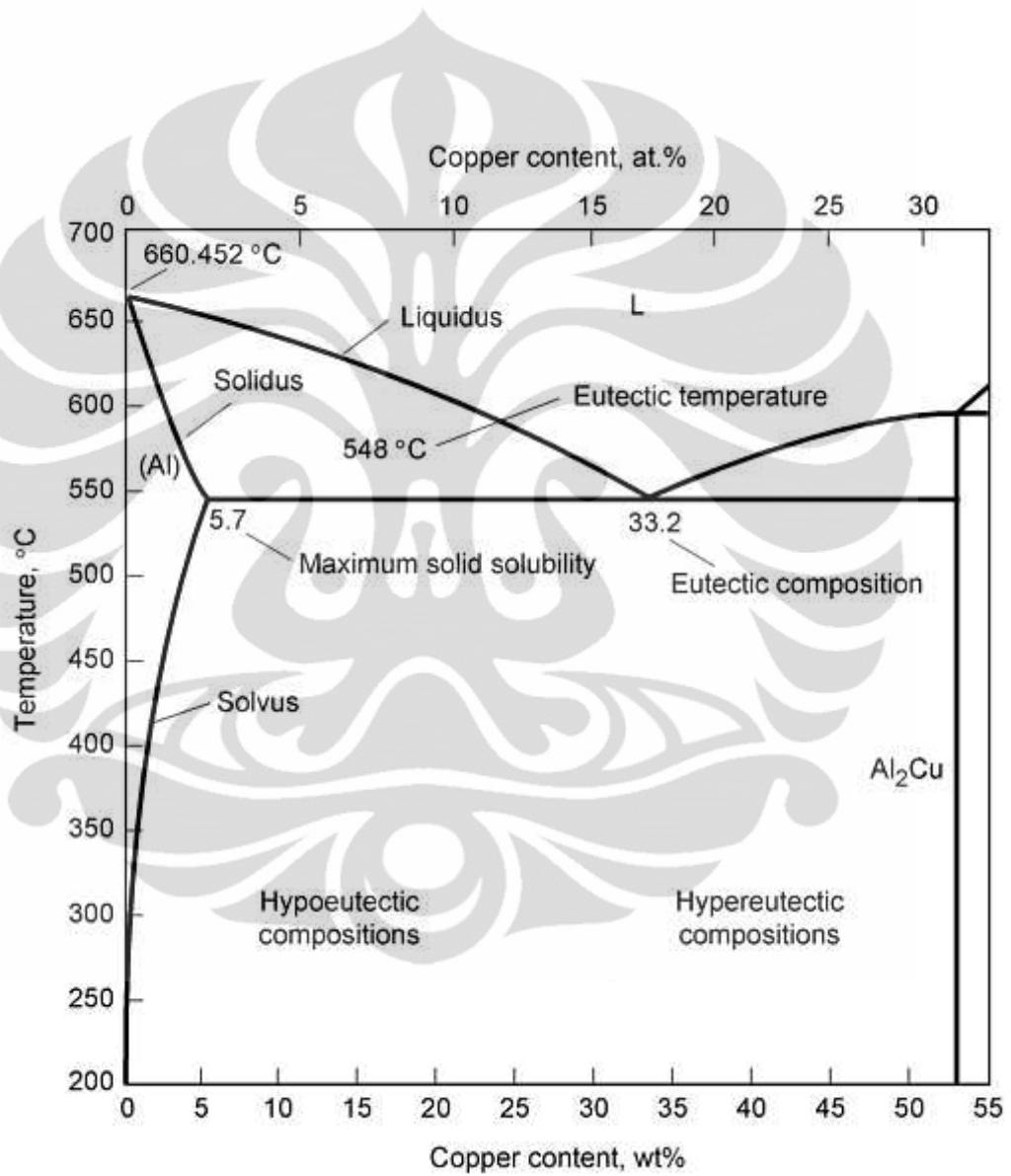
Aluminium, > 99.00%	1xxx
Aluminium alloys grouped by major alloying element(s):	2xxx
Copper	
Manganese	3xxx
Silicon	4xxx
Magnesium	5xxx
Magnesium and silicon	6xxx
Zinc	7xxx
Other elements	8xxx
Unused series	9xxx

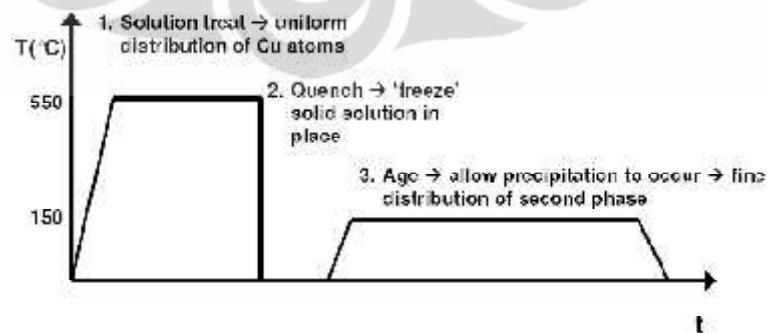
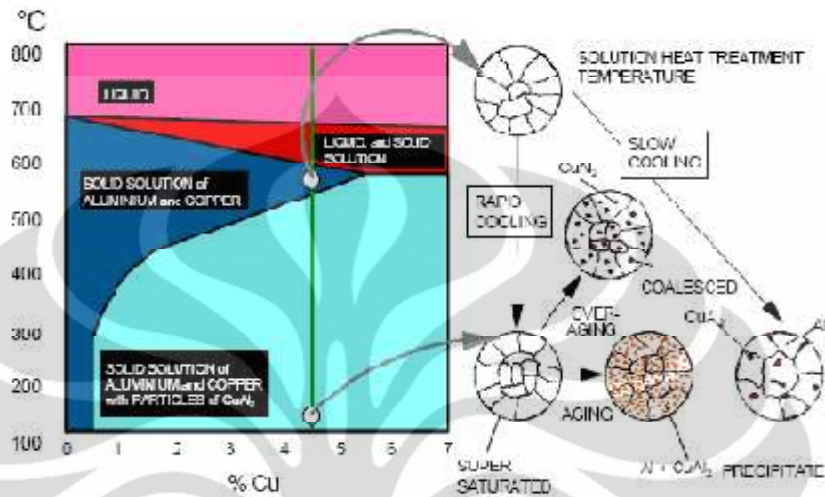


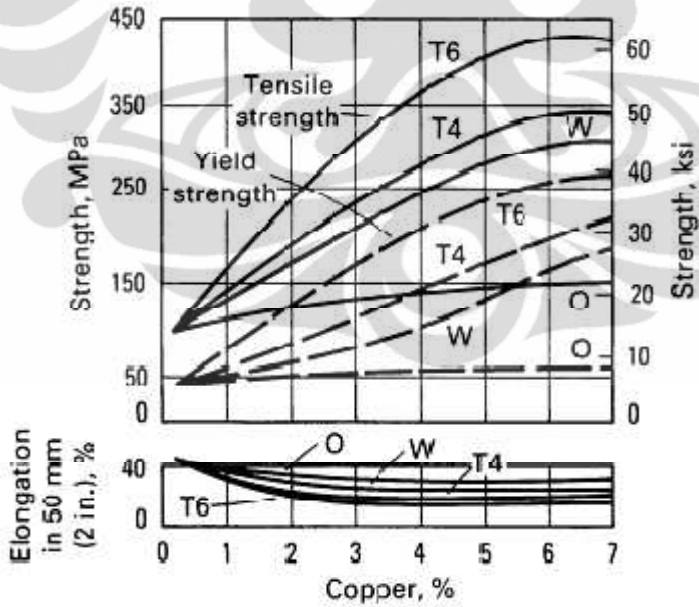
(a)

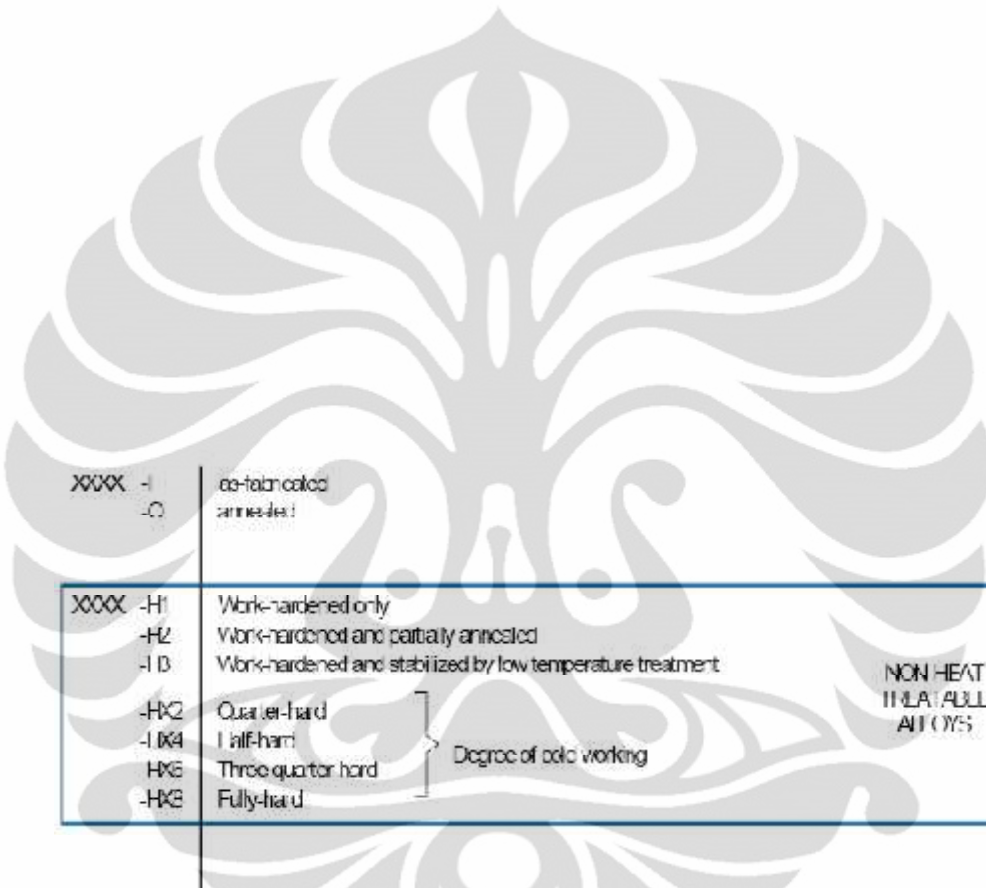


(b)

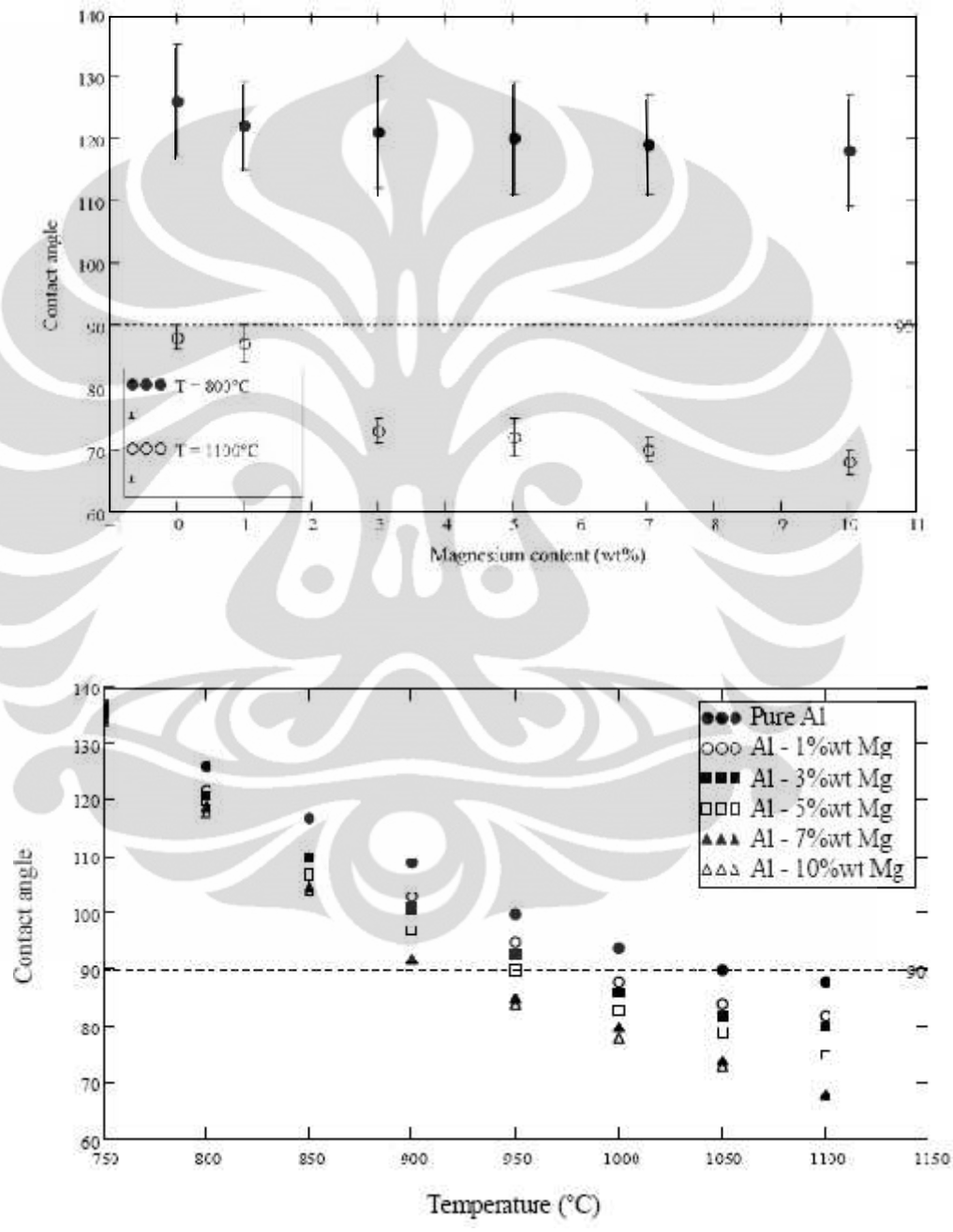








XXXX -1 -O	as-fair cooled annealed	
XXXX -H1 -H2 -1 D -HX2 -HX4 HX6 -HX8	Work-hardened only Work-hardened and partially annealed Work-hardened and stabilized by low temperature treatment Quarter-hard Half-hard Three quarter hard Fully-hard	Degree of cold working
		NON HEAT TREATABLE ALLOYS
XXXX -T2 -T4 -T6 T8 -T8	Cooled from an elevated temperature and naturally aged Solution heat-treated and naturally aged Cooled from an elevated temperature shaping process and artificially aged Solution heat treated and artificially aged Solution heat-treated, cold worked and aged	
		HEAT TREATABLE ALLOYS

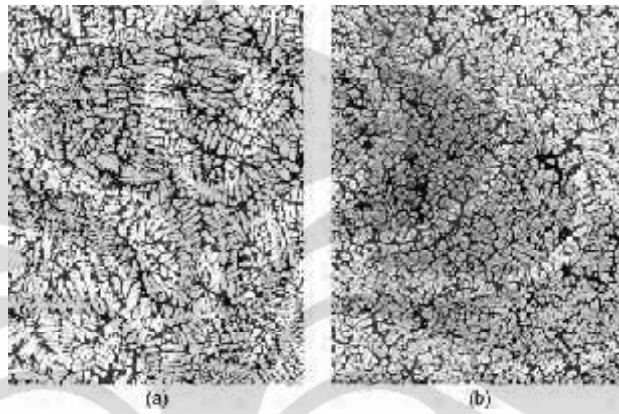


Property	Reinforcement						
	SiC _p	Al ₂ O _{3p}	TiB _{2p}	Si ₃ N _{4p}	Al ₂ O _{3c} ^(a)	SiC _w ^(b)	Si ₃ N _{4w}
Density, g/cm ³	3.21	3.97	4.5	3.18	3.3	3.19	3.18
Diameter, μm	...	...	...	...	3-4	0.1-1.0	...
Coefficient of thermal expansion, 10 ⁻⁶ K ⁻¹	4.3-5.6	7.2-8.6	8.1	3.0	9	4.8	3.8
Tensile strength, MPa (ksi)	100-800 ^(c) (14.5-116) ^(c)	70-1000 ^(c) (10-145) ^(c)	700-100 ^(c) (101.5-145) ^(c)	250-100 ^(c) (36-145) ^(c)	>2000 (>290)	3,000-14,000 (435-2030)	13,800 (2,001)
Young's modulus, GPa (10 ⁶ psi)	200-480 (29-70)	380 (55)	514-574 (75-83)	304 (44)	300 (43.5)	400-700 (58-101.5)	379 (55)
Elongation, %	...	...	...	...	0.67	1.23	...

(a) Saffil (ICI Americas, Inc.) (96% Al₂O₃-4%SiO₂).

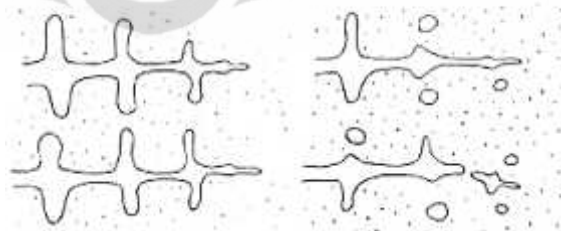
(b) >98% SiC.

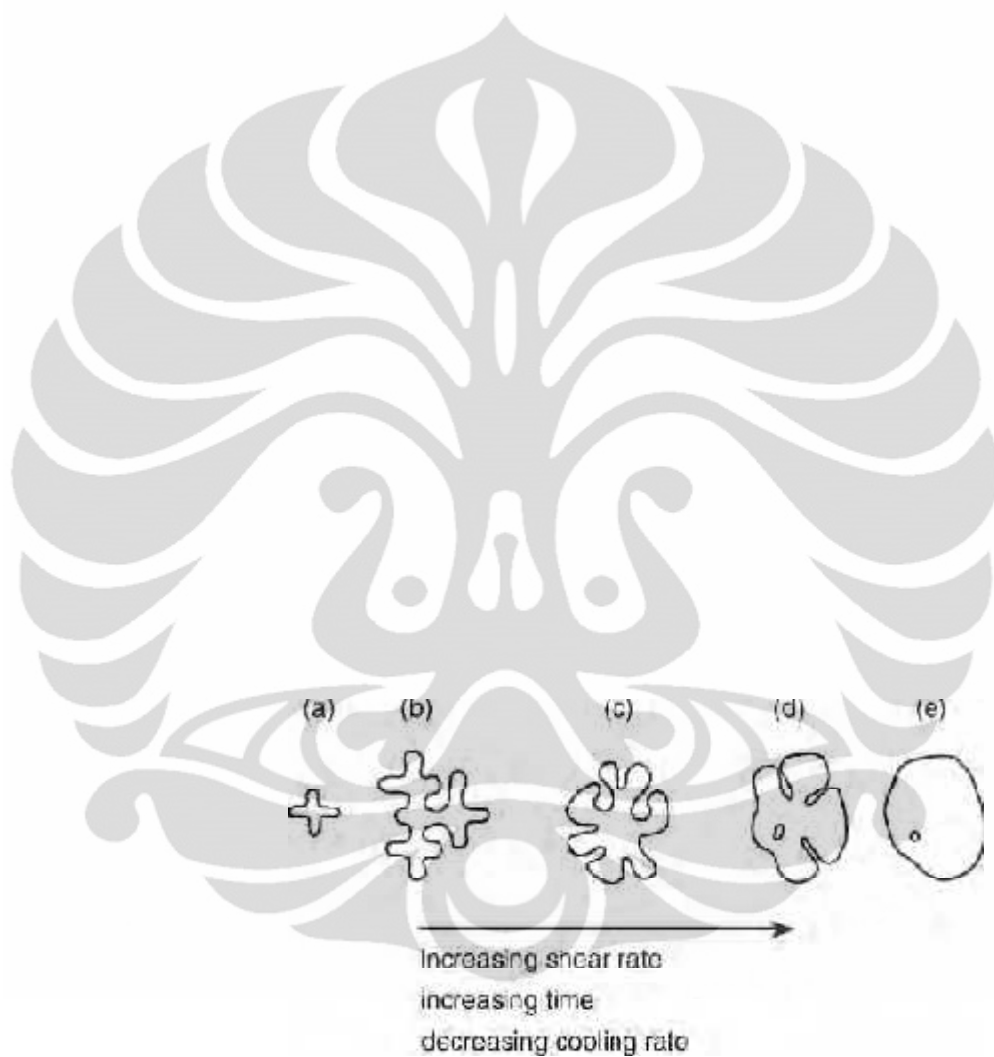
(c) Transverse rupture strength of bulk.

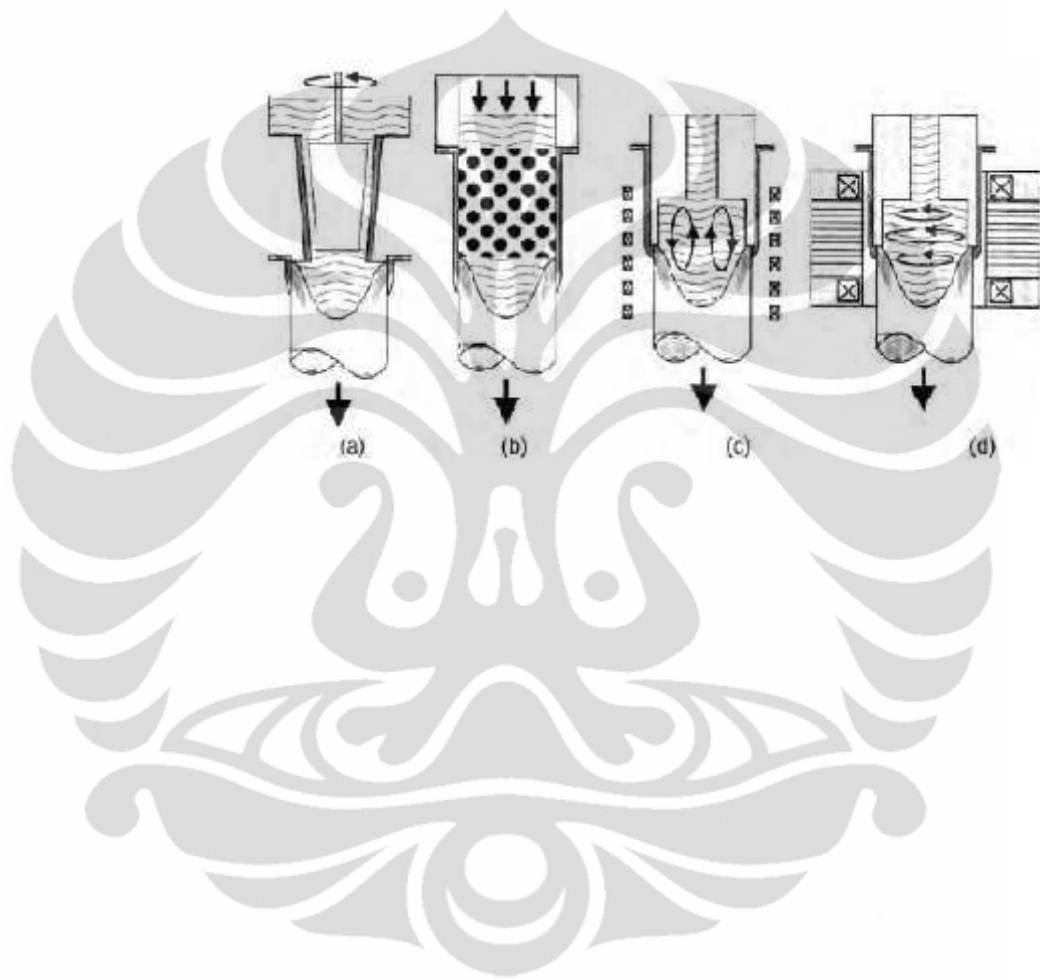


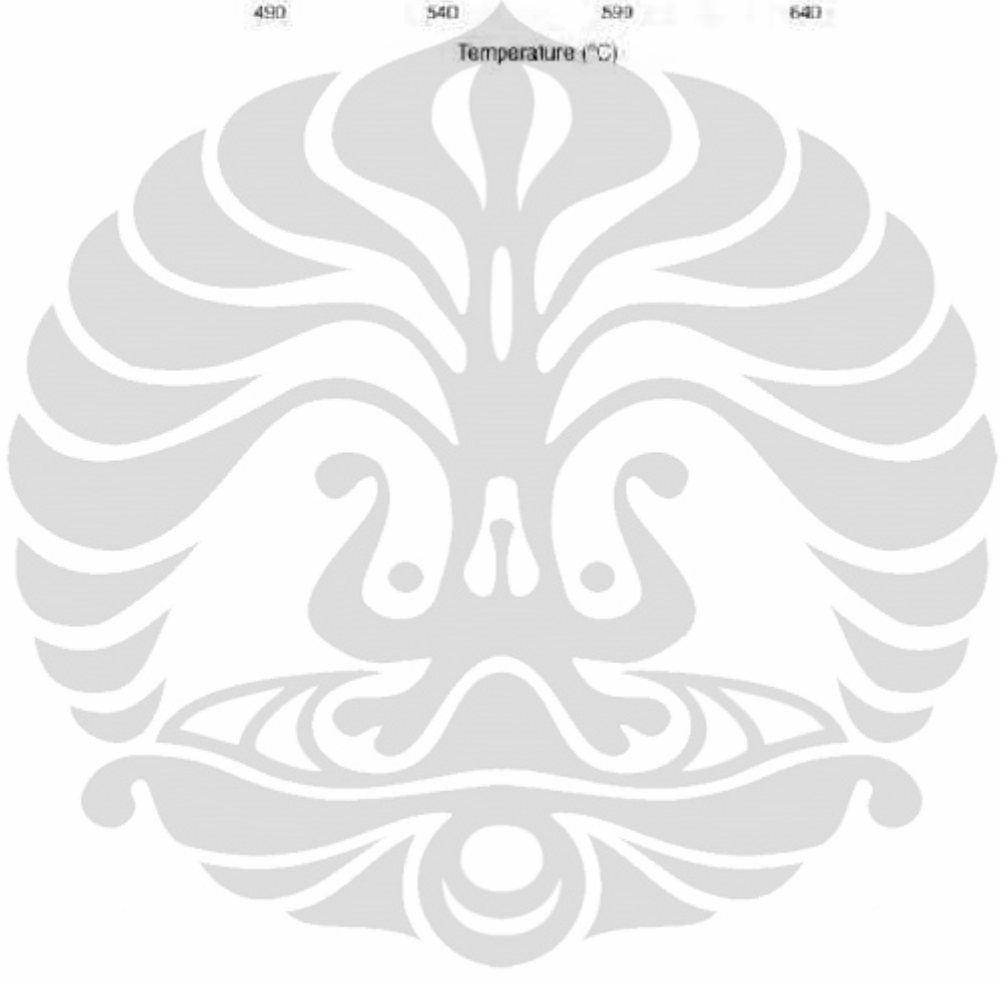
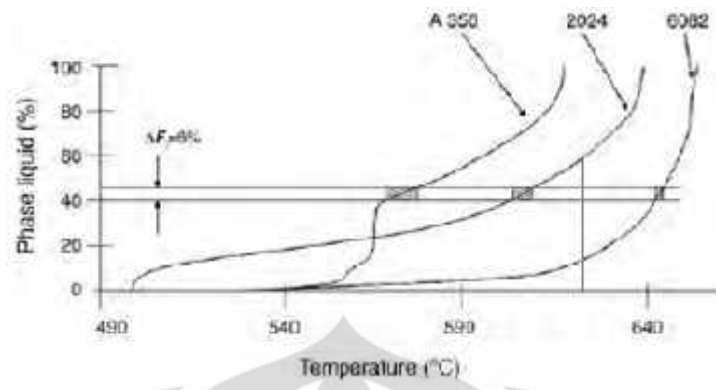
BEFORE FLOW

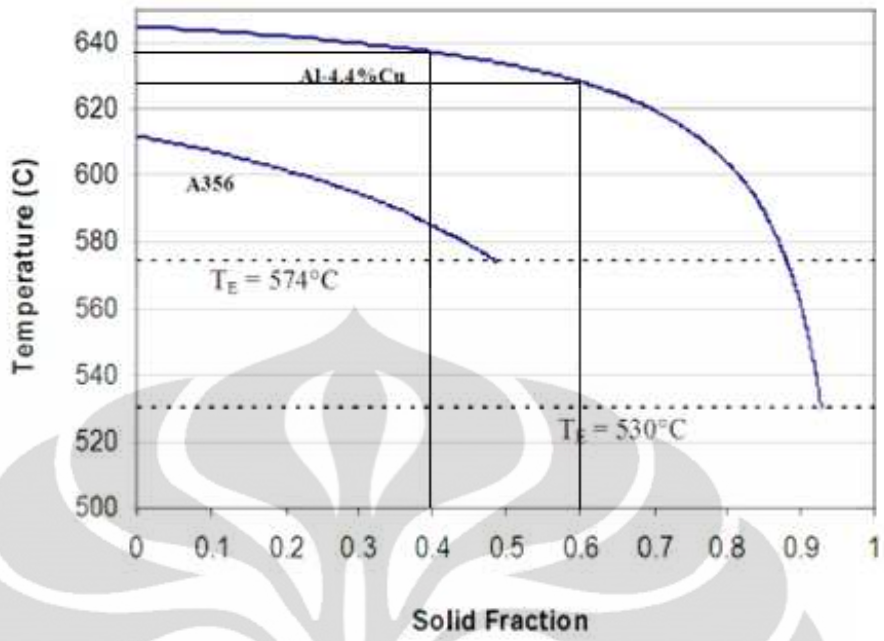
AFTER FLOW





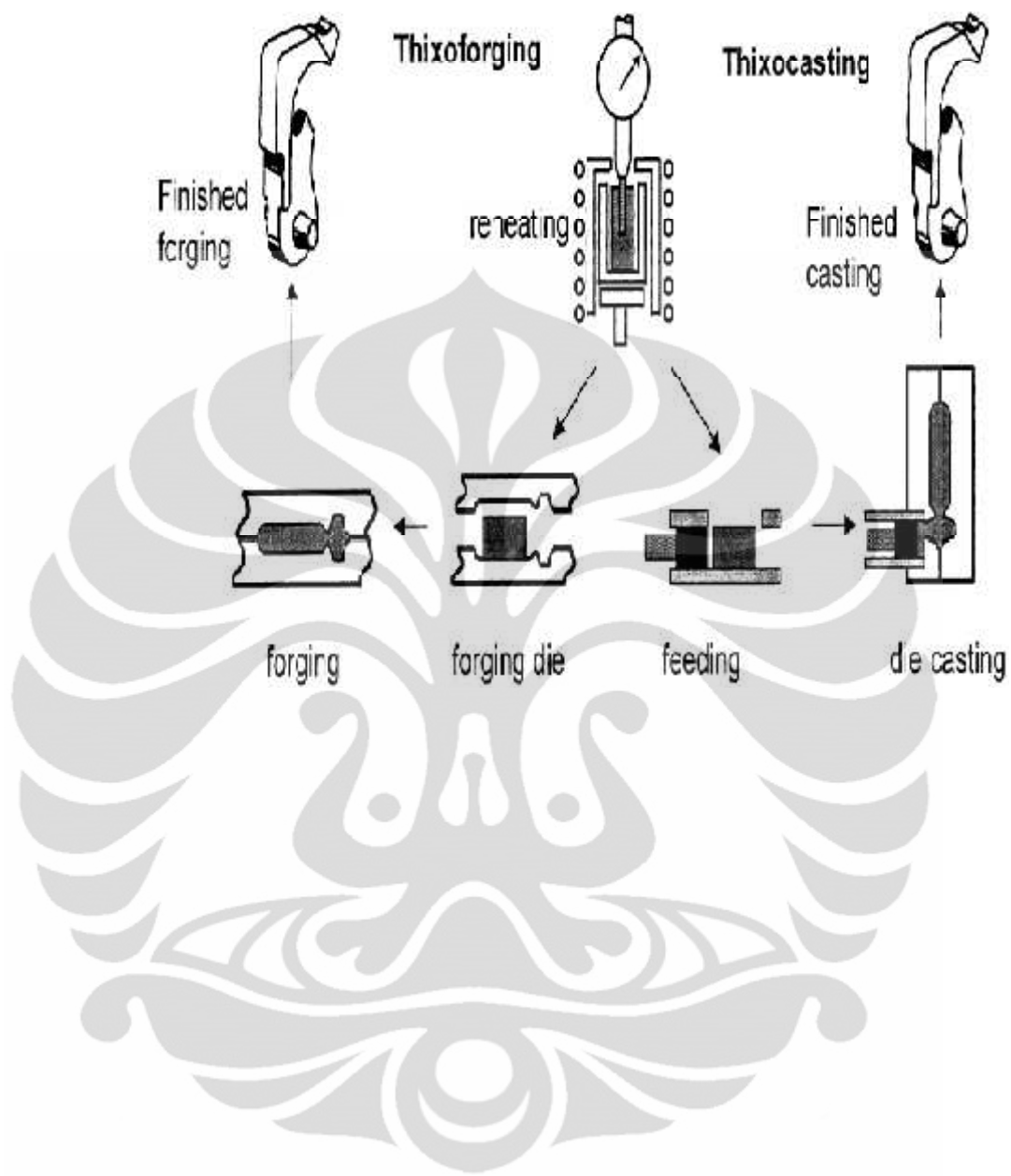






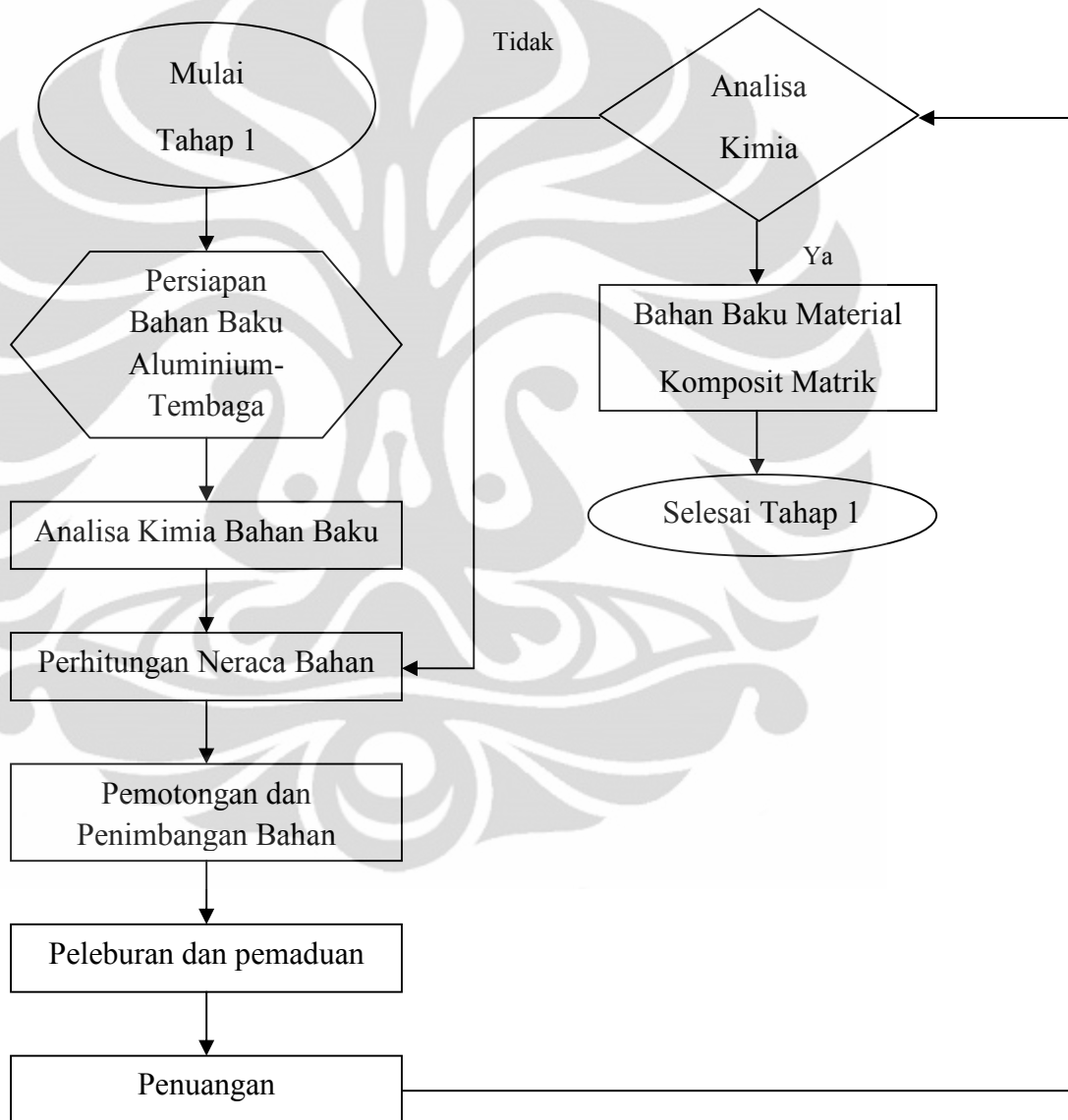
4. *Single slug production method*. Medan magnet mengaduk logam cair. Pertumbuhan dendrit diputuskan oleh gaya geser akibat aliran logam sehingga dihasilkan bilet dengan globular halus.
5. *The continuous rheoconversion process*. Berdasarkan metode pengadukan cairan pasif dimana nukleasi dan pertumbuhan butir fasa primer dikontrol oleh reaktor khusus.
6. *The SEED process*. Terdiri dari dua tahap. (1) Ekstraksi panas untuk mencapai campuran solid-liquid yang diinginkan dan (2) mengalirkan kelebihan cairan agar slug *semisolid* mampu mempertahankan kondisinya.
7. *Low superheat pouring with shear field*. Memanfaatkan kondisi pembekuan untuk mengontrol nukleasi dan pertumbuhan butir dengan penuangan superheat.
8. *The gas bubbles technique*. Mengalirkan gelembung gas kedalam cairan untuk menjadikan agitasi selama tahap utama pembekuan. Proses dilakukan hingga temperatur tujuan atau fraksi solid pada cairan telah tercapai.
9. Menggunakan *liquid electrolysed* aluminium. Metode ini membuat mikrostruktur globular paduan aluminium dengan menggunakan cairan elektrolis aluminium. Kemudian cairan dituang kedalam cetakan pada temperatur 0-10°C diatas temperatur *liquidus*.

Proses pembentukan *semisolid* yang terkini adalah dengan mengalirkan gelembung gas melalui objek berpori ke dalam cairan logam yang temperaturnya ditahan dibawah temperatur *liquidus*, sehingga terbentuklah logam *semisolid* non dendritik.

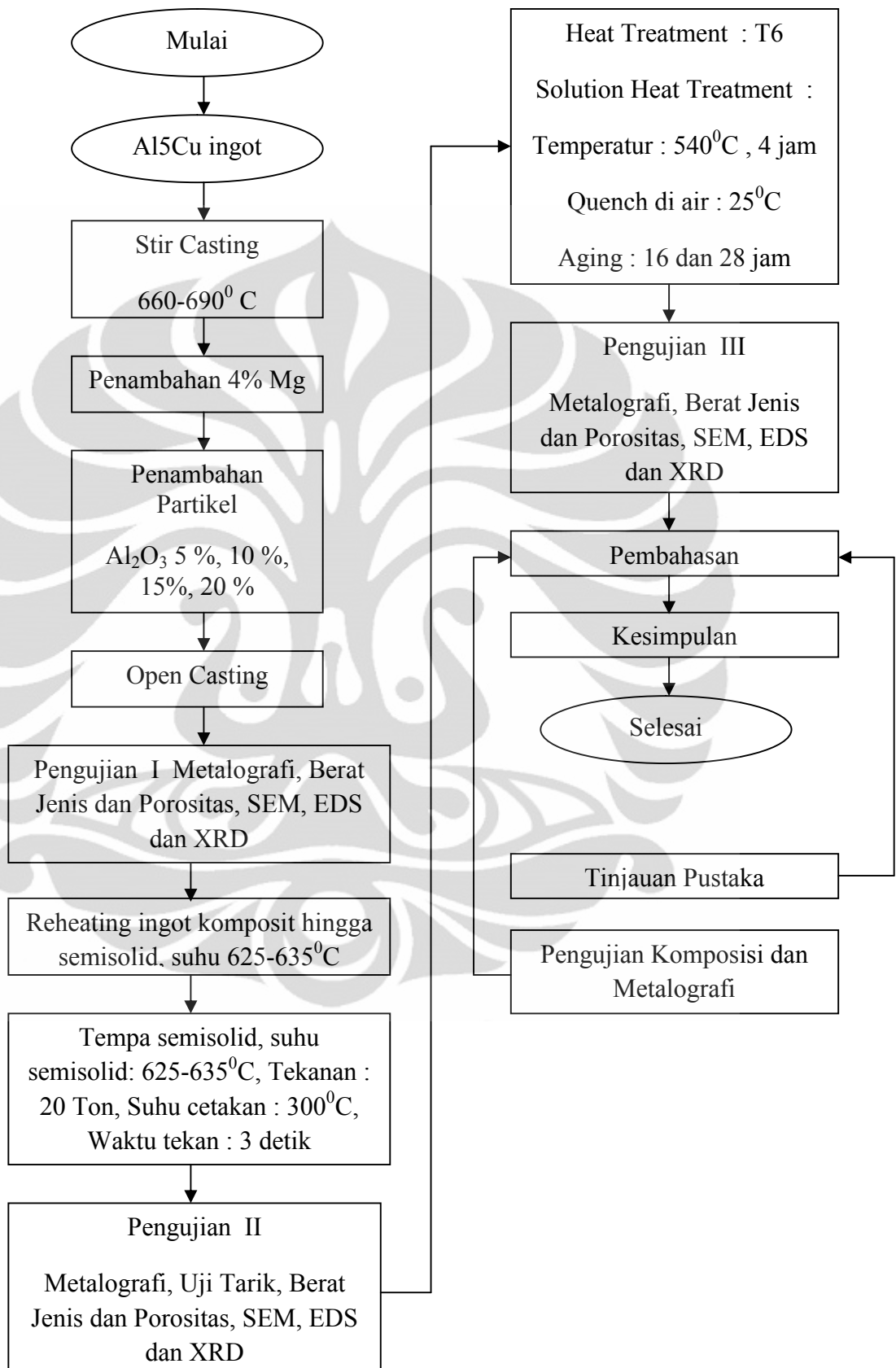


BAB 3
METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada kedua bagan di bawah ini.



Gambar 3.1 Proses Pembuatan bahan matriks Komposit Matrik Logam Al5Cu



Gambar 3.2 Skema Penelitian Komposit Matrik Logam dengan Squeeze Casting

Untuk memudahkan dalam pelaksanaan dan pembahasan maka penelitian mengenai pembuatan komposit matrik logam ini akan mencakup hal-hal seperti : bahan yang digunakan, parameter proses dan karakterisasi material.

3.1 PENJELASAN DIAGRAM ALIR PENELITIAN

3.1.1 Tahapan Persiapan Bahan dan Peralatan

a. Persiapan bahan baku

Bahan baku yang digunakan pada percobaan ini adalah :

- Aluminium murni ingot
- Mg ingot
- Kawat tembaga
- Alumina (Al_2O_3)



Gambar 3.3 ingot aluminium murni



Gambar 3.4 Ingot Magnesium murni



Gambar 3.5 Tembaga murni



Gambar 3.6 Oksida Aluminium (Al_2O_3)

b. Persiapan Alat

Peralatan yang digunakan selama proses persiapan dan pengujian adalah

- Tungku peleburan (*burner*)
- Tungku pemanas
- *Crucible stir casting*

- Propeler *stir casting*
- Motor *stir casting*
- Cetakan *squeeze casting*
- Mesin tempa
- Cetakan tempa *semisolid*
- Thermocouple
- Stop watch
- Timbangan digital besar
- Timbangan digital kecil
- Alat bantu lain



Gambar 3.7 cetakan tempa *semisolid* yang dilengkapi pemanas

b. Alat Uji

Alat-alat pengujian yang digunakan pada penelitian ini adalah :

- Alat uji analisis kimia
- Alat uji kekuatan tarik
- Alat uji kekerasan
- Alat uji metalografi
- Alat uji keausan
- SEM-EDS

3.1.2 Proses Pembuatan Komposit Aluminium Al5Cu/Al₂O₃ dengan Metode *Semisolid*

Pada bab ini akan dijelaskan metodologi yang digunakan untuk membuat paduan Al5Cu, komposit Al5Cu/Al₂O₃ dengan *squeeze casting* dan *thixoforming*.

3.1.2.1 Pembuatan Paduan Al5Cu

Proses pembuatan bahan baku matrik dilakukan pada tungku burner dengan bahan bakar minyak tanah. Ingot aluminium dan potongan kawat tembaga dimasukkan dalam krusibel kapasitas 0,4 kilogram. Sebelum dimasukkan kedalam krusibel, aluminium dan potongan kawat tembaga telah ditimbang beratnya, dengan fraksi volume 95 % aluminium dan 5 % tembaga.



Gambar 3.8 Proses peleburan aluminium dan tembaga menggunakan burner minyak tanah

Tungku hanya mampu memuat tiga krusibel dalam setiap peleburan. Peleburan dilakukan pada temperatur 1100 °C selama empat jam. Setiap 30 menit dilakukan pengadukan secara manual agar cairan paduan lebih homogen. Setelah empat jam, dapat diperiksa bahwa seluruh tembaga telah mencair, sehingga cairan paduan dapat langsung dituang kedalam cetakan yang sebelumnya telah dipanaskan diatas tungku. Setiap ingot memiliki berat sekitar 350 gram. Hasil cetakan paduan Al5Cu dapat dilihat pada gambar 3.9.



Gambar 3.9 Paduan Al5Cu hasil pengecoran.

3.1.2.2 Stir Casting Al5Cu/AL₂O₃

Pembuatan komposit matrik aluminium dengan penguat alumina dilakukan didalam tungku pemanas elektrik 3000 watt. Jumlah paduan Al₅Cu yang digunakan setiap kali peleburan adalah satu kilogram dan ditambahkan magnesium sebagai *wetting agent* sebanyak 4 % dari berat total komposit. Sedangkan jumlah alumina yang digunakan bervariasi mulai 5, 10, 15 dan 20 %.



Gambar 3.10 Dapur listrik untuk pembuatan komposit dan pemanasan hingga mencapai kondisi *Semisolid*

Paduan Al₅Cu dicairkan pada temperatur 800 °C, kemudian magnesium dicelupkan kedalam cairan aluminium-tembaga agar tidak habis terbakar. Kemudian alumina yang telah dipanaskan diatas tungku dimasukkan sedikit demi sedikit kedalam pusran cairan aluminium yang diaduk pada kecepatan 5000 rpm selama 5 menit.



Gambar 3.11 Proses *steering* cairan aluminium-tembaga sambil melakukan pencampuran partikel alumina secara bertahap.

Namun untuk komposisi 15 dan 20% alumina tidak bisa tercampur dengan baik, sehingga kecepatan pengadukan dinaikkan menjadi 10000 rpm dengan waktu 10 menit. Setelah pengadukan, cairan komposit dituang ke dalam cetakan membentuk ingot komposit berukuran 21 x 8 x 3 cm.



Gambar 3.12 Ingot komposit Al5Cu/ Al₂O₃ hasil casting.

3.1.2.3 Thixoforming Komposit Al5Cu/Al₂O₃

Sebelum dilakukan proses tempa dalam kondisi *semisolid* pada cetakan sebagaimana pada gambar 3.12 ingot komposit dipotong sesuai dengan volume cetakan.



Gambar 3.12 Proses pemanasan kembali ingot komposit Al5Cu/ Al₂O₃ untuk mencapai fasa *semisolid*.

Potongan ingot tersebut dipanaskan menggunakan tungku listrik hingga mencapai kondisi *semisolid*, selanjutnya material *semisolid* dimasukkan kedalam cetakan dan diberi tekanan sebesar 20 ton.



Gambar 3.13 Proses penempatan material *semisolid* komposit Al5Cu/ Al₂O₃ di cetakan



(a)

(b)

(c)

Gambar 3.14 Proses penekanan material semi solid dalam cetakan tertutup. (a) *punch* bergerak turun. (b) penekanan disertai penahanan 3 detik. (c) *punch* bergerak naik.

Hasil dari tempa *semisolid* tampak pada gambar dibawah ini.



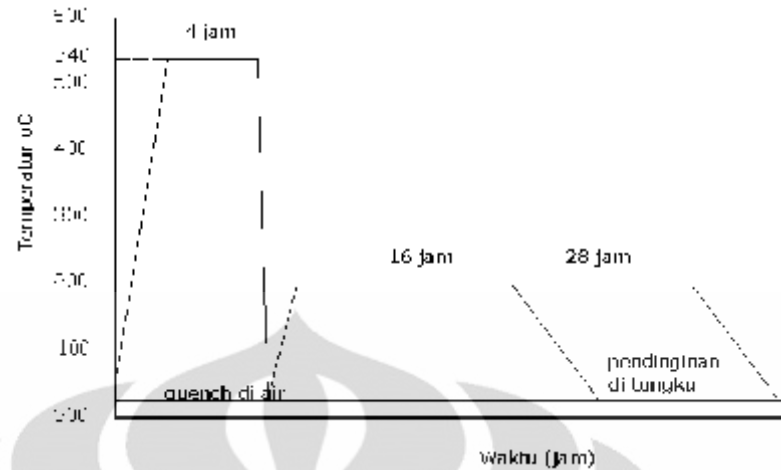
Gambar 3.15 Produk hasil proses *thixoforming*

3.1.3 Persiapan Sampel Uji dan Perlakuan Panas

Proses permesinan pada komposit hasil tempa *semisolid* dilakukan dengan mesin freis dan gergaji potong untuk mendapatkan geometri sampel yang sesuai dengan pengujian yang akan dilakukan.

Proses laku panas yang diberikan pada sampel adalah jenis perlakuan panas T6, yaitu melakukan *solution treatment* lalu diquench dan kemudian di *aging*. Hal ini dilakukan dengan harapan diperoleh peningkatan kekerasan dan kekuatan dari perubahan struktur mikro atau mekanisme pengerasan presipitasi.

Solution treatment didahului oleh preheating pada temperatur 320 °C selama 30 menit, kemudian *solution treatment* dilakukan pada temperatur 540 °C selama 4 jam. Selanjutnya dilakukan quench pada air tawar dengan temperatur 27 °C. Hasil quench tersebut dimasukkan kembali ke tungku pemanas untuk di *artificial ageing* dengan temperatur 200 °C pada dua tingkat temperatur yang berbeda, yaitu selama 16 dan 28 jam. Mekanisme perlakuan panas tersebut dapat dilihat pada gambar 3.16.



Gambar 3.16 Proses perlakuan panas komposit hasil forming *semisolid*.

3.1.4 Proses Karakterisasi Komposit Aluminium Al_5Cu/Al_2O_3

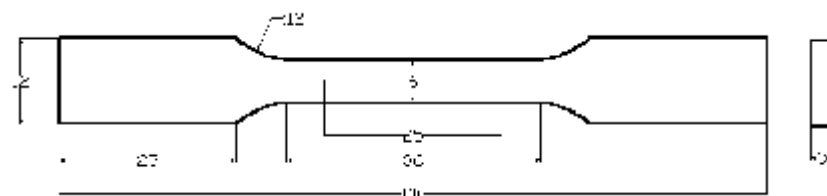
Karakterisasi untuk mengetahui sifat-sifat yang ada pada material baru hasil penelitian ini meliputi serangkaian pengujian berikut :

a. Pengujian analisis kimia

Pengujian analisis kimia akan dilakukan dengan menggunakan spectro analyzer, dimana sampel dipotong dengan ukuran terkecil sekitar 25 x 25 mm dengan ketebalan 3 mm.

b. Pengujian tarik (ISO/TTA 2 : 1997)

ISO TTA 2 :1997 merupakan standar pengujian untuk material komposit matrik logam dengan penguat tidak kontinu. Pengujian tarik ini dilakukan dengan menggunakan alat uji tarik dengan geometri dan dimensi benda uji adalah sebagaimana gambar berikut.



Gambar 3.17 Gambar spesimen uji tarik

c. Pengujian berat jenis dan porositas (ASTM C 20-00)

Pengujian berat jenis dan porositas yang dilakukan ini bertujuan untuk mengetahui berat jenis dan porositas komposit yang dihasilkan. Berat jenis adalah pengukuran massa suatu benda perunit volume dengan satuan gram/cm^3 atau lb/inch^3 . Sedangkan porositas adalah kandungan pori atau kepejalan dari bahan dengan satuan %. Perhitungan berat jenis secara teoritis dilakukan dengan kalkulator volume-weigh fraction and density secara online di <http://www.netcomposites.com>. Pada pengujian ini perhitungan densitas dan porositas dilakukan dengan cara sebagai berikut :

1. Berat kering (W_k), diperoleh dengan cara memanaskan sampel pada 150°C selama 45 menit, kemudian didinginkan pada temperatur kamar lalu ditimbang.
2. Berat basah dalam air (W_a), diperoleh dengan menimbang sampel yang dicelup dalam air tanpa menyentuh dasar.

Untuk bentuk geometri yang kompleks pengukuran densitas dan porositas dihitung dengan prinsip Archimedes yaitu dengan membandingkan perbedaan berat di udara dengan berat di dalam air dan dihitung dengan persamaan.

$$V_s = \frac{W_a}{\rho_a} \dots\dots\dots (3.1)$$

Dimana :

V_s = volume spesimen

W_a = berat dalam air

ρ_a = densitas air (gram/cm^3)

besarnya densitas spesimen dapat dikerahui dengan membagi berat kering (W_k) dengan volume spesimen (V_s).

$$\rho_s = \frac{W_k}{V_s} \dots\dots\dots (3.2)$$

Untuk nilai porositas dapat dihitung dengan persamaan

$$\text{Porositas} = \frac{\rho_t - \rho_s}{\rho_t} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (3.3)$$

Dimana :

- P = porositas (%)
 ρ_t = densitas teoritis (gram/cm³)
 ρ_s = densitas spesimen (gram/cm³)

d. Pengujian metalografi

Hasil pengujian ini bertujuan untuk mengetahui bentuk dari mikrostruktur, fasa-fasa sampel untuk masing-masing kondisi dengan mikroskop optik dan melakukan tahapan berikut :

1. Pemotongan sampel sesuai kebutuhan.
2. Monting sampel dicetak pada cetakan plastik berbentuk bulat dengan menggunakan resin dan katalis dengan tujuan agar memudahkan proses penggerindaan dan pemolesan.
3. Pengampelasan dengan kertas ampelas dimulai dari ukuran : # 180, 400, 600, 800, 1000, 1200 , 1500 sampai permukaan sampel rata dan orientasinya searah dan posisi pemolesan harus diubah-ubah agar tidak terjadi “ekor tikus” pada hasil foto. Kemudian sampel dipoles dengan menggunakan larutan titanium dioksida. Hasil poles tersebut dietsa dengan larutan HF 0,5 %. Pengamatan yang dilakukan dengan perbesaran 100x, 200 x dan 500x. Dari hasil foto metalografi tersebut, dipilih beberapa sampel yang akan diuji dengan menggunakan SEM-EDS.

e. Pengujian SEM/EDS

Pengujian dengan SEM (*Scanning Electron Microscope*) yang dilengkapi dengan EDS (*Energy Dispersive Spectroscopy*) bertujuan untuk

mengetahui struktur mikro dan unsur penyusun fasa tertentu dengan pembesaran sampai 50.000x.



BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil-hasil pengujian yang telah dilakukan pada material hasil proses pembuatan komposit matrik logam dengan metode *semisolid* dan pembahasannya disampaikan pada bab ini.

4.1 HASIL PENGUJIAN

4.1.1 Perhitungan Fraksi Volume, Berat dan Densitas Komposit Teoritis

Tabel IV.1 Perhitungan densitas teoritis paduan

NO	Komposit	Unsur	%Volume	% Berat	Densitas	Densitas komposit
1	Al5Cu	Al	95	85,2	2,7	3,01
		Cu	5	14,8	8,9	
2	Al5Cu + 5%Al2O3	Al5Cu	95	93,5	3,01	3,06
		Al2O3	5	6,5	3,95	
3	Al5Cu + 10%Al2O3	Al5Cu	90	87,3	3,01	3,10
		Al2O3	10	12,7	3,95	
4	Al5Cu + 15% Al2O3	Al5Cu	85	81,2	3,01	3,15
		Al2O3	15	18,8	3,95	
5	Al5Cu + 20% Al2O3	Al5Cu	80	75,3	3,01	3,20
		Al2O3	20	24,7	3,95	

Sebelum melakukan peleburan dan pencampuran komponen komposit maka perlu dihitung jumlah Al5Cu, alumina dan magnesium untuk masing-masing komposisi komposit. Data mengenai perhitungan berat disajikan pada tabel berikut.

Tabel IV.2 Perhitungan Berat Paduan

NO	Fraksi Volume Alumina	Berat (gram)			
		Al5Cu	Al2O3	Mg	komposit
1	5 %	945,4	65,72	40,44	1011,12
2	5 %	943,8	65,61	40,37	1009,41
3	10 %	1069	155,51	48,98	1224,51
4	10 %	1209	175,88	55,39	1384,87
5	15 %	1156	267,64	56,94	1423,64
6	15 %	1163	269,26	57,29	1432,26
7	20 %	844,2	276,91	44,84	1121,116
8	20 %	844	276,85	44,83	1120,84

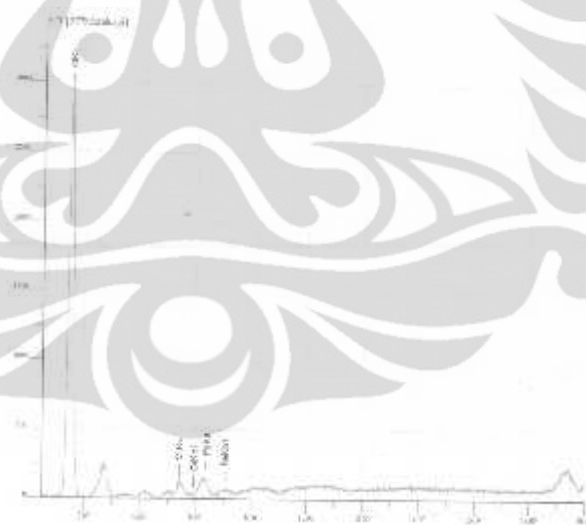
4.1.2 Analisa Kimia

Hasil pengujian kimia terhadap material magnesium, alumina, aluminium tembaga dapat dilihat pada tabel 5 – tabel 44.

Tabel IV.3 Komposisi Kimia Ingot Aluminium Tembaga hasil cor

NO	Unsur, % berat					
	Al	Cu	Mg	Fe	Si	Zn
1	92,8	4,98	0,216	0,477	0,934	0,251
2	Unsur, % berat					
	Ti	Cr	Ni	Pb	Sn	Mn
	0,0177	< 0,001	0,0234	0,0326	0,0458	0,0774

Untuk mengetahui unsur penyusun serbuk alumina yang digunakan sebagai penguat, telah dilakukan pengujian dengan XRF dengan hasil sebagai berikut. Dari pengujian tersebut diketahui unsur-unsur yang terdapat pada serbuk alumina adalah :



Gambar 4.1 Hasil uji XRF terhadap serbuk Alumina

Tabel IV.4 Komposisi kimia serbuk alumina

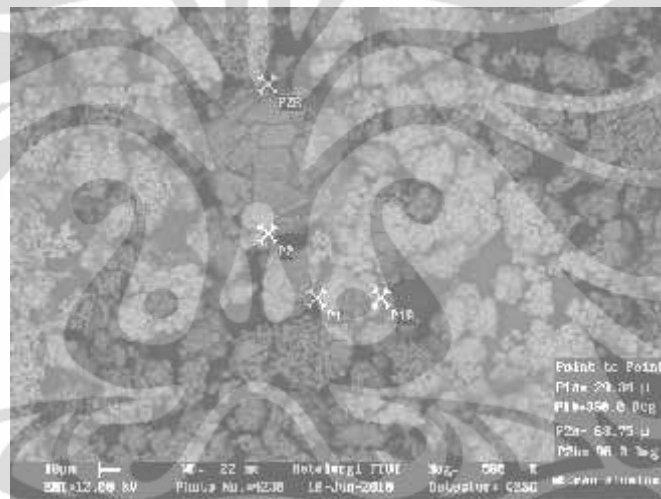
NO	Unsur, % berat		
	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃
1	99,6056	0,2581	0,1363

Tabel IV.5 Komposisi kimia ingot magnesium

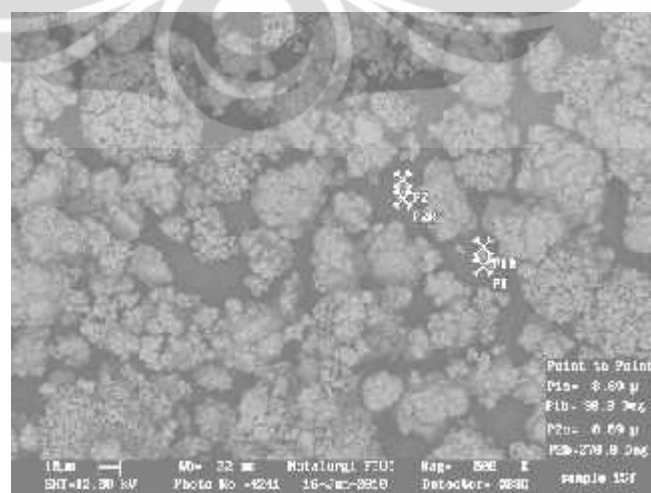
NO	Unsur, % berat				
	Mg	Al	Mn	Si	Cu
1	99.91	0.019	0,014	0.02	0.0025
	Unsur, % berat				
	Fe	Ni	Cl	Pengotor lain	Total Pengotor
2	0.015	0.0007	0.004	0.0148	0.09

4.1.3 Hasil Pengukuran Butir Partikel Alumina dengan SEM

Ukuran butir partikel alumina diukur dengan menggunakan pengujian SEM sebagaimana berikut.



(a)



(b)

Gambar 4.2. (a), (b), Pengukuran butir serbuk alumina dengan SEM

Berdasarkan pengukuran pada gambar mm diketahui bahwa ukuran partikel alumina berada pada rentang 8,89 - 68,75 μm

4.1.4. Hasil Uji Berat Jenis dan Porositas

Pengujian berat jenis pada sampel hasil *casting* dan *thixoforming* dan perhitungan *thixoforming* dibandingkan dengan berat jenis teoritis dapat diamati pada gambar 4.29. Adapun hasil uji porositas dari ingot komposit dan hasil *thixoforming* ditampilkan pada gambar 4.30.

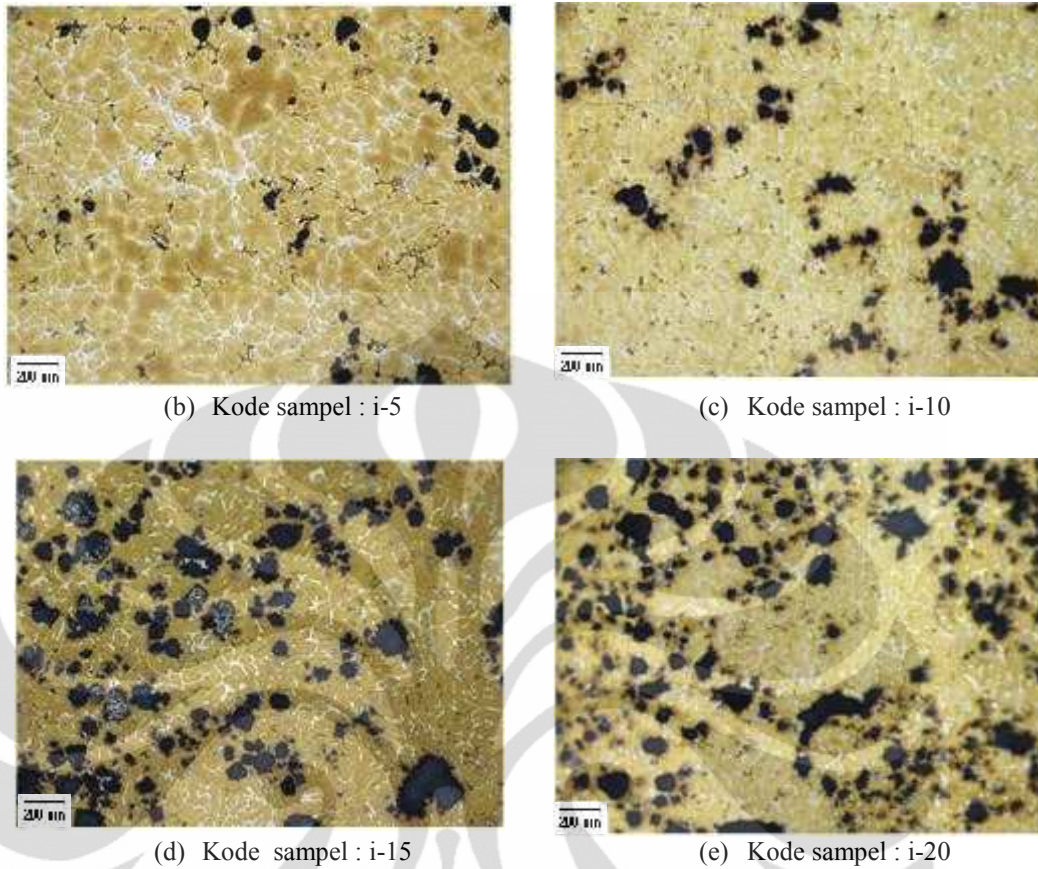
4.1.5. Hasil Uji Tarik

Pengujian tarik terhadap sampel uji tarik dilakukan di BATAN Serpong. Hasil pengujian secara lengkap dipaparkan pada lampiran 3.

4.1.6. Distribusi Alumina didalam matrik Al5Cu



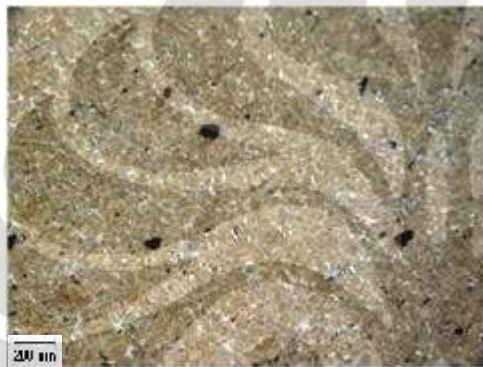
(a) Kode sampel : i-0



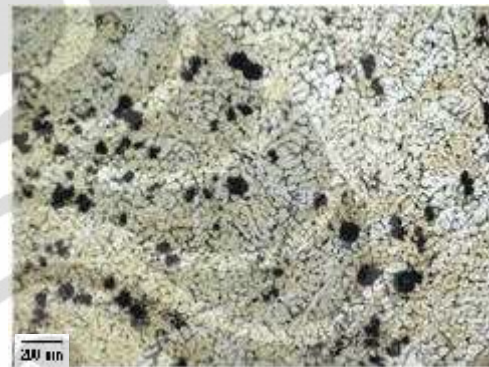
Gambar 4.3 Distribusi Alumina pada matrik Al₅Cu, hasil *casting* dengan penguat (a) 0%, (b) 5%, (c) 10%, (d) 15 %, (e) 20 % Al₂O₃



(a) Kode sampel : F-0



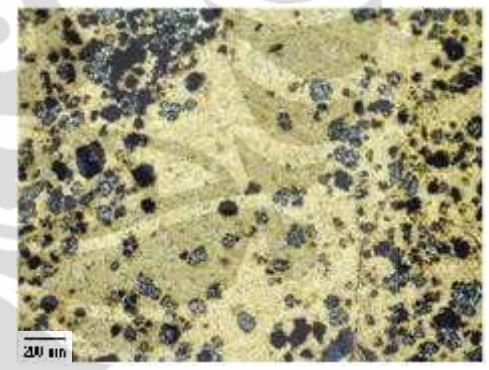
(b) Kode sampel : F-5



(c) Kode sampel : F-10



(d) Kode sampel : F-15



(e) Kode sampel : F-20

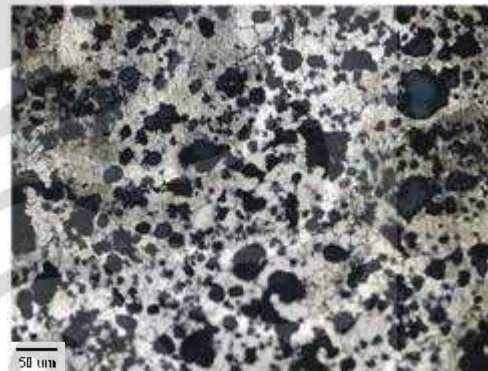
Gambar 4.4 Distribusi Alumina pada matrik Al5Cu, hasil *thixoforming* tanpa *aging* dengan penguat (a) 0%, (b) 5%, (c) 10%, (d) 15 %, (e) 20 % Al_2O_3



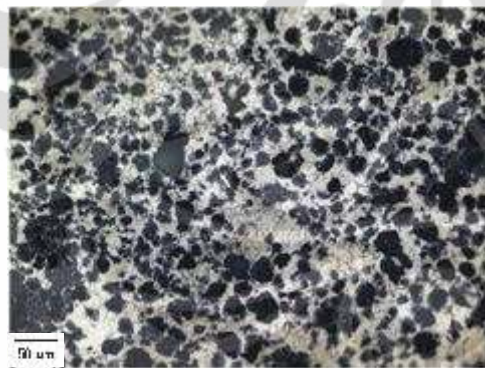
(a) Kode sampel : F-0/16



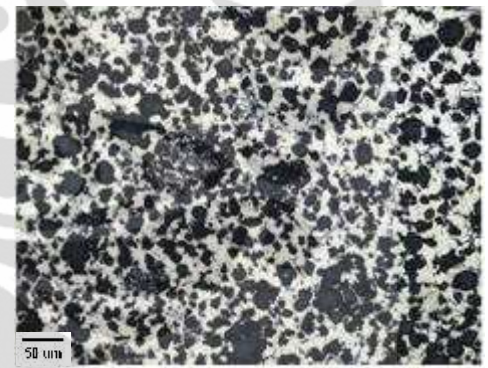
(b) Kode sampel : F-5/16



(c) Kode sampel : F-10/16

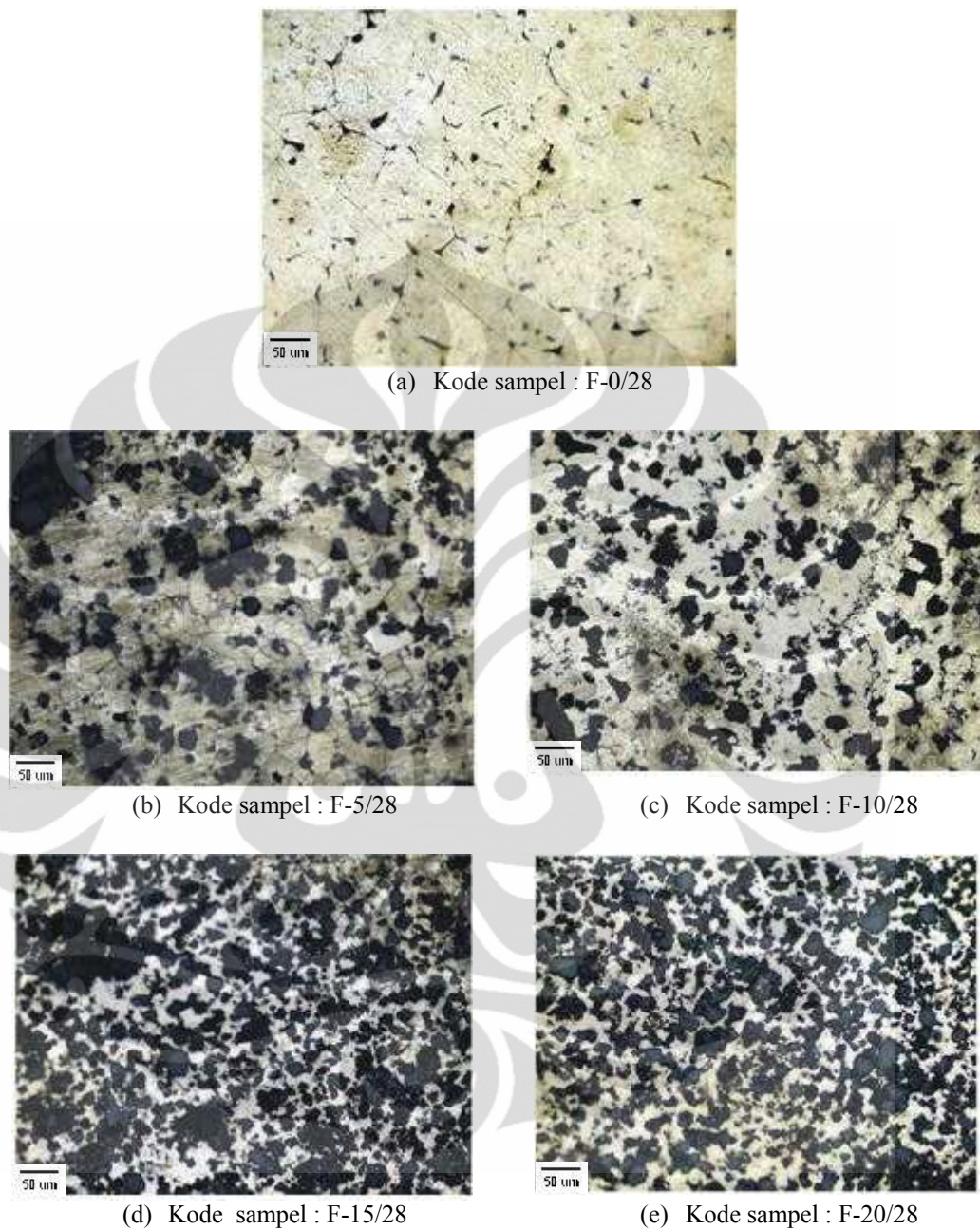


(d) Kode sampel : F-15/16



(e) Kode sampel : F-20/16

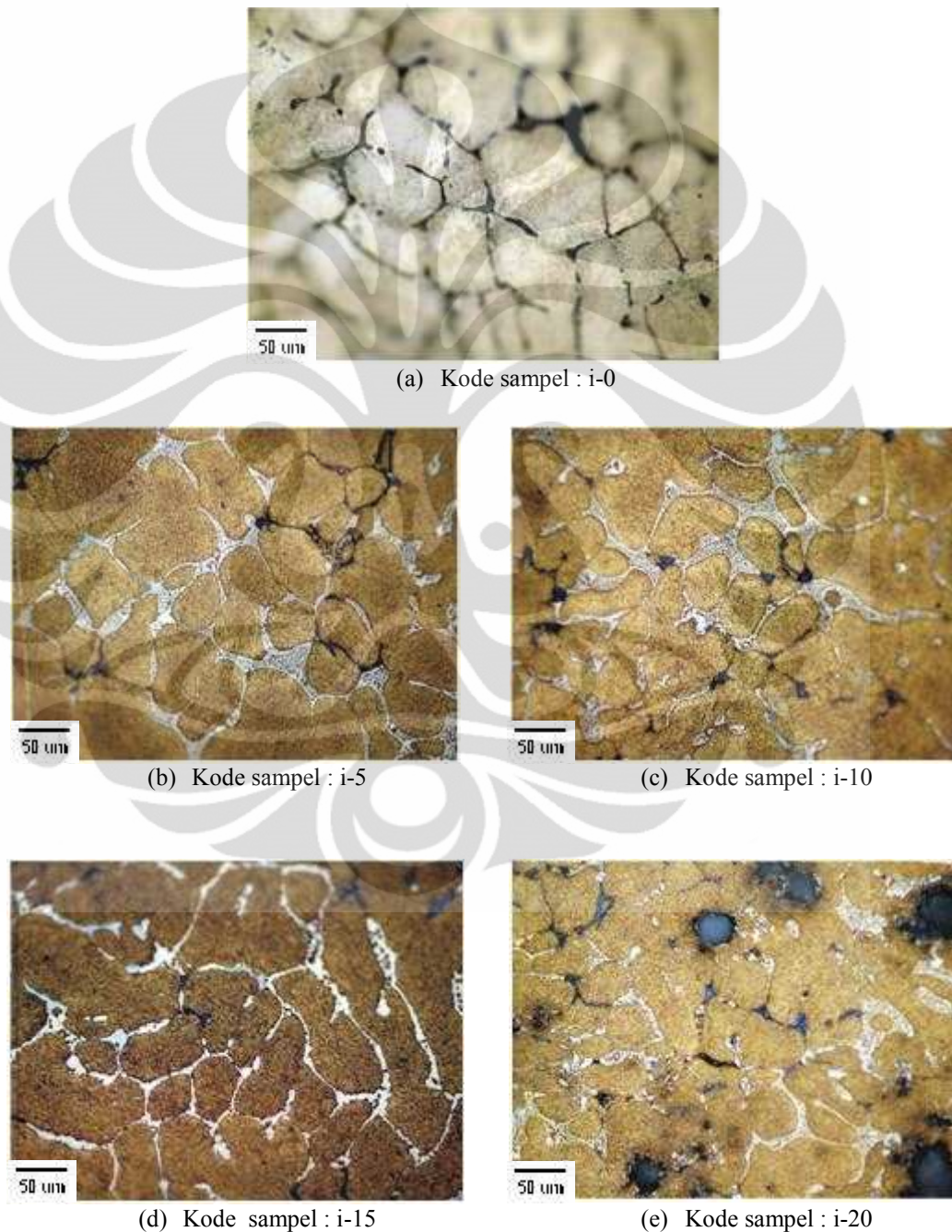
Gambar 4.5 Distribusi Alumina pada matrik Al5Cu, hasil *thixoforming* dan *Aging* 16 jam dengan penguat (a) 0%, (b) 5%, (c) 10%, (d) 15 %, (e) 20 % Al_2O_3



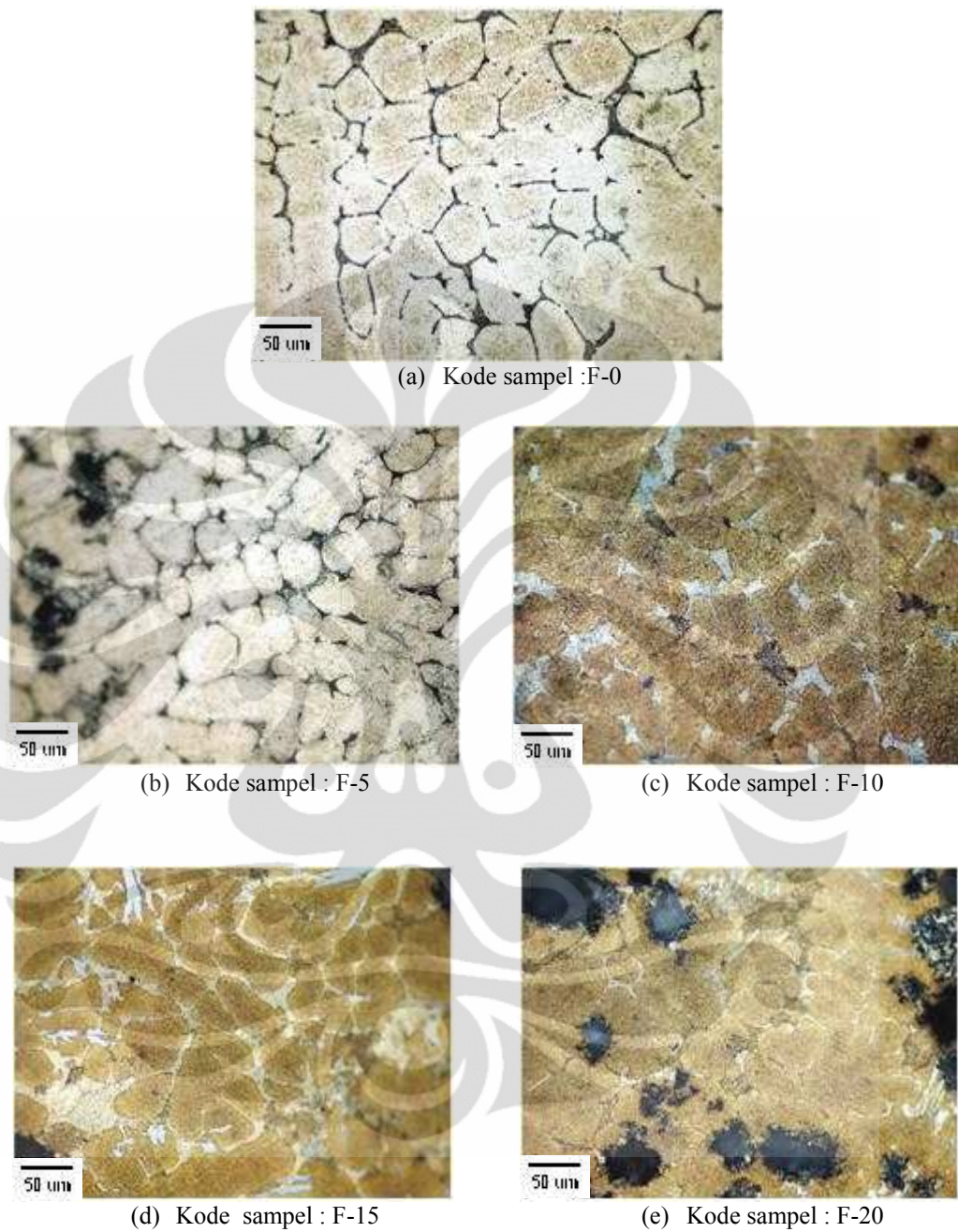
Gambar 4.6 Distribusi Alumina pada matrik Al₅Cu, hasil *Thixoforming* dan *aging* 28 jam dengan penguat (a) 0%, (b) 5%, (c) 10%, (d) 15 %, (e) 20 % Al₂O₃

4.1.7 Hasil Pengamatan Metalografi

Pengujian Metalografi dilakukan dengan mikroskop optik. Pengujian ini dilakukan pada sampel hasil *casting*, *thixoforming* dan *thixoforming* yang dilanjutkan *heat treatment* T6. Hasil foto mikrostruktur tersebut ditampilkan pada gambar 4.7 – 4.10.



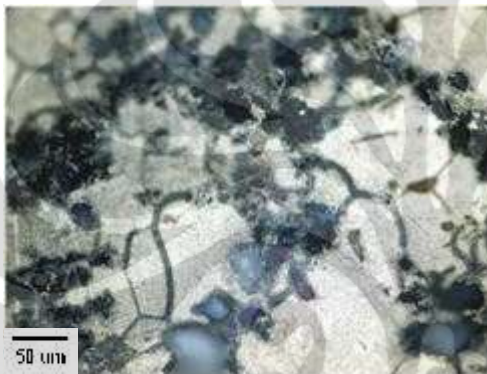
Gambar 4.7 Metalografi sampel hasil cor dengan penguat (a) 0%, (b) 5%, (c) 10%, (d) 15 %, (e) 20 % Al_2O_3 . Perbesaran 500x



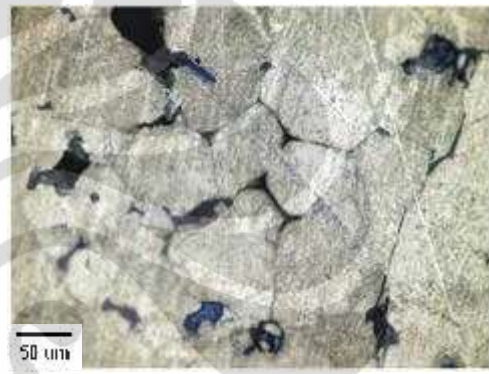
Gambar 4.8 Metalografi sampel hasil *thixoforming* dengan penguat (a) 0%, (b) 5%, (c) 10%, (d) 15 %, (e) 20 % Al_2O_3 sebelum di *heat treatment*. Perbesaran 500x



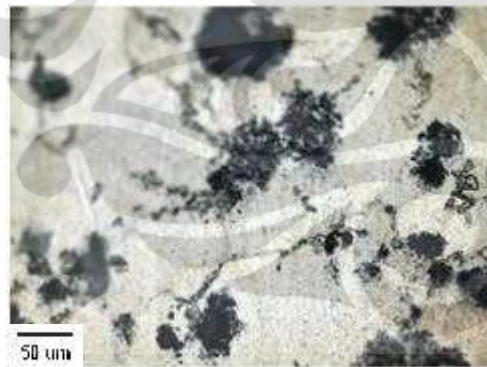
(a) Kode sampel :F-0/16



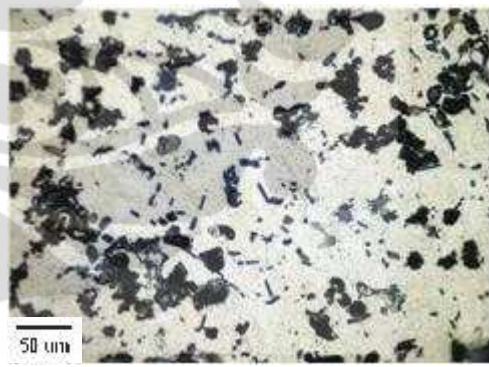
(b) Kode sampel : F-5/16



(c) Kode sampel : F-10/16



(d) Kode sampel : F-15/16

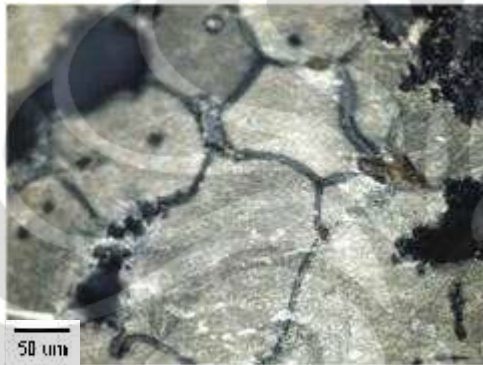


(e) Kode sampel : F-20/16

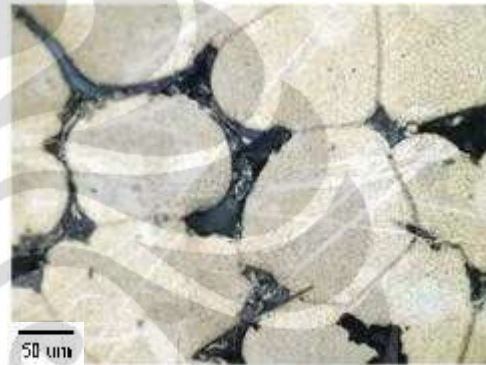
Gambar 4.9 Metalografi sampel hasil *thixoforming* dengan penguat (a) 0%, (b) 5%, (c) 10%, (d) 15 %, (e) 20 % Al_2O_3 setelah proses *solution treatment* 540 °C hold 4 jam kemudian di *aging* selama 16 jam. Perbesaran 500x.



(a) Kode sampel :F-0/28



(b) Kode sampel : F-5/28



(c) Kode sampel : F-10/28



(d) Kode sampel : F-15/28



(e) Kode sampel : F-20/28

Gambar 4.10 Metalografi sampel hasil *thixoforming* dengan penguat (a) 0%, (b) 5%, (c) 10%, (d) 15 %, (e) 20 % Al_2O_3 setelah proses solution treatment 540°C hold 4 jam kemudian di *aging* selama 28 jam. Perbesaran 500x

4.1.8. Pengujian SEM dan EDS

Pengujian SEM dan EDS dilakukan pada serbuk alumina, sampel hasil *casting* dan *thixoforming* yang dianggap dapat mewakili pengujian ini. Hasil pengujian ditampilkan pada gambar 4.11 – gambar 4.21 di lampiran 1.

4.2 PEMBAHASAN

Pada bagian ini disampaikan pembahasan terhadap hasil-hasil pengujian yang ditampilkan pada tulisan di atas.

4.2.1. Analisa Kimia

Berdasarkan hasil analisa kimia pada material penyusun komposit antara lain, magnesium, paduan Al5Cu, alumina. Diketahui bahwa ingot Al5Cu yang digunakan sebagai matrik komposit yang digunakan mengandung 4,98 % Cu dan unsur lain seperti Si, Fe, Mg, Zn dan lain-lain yang tidak lebih dari 1 %. Sehingga paduan ini memenuhi persyaratan untuk dapat dilakukan peningkatan pengerasan presipitasi dengan proses perlakuan panas T6. Paduan Al5Cu adalah termasuk paduan aluminium seri 2xxx, yang memiliki kemampuan untuk ditingkatkan sifat-sifat mekanisnya dengan perlakuan panas seperti paduan seri 6xxx, 7xxx dan 8xxxx.

Partikel penguat yang digunakan sebagai penguat komposit adalah serbuk alumina teknis. Secara fisik alumina ini berwarna putih. Pengukuran ukuran butir yang dilakukan dengan XRF menunjukkan tingkat kemurnian yang tinggi, dimana unsur terdapat Al₂O₃ sebesar 99,60 %, Cr₂O₃ 0,25 % dan Fe₂O₃ 0,13 %. Ukuran butir serbuk diukur dengan menggunakan SEM. Dari hasil pengukuran diketahui ukuran serbuk alumina berada pada rentang 8,89 hingga 68,75 µm.

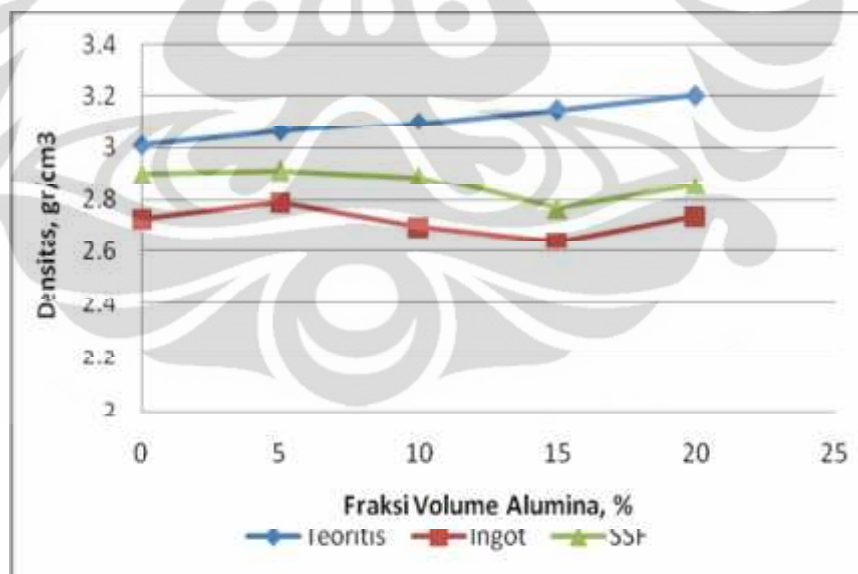
Magnesium digunakan sebagai bahan tambahan untuk meningkatkan sifat pembasahan alumina agar dapat terbentuk interface yang baik antara alumina dengan matrik. Magnesium ingot yang digunakan memiliki komposisi magnesium 99,91 % dan unsur lain yang lebih kecil dari 0,2% seperti Al, Mn, Si dan Cu.

Terbentuknya interface yang baik antara alumina dengan matrik menghasilkan ikatan antarmuka yang kuat sehingga transfer beban dari matrik ke partikel alumina dapat menyerap kekuatan lebih tinggi yang akan mempengaruhi sifat mekanis komposit. Adanya magnesium dalam paduan selama pembuatan komposit tidak hanya menguatkan matrik tetapi juga menghilangkan oksigen dari permukaan *dispersoid*, yang menyebabkan meningkatnya energi permukaan^[5].

4.2.2 Pengaruh Fraksi Volume Alumina Terhadap Densitas dan Porositas Komposit Hasil Thixoforming dan Hasil Casting

Pengujian densitas dilakukan pada ingot komposit hasil *casting* dan komposit hasil *thixoforming*. Pengukuran densitas dilakukan dengan perhitungan secara teoritis dan percobaan. Ingot komposit hasil *casting* menggunakan proses *stirring* dalam pembuatannya kemudian tidak diberikan tekanan pada saat proses solidifikasi sedangkan hasil *thixoforming* adalah *reheating* ingot komposit tanpa proses *stirring* kemudian diberi tekanan pada saat proses solidifikasi.

Perhitungan teoritis terhadap berat jenis dapat dilakukan dengan menggunakan hukum persamaan campuran, atau dengan menggunakan software online di internet serta. Terdapat sedikit perbedaan antara nilai teoritis dan hasil percobaan. Hal ini dikarenakan tingkat kemurnian unsur penyusun komposit dan tingginya porositas yang terjadi saat pembuatan komposit. Sehingga hasil pengukuran densitas menunjukkan nilai yang sedikit lebih rendah dibanding nilai teoritis. Perbedaan antara nilai teoritis dan praktis dapat dilihat pada gambar 4.11.

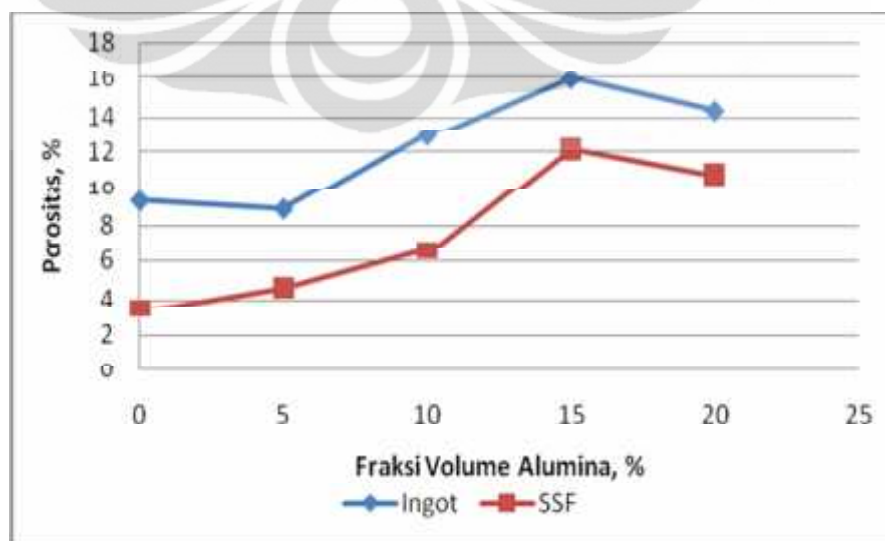


Gambar 4.11. Densitas komposit secara teoritis, bentuk ingot komposit *casting* dan hasil *thixoforming*.

Dari hasil pengujian terhadap komposit hasil *casting* dan *thixoforming* sebagaimana ditampilkan pada gambar 4.11, terlihat bahwa densitas hasil *thixoforming* dan ingot komposit *casting* lebih rendah dibanding densitas teoritis.

Secara teoritis semestinya penambahan alumina 20 % Vf dapat meningkatkan densitas sebesar 6 %. Namun pada ingot komposit kenaikan densitas hanya terjadi pada 5 % Vf sebesar 2,1 % dan 20 % Vf sebesar 0,37 %. Penurunan densitas sebesar 1,03 % dan 3,08 % terjadi pada ingot komposit 10 % dan 15 % Vf alumina. Pada hasil *thixoforming*, hanya komposit 5 % Vf alumina yang mengalami kenaikan densitas (0,4 %) sedangkan pada 10 % Vf alumina densitas turun 0,4 %, pada 15 % Vf alumina densitas turun 4 %, pada 20 % Vf alumina densitas turun 1,9 %.

Penurunan densitas ini disebabkan adanya porositas pada komposit akibat proses pembuatan ingot komposit dengan proses *stirring* untuk mendistribusikan partikel alumina secara merata namun mengakibatkan banyak udara yang terjebak di dalam komposit terutama hidrogen dari udara masuk kedalam matriks paduan Al5Cu yang mengakibatkan porositas semakin banyak pada ingot komposit dengan meningkatnya fraksi volume. Dengan semakin lama dan tingginya putaran pengaduk saat proses pencampuran dan pendistribusian partikel alumina secara merata maka akan makin banyak udara yang terjebak didalam komposit. Nilai densitas tertinggi adalah pada 5 % fraksi volume alumina yaitu 2,78 pada ingot komposit *casting* dan 2,91 pada hasil *thixoforming*. Densitas terendah terjadi pada fraksi volume 15 % alumina yaitu sebesar 2,64 gr/cm^3 pada ingot komposit *casting* dan 2,76 pada hasil *thixoforming*.



Gambar 4.12 Grafik hasil uji porositas pada ingot komposit dan hasil *thixoforming*

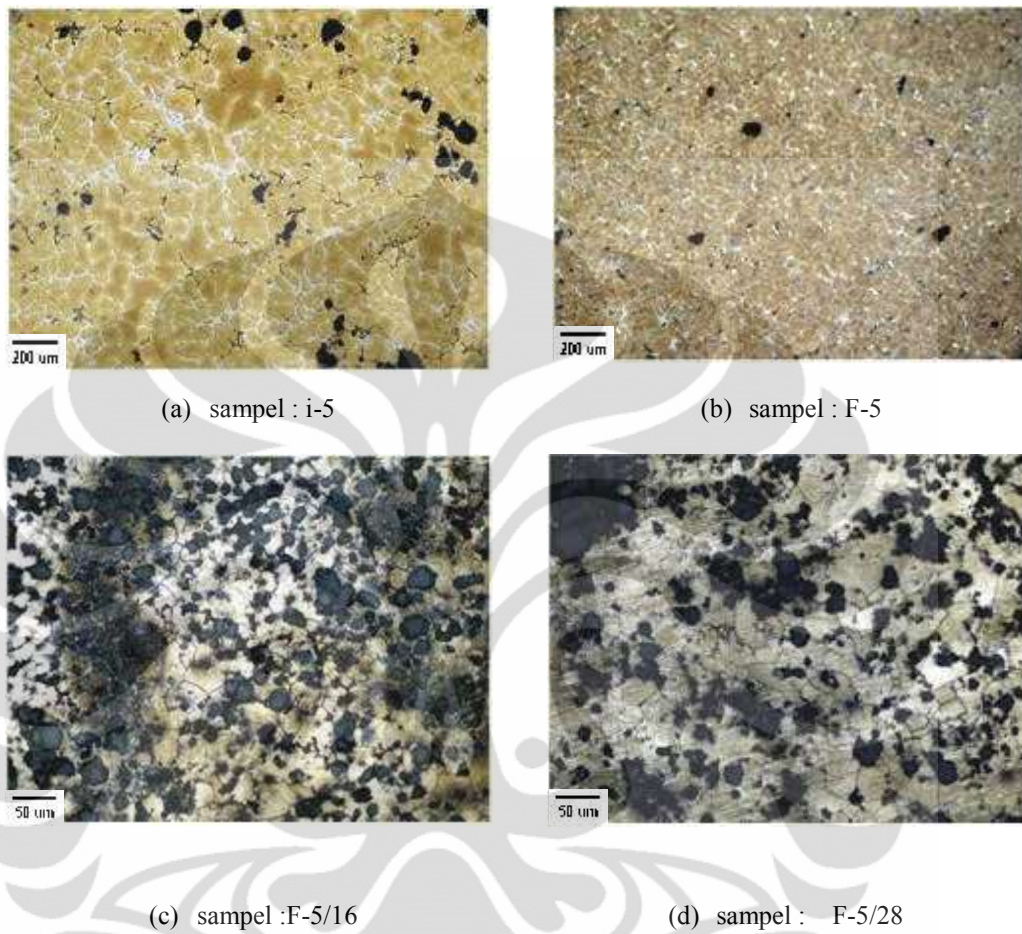
Berdasarkan hasil pengujian porositas terhadap ingot komposit dan hasil *thixoforming* diketahui bahwa porositas hasil *thixoforming* lebih rendah pada setiap fraksi volume alumina sebagaimana ditunjukkan pada gambar 4.12. Penurunan porositas hasil *thixoforming* dikarenakan besarnya gaya tekanan yang diberikan mengakibatkan keluarnya udara yang terjebak didalam komposit kemudian selama proses *reheating* ingot komposit dilakukan dalam kondisi tertutup sehingga udara tidak banyak masuk didalam komposit. Pada ingot komposit, porositas terendah adalah 8,84 % (0% Vf) dan porositas terus meningkat hingga 15,94% (15% Vf), lalu turun kembali menjadi 14.33% pada (20% Vf). Pada produk *thixoforming* porositas terendah sebesar 3,40 (0 % Vf) dan tertinggi sebesar 10,79% (20 % Vf).

Porositas yang terjadi pada produk hasil *thixoforming* juga memperlihatkan indikasi yang sama dengan ingot komposit *casting*, dimana terjadi peningkatan porositas pada 15 % fraksi volume. Tingginya nilai porositas pada ingot komposit disebabkan oleh kecepatan pengadukan yang terlalu tinggi dan waktu pengadukan yang lama pada kondisi terbuka sehingga meningkatkan jumlah udara yang terjebak di dalam komposit. Terbentuknya porositas dapat dikendalikan dengan pemberian gas mulia seperti gas argon pada saat proses pembuatan ingot komposit dan diusahakan sebaik mungkin udara yang masuk jumlahnya sangat sedikit.

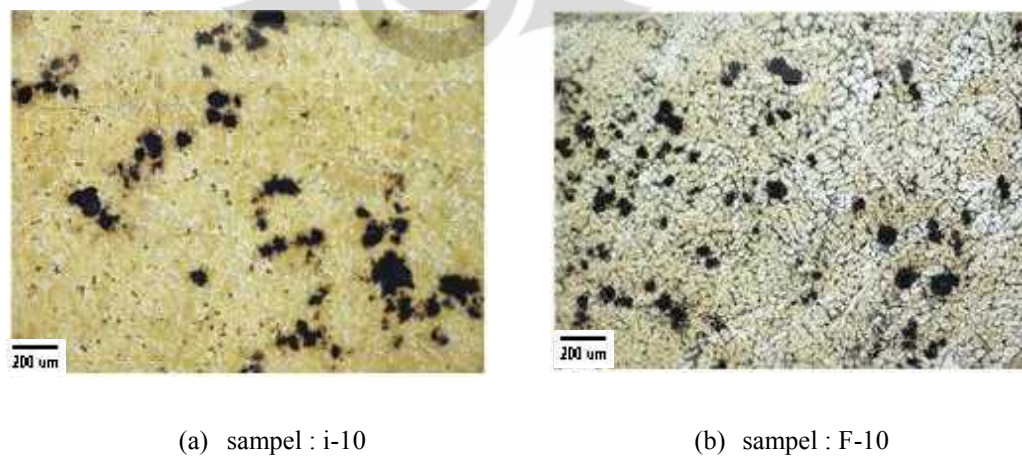
4.2.3 Pengaruh Metalografi, Porositas dan Distribusi Partikel Alumina Terhadap Kekuatan Tarik.

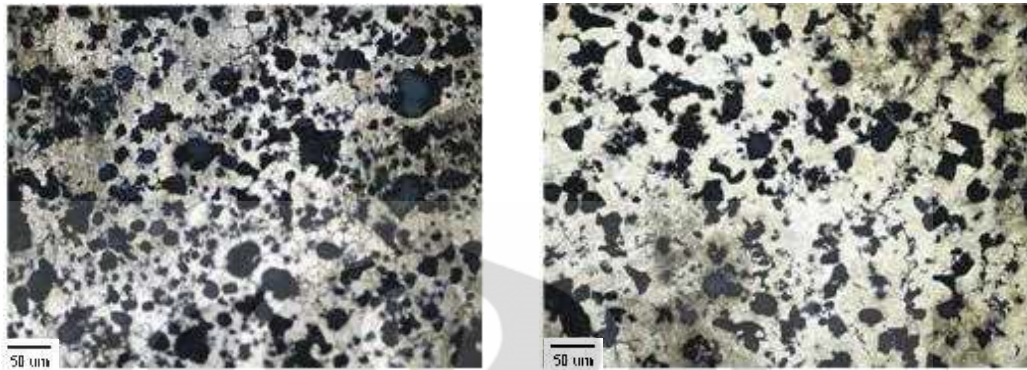
Hasil pengujian metalografi yang dilakukan untuk mengamati distribusi partikel alumina dilakukan pada perbesaran 100 x. Perbesaran 100 x dianggap dapat mewakili daerah yang cukup luas untuk dapat diamati sebaran partikel alumina pada permukaan sampel. Pada gambar 4.13 hingga gambar 4.21 telah ditampilkan distribusi partikel alumina pada ingot komposit hasil *casting*, hasil *thixoforming* tanpa laku panas dan *thixoforming* dengan laku panas T6 yang di *aging* selama 16 dan 28 jam.

Berikut ini akan disajikan hasil foto mikrostruktur dari fraksi volume yang sama pada setiap proses yang dilakukan pada penelitian ini.



Gambar 4.13 Distribusi partikel alumina pada fraksi volume 5 % Al_2O_3 ; (a) ingot komposit, (b) thixoforming (tanpa aging), (c) T6, aging 16 jam, (d) T6, aging 28 jam.

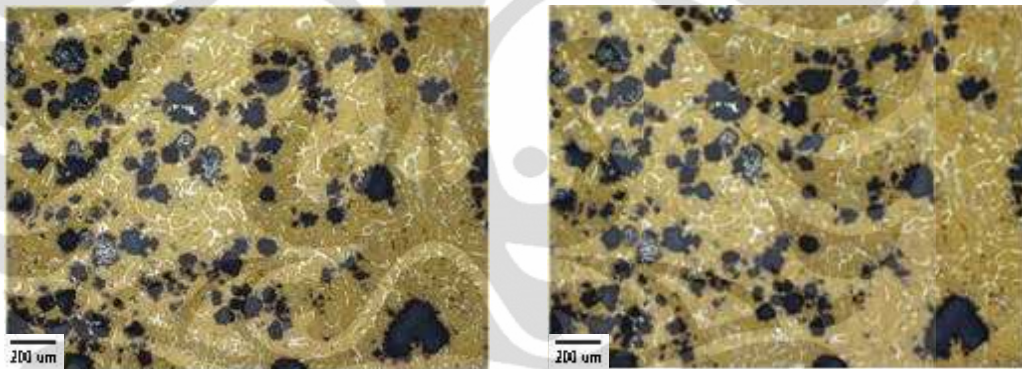




(c) sampel :F-10/16

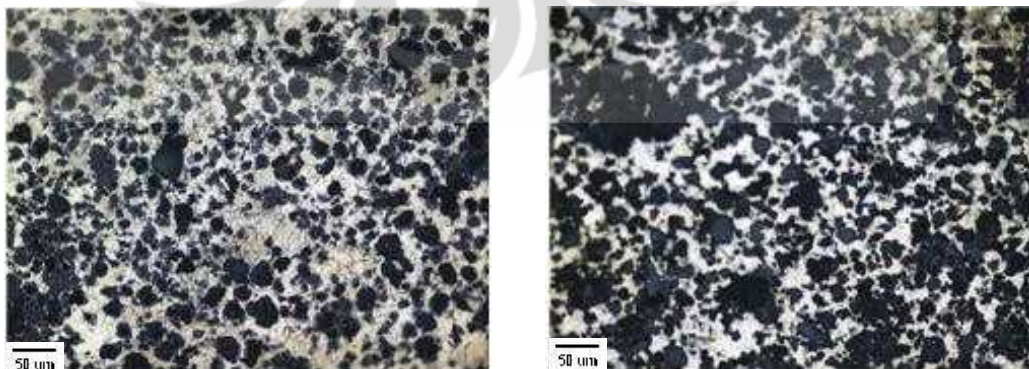
(d) sampel : F-10/28

Gambar 4.14 Distribusi partikel alumina pada fraksi volume 10 % Al_2O_3 ; (a) ingot komposit, (b) thixoforming (tanpa aging), (c) T6, aging 16 jam, (d) T6, aging 28 jam



(a) sampel : i-15

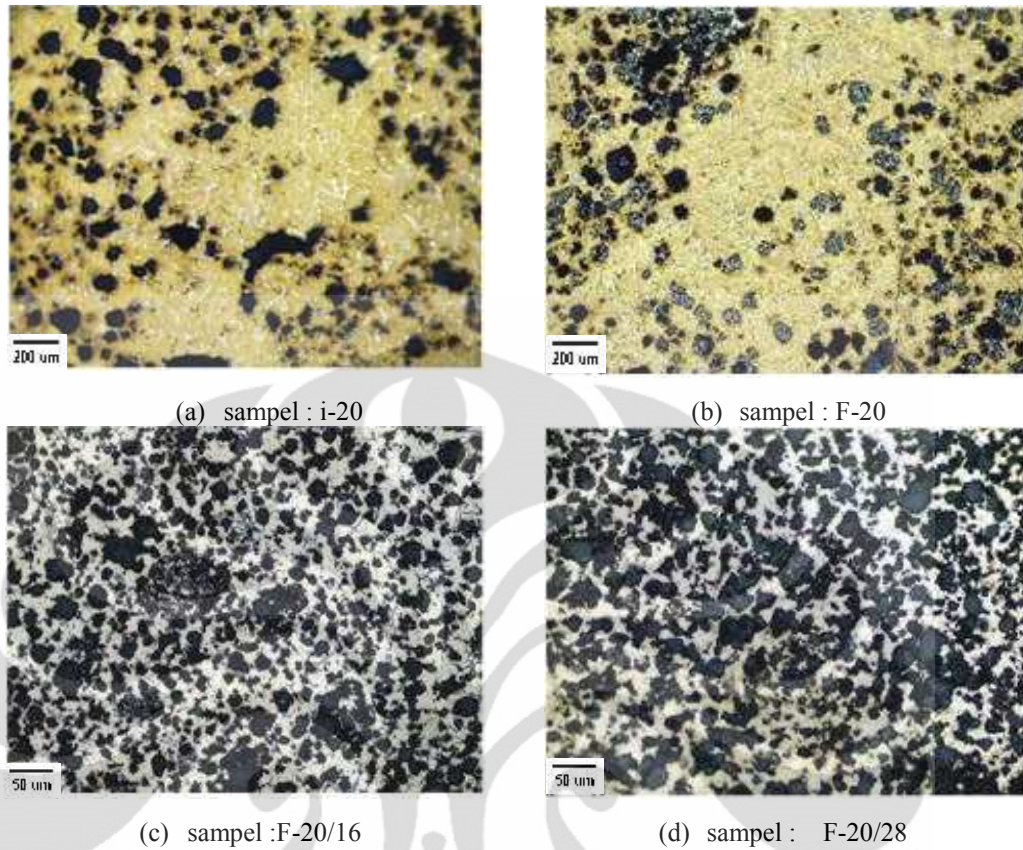
(b) sampel : F-15



(c) sampel :F-15/16

(d) sampel : F-15/28

Gambar 4.15 Distribusi partikel alumina pada fraksi volume 15 % Al_2O_3 ; (a) ingot komposit, (b) thixoforming (tanpa aging), (c) T6, aging 16 jam, (d) T6, aging 28 jam



Gambar 4.16 Distribusi partikel alumina pada fraksi volume 20 % Al_2O_3 ; (a) ingot komposit komposit, (b) thixoforming (tanpa aging), (c) T6, aging 16 jam, (d) T6, aging 28 jam

Terlihat pada deretan gambar diatas terlihat bahwa distribusi partikel pada komposit mulai fraksi volume 5 – 15 % cukup merata dengan komposisi yang sebanding. Pengaruh proses pembentukan mulai dari ingot komposit *casting*, *thixoforming*, dan *aging* terhadap distribusi partikel terlihat sangat jelas. Sebaran partikel alumina pada hasil *thixoforming* (kode sampel F-x) terlihat lebih banyak dibanding ingot komposit *casting* (kode sampel i-x). Demikian pula sebaran partikel alumina pada hasil *aging* 16 dan 28 jam (kode sampel F-x/16 dan F-x/28) lebih banyak dibanding hasil *thixoforming* sebelum di *aging*. Peningkatan sebaran partikel alumina pada matrik komposit ini juga meningkatkan porositas pada komposit hasil *casting* dan komposit hasil *thixoforming*.

Struktur mikro ingot komposit yang akan dikenai proses lanjut berupa pemanasan ulang untuk mencapai fasa *semi solid* harus memiliki struktur

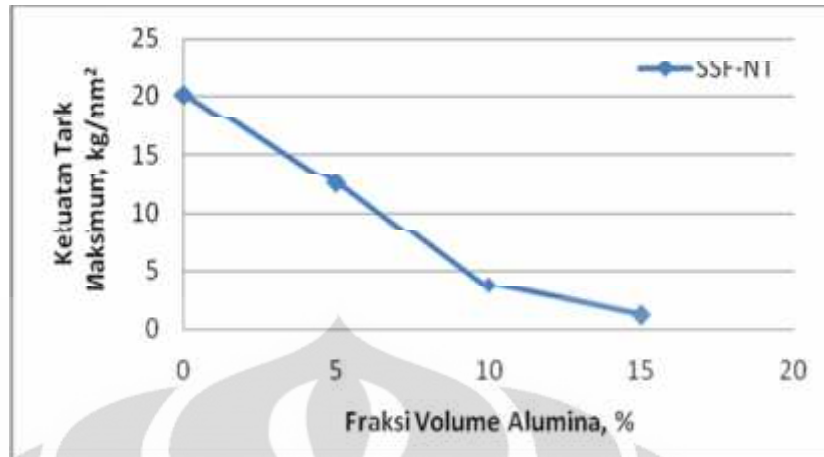
globular. Berdasarkan hasil foto mikro ingot komposit dengan perbesaran 500x pada gambar 4.7, terlihat bahwa struktur mikro ingot komposit sebagian besar telah berbentuk globular, walaupun masih terdapat yang berbentuk dendritik.

Adapun nilai porositas semakin tinggi dengan meningkatnya fraksi volume alumina. Makin banyaknya sebaran partikel alumina tidak berbanding lurus dengan nilai densitas komposit.

Berdasarkan hasil pengujian porositas dan densitas pada ingot komposit *casting* dan hasil *thixoforming* tanpa *aging* diketahui bahwa densitas terbesar diperoleh pada fraksi volume 5 % alumina. Hal ini terjadi karena pada fraksi volume 5 % alumina dapat terdistribusi secara merata dan porositasnya relatif rendah.

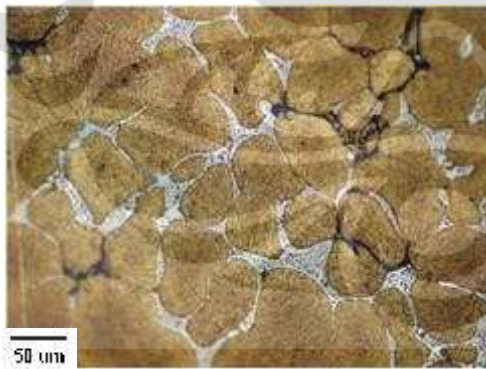
Partikel alumina yang tersebar pada matrik komposit tidak tersebar dalam bentuk butiran tunggal, namun membentuk gumpalan dari beberapa butir partikel. Hal ini menjadikan banyak partikel alumina yang membentuk ikatan yang kurang kuat dengan matrik Al5Cu sehingga tidak terbentuk ikatan antarmuka yang kuat mudah terlepas dari matrik jika mengalami gaya dari luar. Banyaknya sebaran partikel alumina yang membentuk gumpalan dengan banyaknya sebaran porositas pada matrik komposit pada saat proses penuangan kedalam cetakan tempa *semisolid* dan pada saat akan diberikan tekanan pada reheating ingot komposit tersebut terekspos oleh udara sehingga banyak udara banyak yang terperangkap kemudian terbentuk porositas, akibatnya pada hasil pengujian tarik diketahui bahwa kekuatan tarik semakin rendah dengan peningkatan fraksi volume alumina sebagaimana gambar 4.21.

Pengujian uji tarik pada spesimen hasil *thixoforming* menunjukkan nilai kekuatan tarik terbesar adalah 197,3 kg/mm² (0 % Vf), kekuatan tarik ini terus mengalami penurunan yang signifikan dengan meningkatnya fraksi volume alumina. Kekuatan tarik 5 % Vf alumina adalah 121,38, kg/mm², 10 % Vf alumina adalah 35 kg/mm² dan 15 % Vf alumina adalah 10 kg/mm².



Gambar 4.17 Grafik hasil uji tarik hasil *thixoforming* pada berbagai fraksi volume alumina.

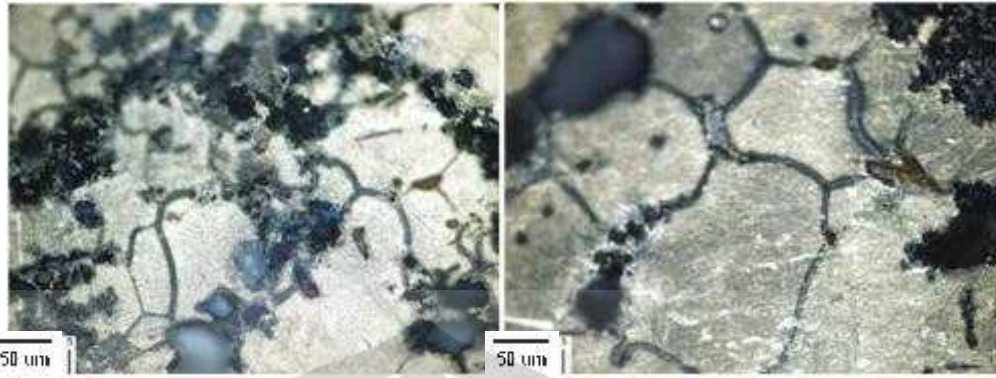
Pada komposit hasil aging selama 16 jam dan 28 jam tidak dapat dilakukan pengujian tarik karena setelah proses *quench* sampel menjadi rapuh. Perubahan struktur mikro yang terjadi akibat proses dan perlakuan panas yang diberikan pada sampel pengujian. Perubahan struktur ini juga mempengaruhi sifat mekanis material. Berikut ini akan dipaparkan gambar perubahan struktur mikro hasil laku panas T6 pada setiap tahapan proses mulai dari ingot komposit, *thixoforming* dan *aging* pada temperatur 16 dan 28 jam.



(a) sampel : i-5



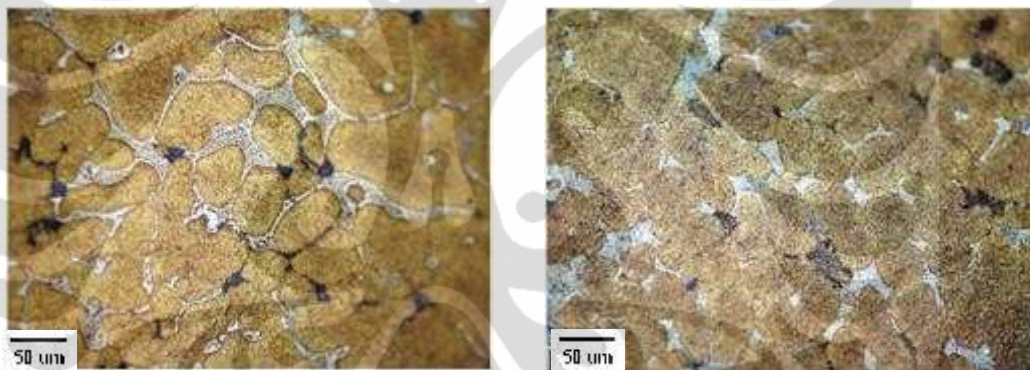
(b) sampel : F-5



(c) sampel :F-5/16

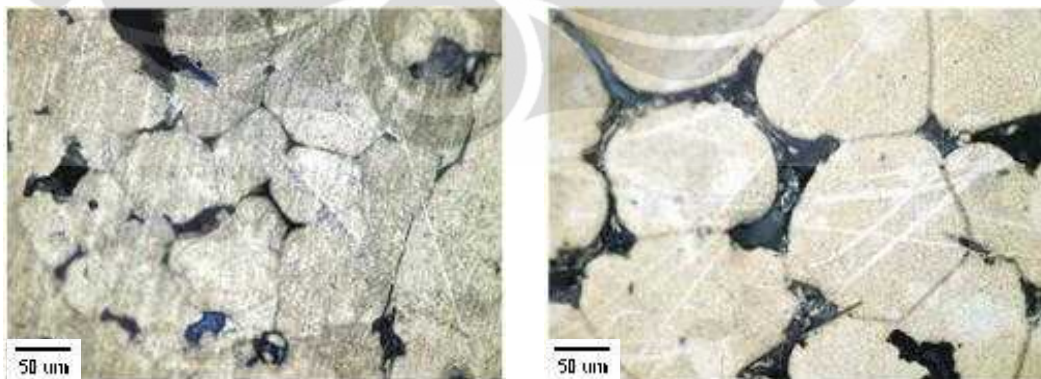
(d) sampel : F-5/28

Gambar 4.18 Perubahan struktur mikro hasil laku panas T6 pada fraksi volume 5 % Al_2O_3 ; (a) ingot komposit, (b) thixoforming (tanpa aging), (c) T6, aging 16 jam, (d) T6, aging 28 jam



(a) sampel : i-10

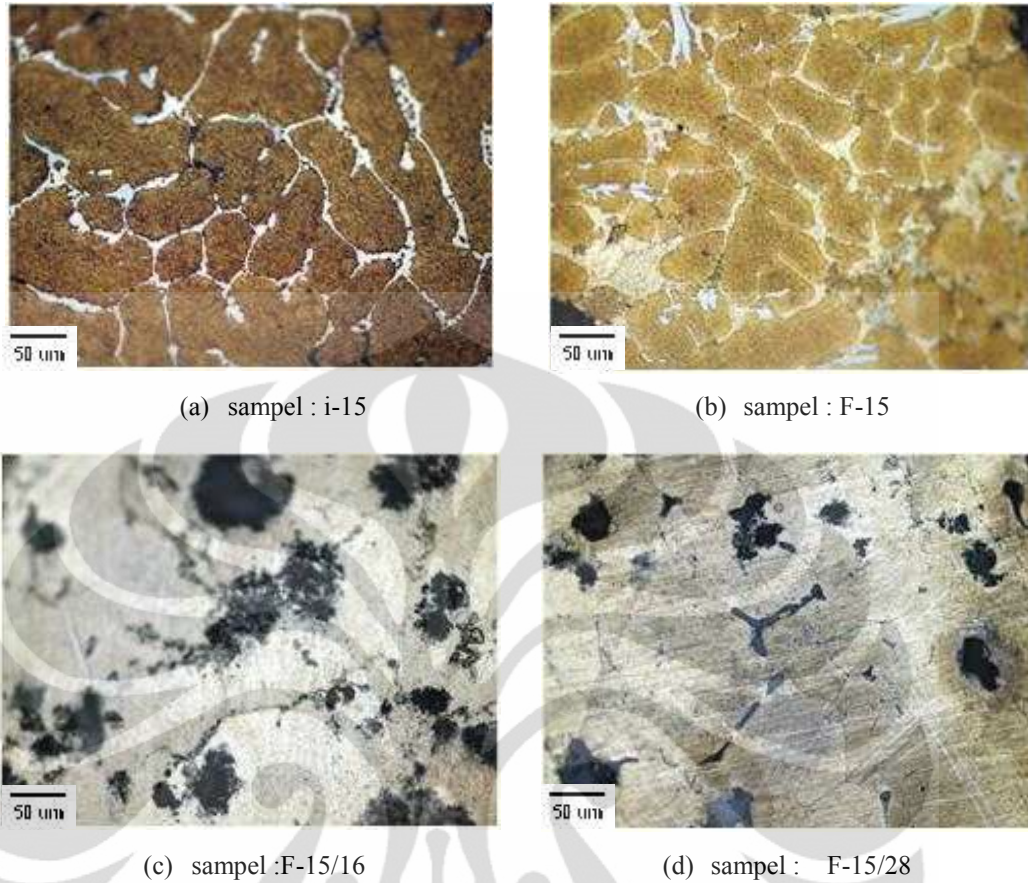
(b) sampel : F-10



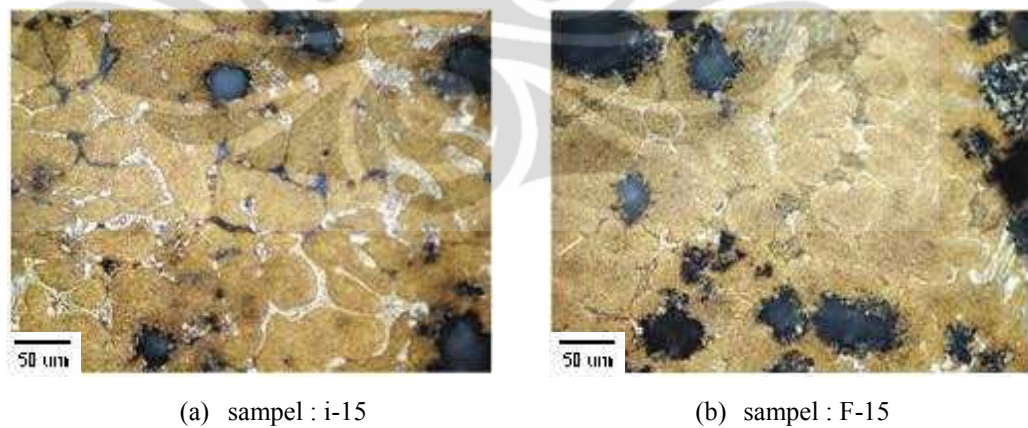
(c) sampel :F-10/16

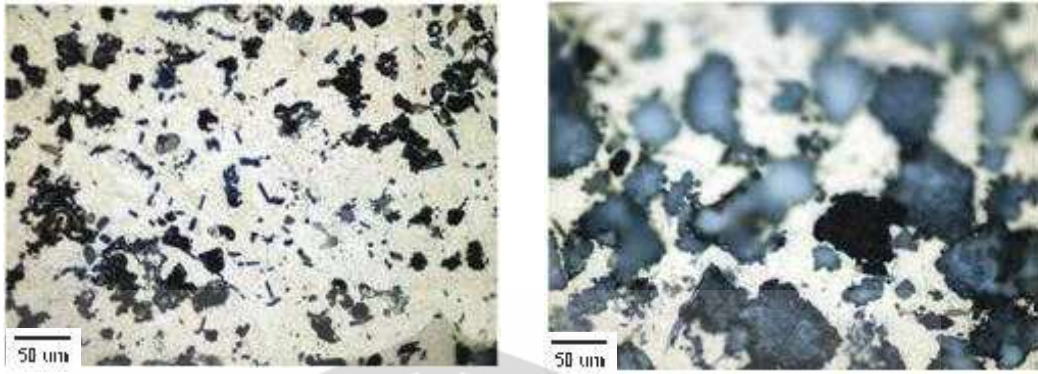
(d) sampel : F-10/28

Gambar 4.19 Perubahan struktur mikro hasil laku panas T6 pada fraksi volume 10 % Al_2O_3 ; (a) ingot komposit, (b) thixoforming (tanpa aging), (c) T6, aging 16 jam, (d) T6, aging 28 jam



Gambar 4.20 Perubahan struktur mikro hasil laku panas T6 pada fraksi volume 15 % Al_2O_3 ; (a) ingot komposit, (b) thixoforming (tanpa aging), (c) T6, aging 16 jam, (d) T6, aging 28 jam





(c) sampel :F-15/16

(d) sampel : F-15/28

Gambar 4.21 Perubahan struktur mikro hasil laku panas T6 pada fraksi volume 20 % Al_2O_3 ; (a) ingot komposit, (b) thixoforming (tanpa aging), (c) T6, aging 16 jam, (d) T6, aging 28 jam

Berdasarkan gambar 4.18 – 4.21 terlihat bahwa struktur hasil *thixoforming* lebih kecil dibanding ingot komposit. Pengecilan ukuran butir ini diakibatkan oleh besarnya gaya tekan yang diberikan pada saat proses *thixoforming*. Perlakuan panas berupa *solution treatment* pada temperatur 540°C selama 4 jam kemudian di *quenching* dan *aging* pada temperatur 200°C selama 16 dan 28 jam terlihat telah merubah struktur mikro komposit. Pembesaran butir dan meleburnya beberapa batas butir menunjukkan bahwa telah terjadi *over heating* saat *solution treatment*. Namun komposit pada fraksi volume 5 dan 10 % alumina terlihat masih dapat mempertahankan bentuknya dalam bentuk globular.

BAB 5

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian pembuatan dan karakterisasi komposit matrik logam Al5Cu dengan material penguat Al₂O₃, dan pembahasan pada bab sebelumnya, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Pada hasil *thixoforming*, hanya komposit 5 % Vf alumina yang mengalami kenaikan densitas (0,4 %) sedangkan pada 10 % Vf alumina densitas turun 0,4 %, pada 15 % Vf alumina densitas turun 4 %, pada 20 % Vf alumina densitas turun 1,9 %. Porositas hasil *thixoforming* lebih rendah pada setiap fraksi volume alumina dibandingkan ingot komposit karena porositas pada komposit hasil *thixoforming* dengan fraksi volume yang lebih rendah pada saat proses pembuatan *reheating* ingot komposit tidak membutuhkan proses *stirring* untuk mendistribusikan partikel alumina secara merata dan diberikan tekanan pada saat proses solidifikasi sehingga hidrogen dari udara tidak banyak yang masuk. Pada ingot komposit, porositas terendah adalah 8,84 % (0% Vf) dan porositas tertinggi adalah 15,94% (15% Vf). Pada produk *thixoforming* porositas terendah sebesar 3,40 (0 % Vf) dan tertinggi sebesar 10,79% (20 % Vf). Produk hasil *thixoforming* memiliki porositas lebih sedikit dibandingkan ingot komposit.
2. Pengujian uji tarik pada spesimen hasil *thixoforming* menunjukkan nilai kekuatan tarik terbesar adalah 197,3 kg/mm² (0 % Vf), kekuatan tarik ini terus menurun dengan meningkatnya fraksi volume alumina. Kekuatan tarik 5 % Vf alumina adalah 121,38, kg/mm² , 10 % Vf alumina adalah 35 kg/mm² dan 15 % Vf alumina adalah 10 kg/mm². Menurunnya kekuatan tarik spesimen hasil *thixoforming* karena berasal dari ingot komposit yang membutuhkan proses *stirring* yang lama dalam mendistribusikan partikel alumina secara merata sehingga porositas pada ingot komposit lebih banyak dengan meningkatnya fraksi volume partikel alumina dan pada saat penuangan *reheating* ingot komposit terekspos udara membuat porositas menjadi bertambah sehingga kekuatan tarik turun hasil *thixoforming* secara signifikan.

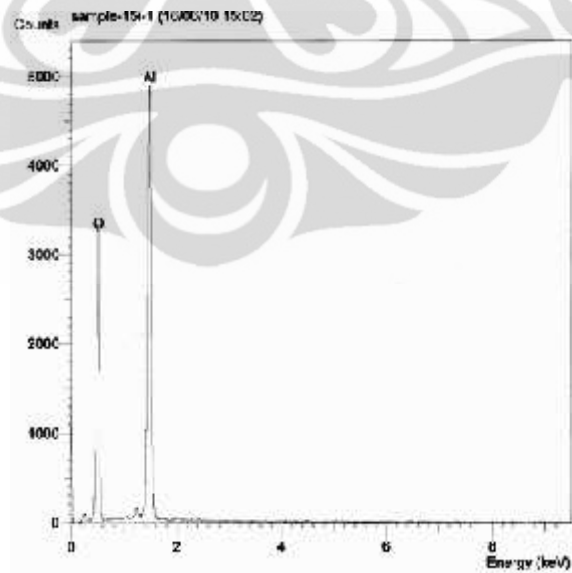
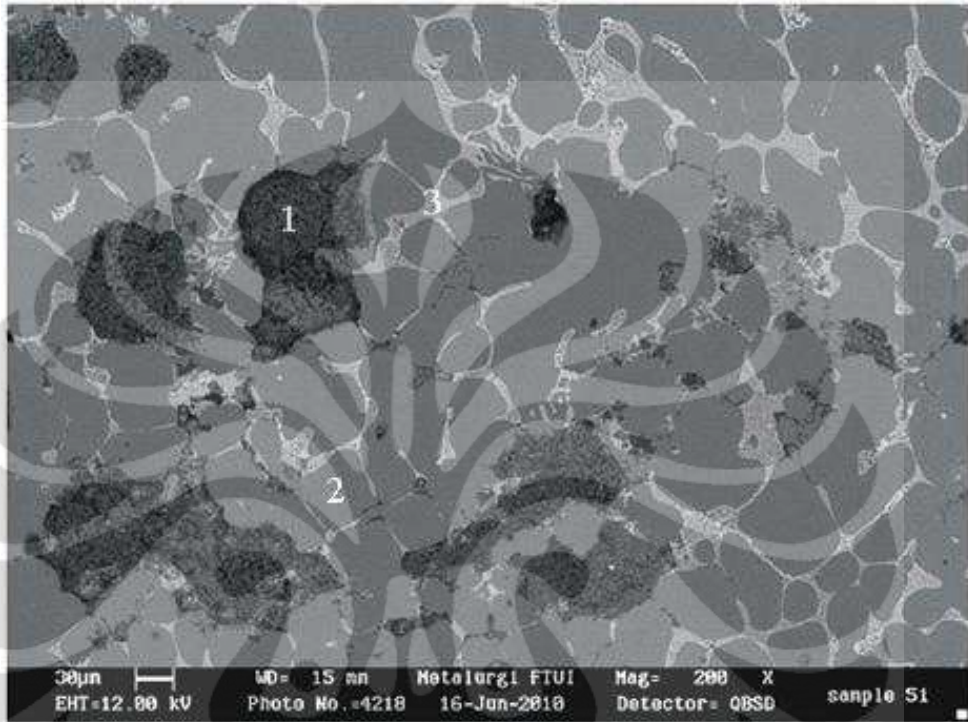
DAFTAR PUSTAKA

- [1] ASM Handbook Volume 21, *Composites*, ASM International Handbook Committee, 2001.g
- [2] L. Olaya, *Characterization Of Squeeze-Cast Al₁₂/Al And Al₂/Al Composites*, A thesis of Mechanical Engineering University Of Puerto Rico Mayagüez Campus, 2009.
- [3] K.V. Mahendra, K. Radhakrishna, *Fabrication of Al-4.5% Cu alloy with fly ash metal matrix composites and its characterization*, Material Science-Poland, Vol.25, No.1, 2007.
- [4] S.Madhusudan, M.M.M.Sarcar, N.M.M.R.Bhargava, *Fabrication and Characterization of Aluminium-Copper Composites*, Journal of Alloys and Compounds 471-166-118, 2009
- [5] A.Sangghaleh, M. Halali, *Effect of Magnesium Addition on the Wetting Alumina by Aluminium*, Sharif University of Technology, Iran.
- [6] H. Sehitoglu, T. Foglesong, and H.J. Maier. *Precipitate Effects on the Mechanical Behavior of Aluminum Copper Alloys: Part I. Experiments*, Metallurgical and Materials Transactions A, Volume 36A, March 2005.
- [7] T.B. Romijarso, *Pembuatan Komposit Matriks Logam Al₅Cu/Al₂O₃ Dan Al₅Cu/SiC melalui Proses Pengadukan dan Tempa Cetakan Terbuka*, Tesis Universitas Indonesia, 2008.
- [8] C.P.Hong, H.F.Shen, I.S.Cho, *Prevention of Macrosegregation in Squeeze Casting of an Al_{4,5}Cu Alloy*, Metallurgical and Materials Transaction A, Volume 29A, 1998
- [9] D. Liu, h. V. Atkinson, p. Kapranos, h. Jones, *Effect of heat treatment on properties of thixoformed high performance 2014 and 201 aluminium alloys*, Journal of Materials Science 39 (2004) 99– 105
- [10] J. Wannasin, S. Thanabumrunikul, *Development of a semi-solid metal processing technique for aluminium casting applications*, Songklanakarin Journal. Of Science n Technology, 30 (2), 215-220, Mar. - Apr. 2008
- [11] J. Wannasin, S. Thanabumrunikul, *Development Of A Semi-Solid Metal Processing Technique for Aluminium Casting Applications*, Prince of Songkla University, Hat Yai, Songkhla, 90112 Thailand. 2008
- [12] L. Ivanchev, D. Wilkins, S. Govender, W. Du Preez, R. Bean, *Rheo-Processing Of Semi-Solid Metal Alloys a New Technology For Manufacturing Automotive And Aerospace Components*, February 2006.

- [13] G. Hirt, R. Kop, *Thixoforming, Semi-solid Metal Processing*, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 2009
- [14] Gibson, Ronald F., *Principles of Composite Material Mechanics*, McGraw-Hill. Inc. New York (1994) 27-29
- [15] S. Y. Oh, J. A. Cornie, and K. C. Russell, *Wetting of Ceramic Particulates with Liquid Aluminum Alloys, Part II. Study of Wettability*, Met. Trans. A 20 A (1983) 538.
- [16] L. Froyen, *Aluminium Matrix Composites Materials*, TALAT Lecture University of Leuven, Belgium, 1994, EAA - European Aluminium Association
- [17] L. Olaya, *Characterization Of Squeeze-Cast Al₁₂/Al And Al₂/Al Composites*, A thesis of Mechanical Engineering University Of Puerto Rico Mayagüez Campus, 2009.
- [18] M. H. Jokhio, M. I. Panhwar and M. A. Unar, *Manufacturing of Aluminum Composite Material Using Stir Casting Process*, Mehran University Research Journal of Engineering & Technology, Volume 30, No. 1, January, 2011.
- [19] S. Kumar, J.A. Theerthan, *Metal Matrix Composite: Production And Characterisation Of Aluminium-Fly Ash Composite Using Stir Casting Method*, A Thesis, Department of Metallurgical & Materials Engineering, National Institute of Technology Rourkela, 2008
- [20] K. U. Kainer, *Basics of Metal Matrix Composites, Metal Matrix Composites. Custom-made Materials for Automotive and Aerospace Engineering*. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 2006
- [21] J.A. Al-Jarrah, S. Ray, and P.K. Ghosh, *Solidification Processing of Al-Al₂O₃ Composite Using Turbine Stirrer*, Metallurgical And Materials Transactions A, 1712—Volume 29A, June 1998
- [22] ASM Handbook Volume 02, *Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials*, ASM International Handbook Committee, 2001
- [23] G. E. T. Ten, D. S.M. Kenzie, *Handbook of Aluminum Volume 7 Physical Metallurgy and Processes*, Marcel Dekker, Inc. New York • Basel, USA, 2003.
- [24] R. Cobden, Alcan, Banbury, *Aluminium: Physical Properties, Characteristics and Alloys*, TALAT Lecture 1501, EAA - European Aluminium Association, 1994

- [25] ASM Handbook Volume 21, *Composites*, ASM International Handbook Committee, 2001
- [26] G. Hirt, R.Kopp, *Thixoforming-Semi-solid Metal Processing*, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 2009
- [27] Z. Fan, *Semisolid Metal Processing*, International Materials Reviews 2002 Vol. 47 No. 21

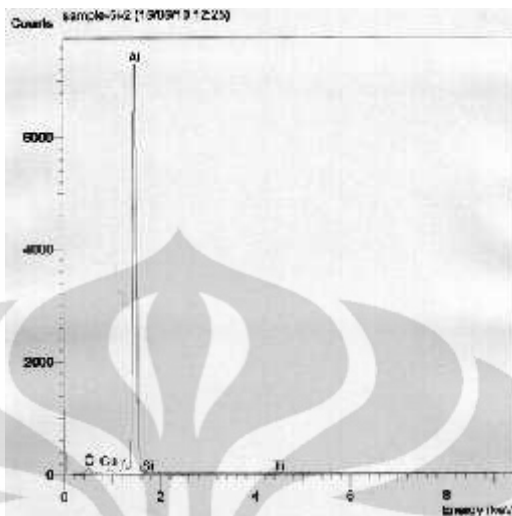




Quantitative method : ZAF (2 iterations).
 Analyzed all elements and normalized results.

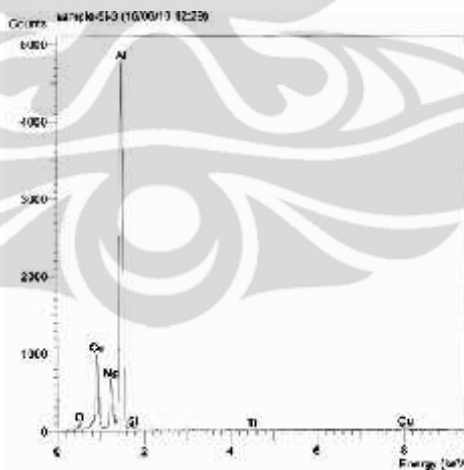
Elmt	Spect.	Element	Atomic
	Type	%	%
O	K	ED	39.41
Al	K	ED	60.59

Total 100.00 100.00



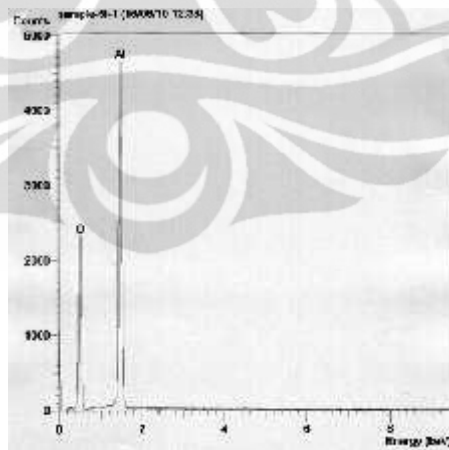
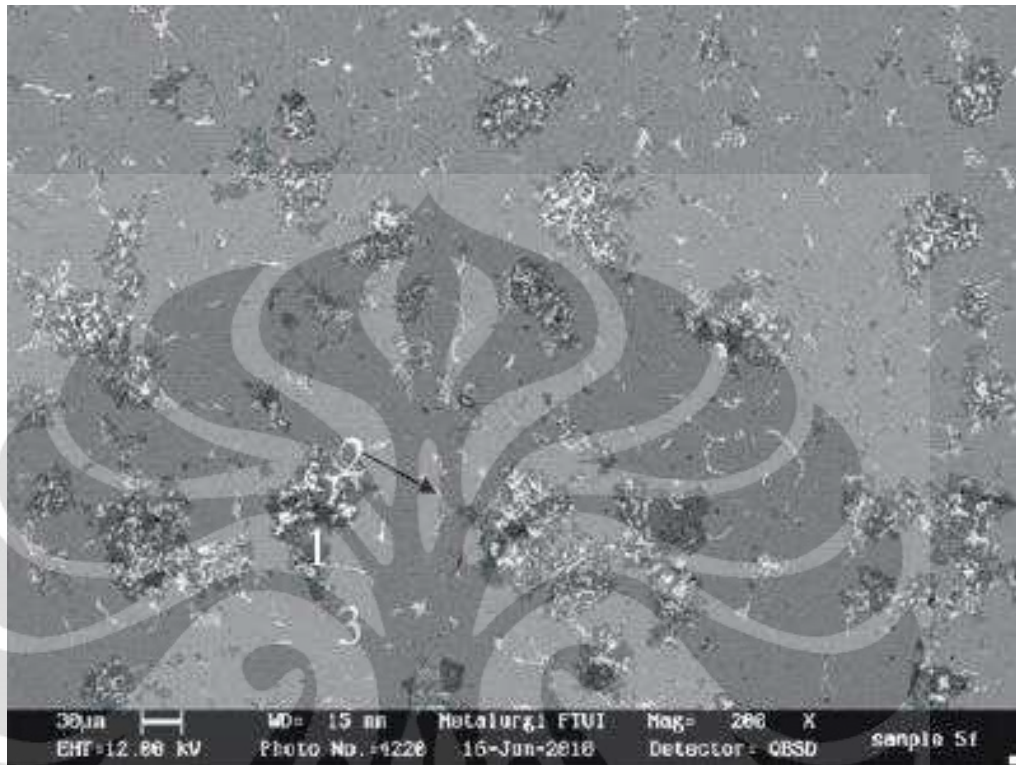
Quantitative method : ZAF (2 iterations).
Analyzed all elements and normalized results.

Elmt	Spect. Type	Element %	Atomic %
O K	ED	3.51	6.07
Al K	ED	86.66	88.87
Si K	ED	0.92	0.94
Ti K	ED	1.82	1.05
Cu K	ED	7.06	3.07
Total		100.00	100.00



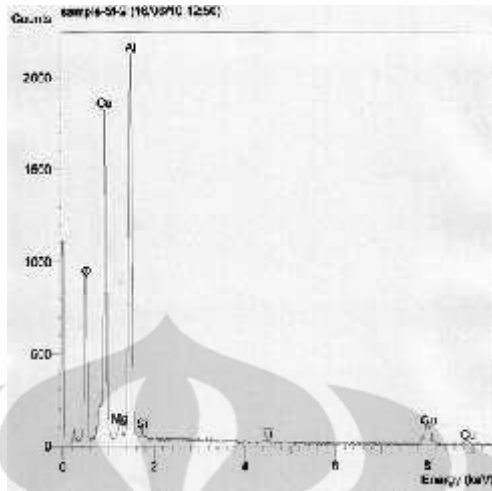
Quantitative method : ZAF (2 iterations).
Analyzed all elements and normalized results.

Elmt	Spect. Type	Element %	Atomic %
O K	ED	1.25	2.63
Mg K	ED	5.62	7.79
Al K	ED	55.31	69.05
Si K	ED	0.48	0.58
Ti K	ED	0.88	0.62
Cu K	ED	36.46	19.33
Total		100.00	100.00



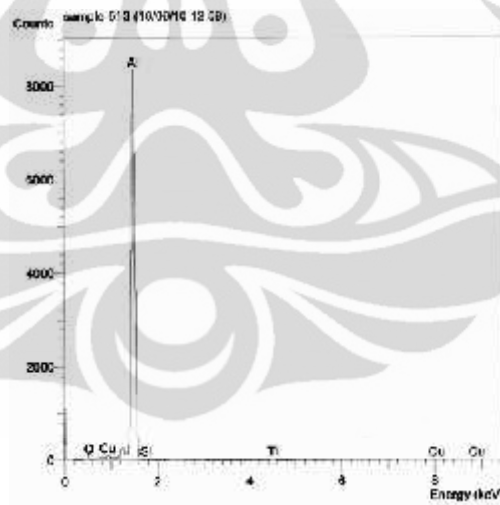
Quantitative method : ZAF (2 iterations).
 Analyzed all elements and normalized results.

Elmt	Spect. Type	Element %	Atomic %
O K	ED	46.04	58.99
Al K	ED	53.96	41.01
Total		100.00	100.00



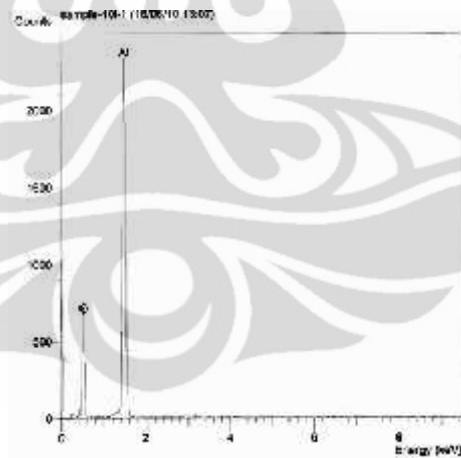
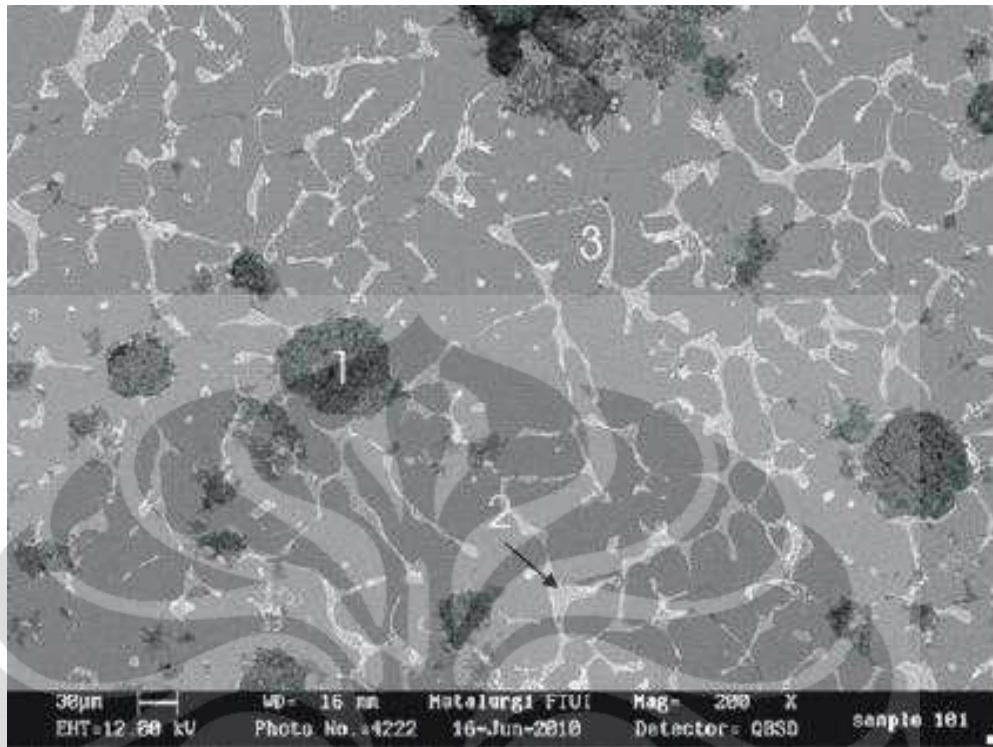
Quantitative method : ZAF (2 iterations).
 Analyzed all elements and normalized results.

Elmt	Spect. Type	Element %	Atomic %
O K	ED	8.98	23.04
Mg K	ED	0.39	0.67
Al K	ED	19.84	30.21
Si K	ED	0.25	0.37
Ti K	ED	0.25	0.51
Cu K	ED	0.60	45.21
Total		100.00	100.00



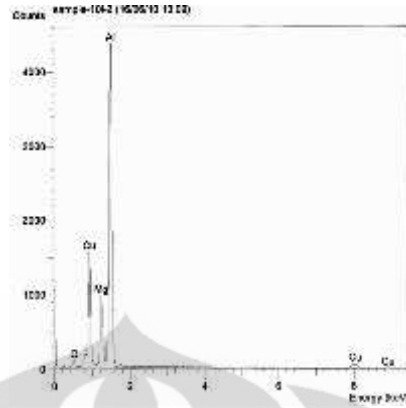
Quantitative method : ZAF (2 iterations).
 Analyzed all elements and normalized results.

Elmt	Spect. Type	Element %	Atomic %
O K	ED	1.75	3.02
Mg K	ED	91.51	93.78
Ti K	ED	1.88	1.09
Cu K	ED	4.86	2.11
Total		100.00	100.00



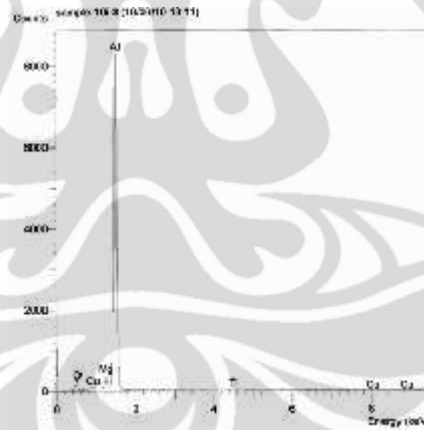
Quantitative method : ZAF (2 iterations).
 Analyzed all elements and normalized results.

Elmt	Spect. Type	Element %	Atomic %
O K	ED	35.42	48.06
Al K	ED	64.58	51.94
Total		100.00	100.00



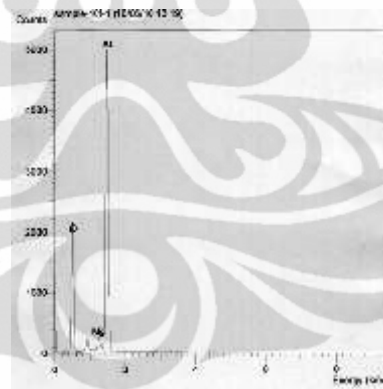
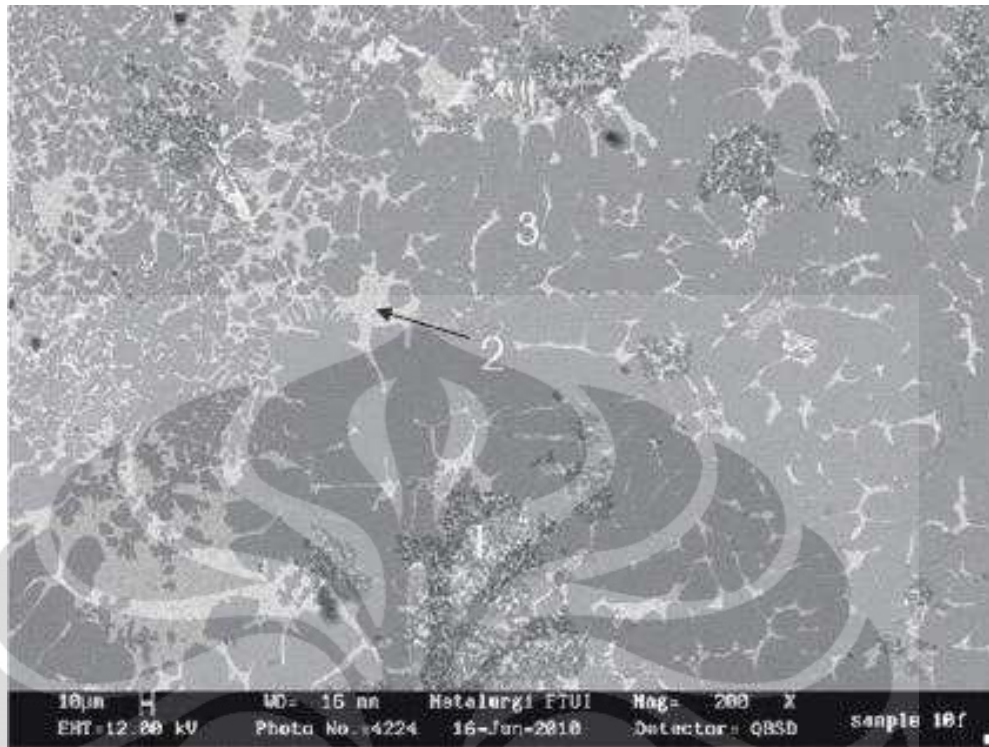
Quantitative method : ZAF (2 iterations).
 Analyzed all elements and normalized results.

Elmt	Spect. Type	Element %	Atomic %
O K	ED	1.32	3.04
Mg K	ED	7.81	11.86
Al K	ED	41.07	56.17
Cu K	ED	49.80	28.93
Total		100.00	100.00



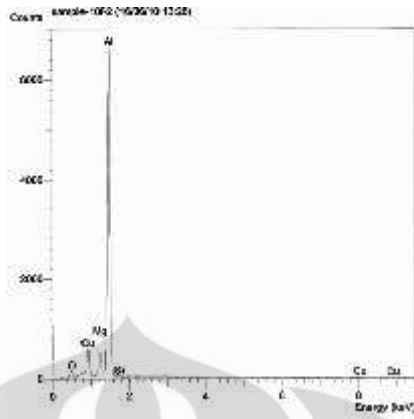
Quantitative method : ZAF (2 iterations).
 Analyzed all elements and normalized results.

Elmt	Spect. Type	Element %	Atomic %
O K	ED	6.22	10.45
Mg K	ED	0.50	0.55
Al K	ED	85.42	85.03
Ti K	ED	4.68	2.62
Cu K	ED	3.18	1.34
Total		100.00	100.00



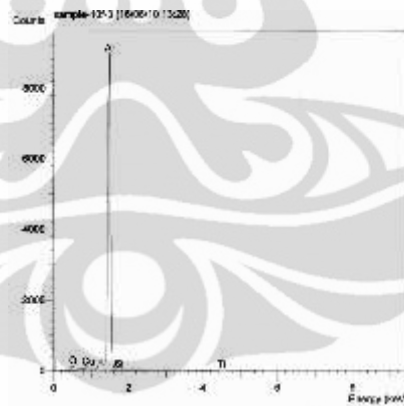
Quantitative method : ZAF (2 iterations).
 Analyzed all elements and normalized results.

Elmt	Spect. Type	Element %	Atomic %
O K	ED	38.06	51.93
Mg K	ED	1.20	1.07
Al K	ED	56.14	45.42
Cu K	ED	4.60	1.58
Total		100.00	100.00



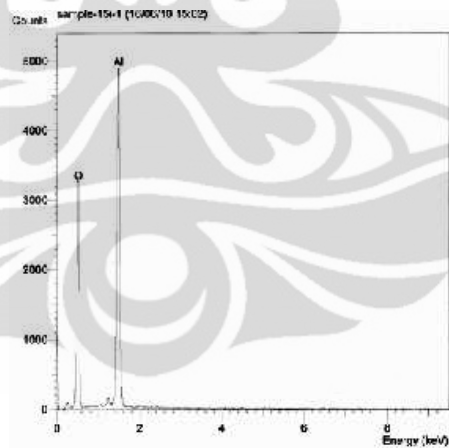
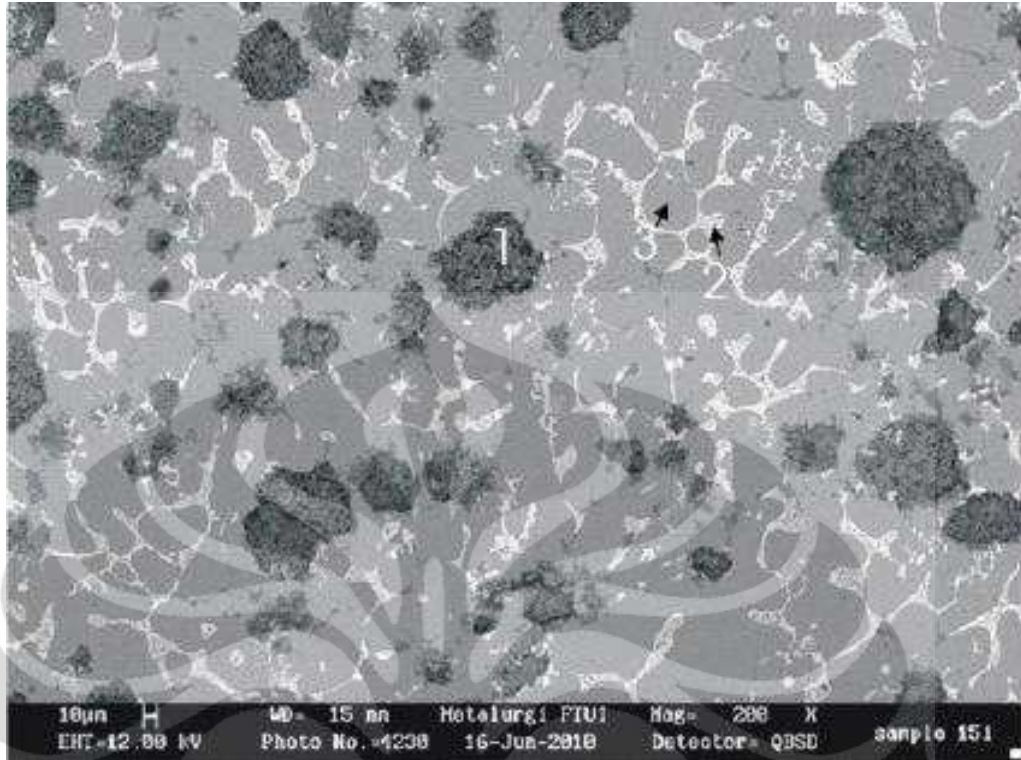
Quantitative method : ZAF (2 iterations).
 Analyzed all elements and normalized results.

Elmt	Spect. Type	Element %	Atomic %
O K	ED	2.72	4.95
Mg K	ED	3.33	3.98
Al K	ED	76.90	82.83
Si K	ED	0.76	0.79
Cu K	ED	16.29	7.45
Total		100.00	100.00



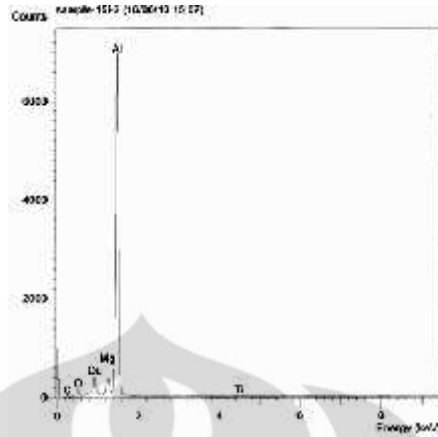
Quantitative method : ZAF (2 iterations).
 Analyzed all elements and normalized results.

Elmt	Spect. Type	Element %	Atomic %
O K	ED	3.34	5.71
Al K	ED	88.92	90.13
Si K	ED	1.03	1.00
Ti K	ED	1.92	1.10
Cu K	ED	4.78	2.06
Total		100.00	100.00



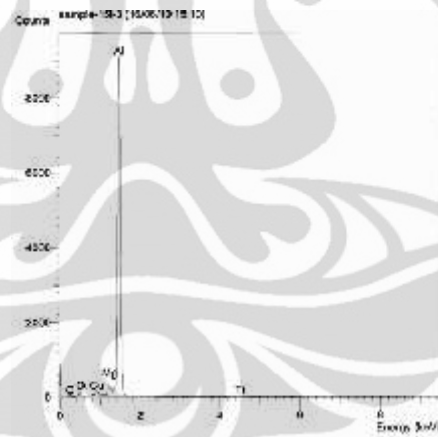
Quantitative method : ZAF (2 iterations).
 Analyzed all elements and normalized results.

Elmt	Spect. Type	Element %	Atomic %
O K	ED	51.19	63.88
Al K	ED	48.81	36.12
Total		100.00	100.00



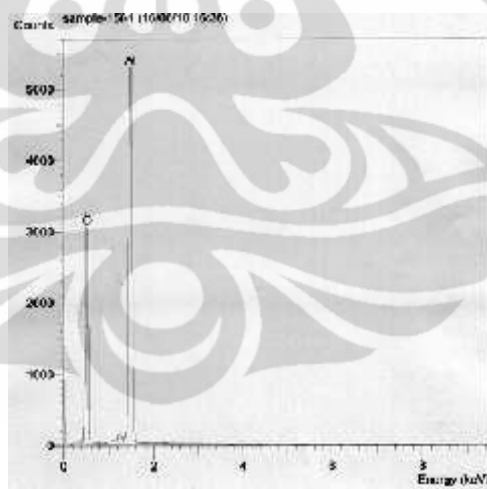
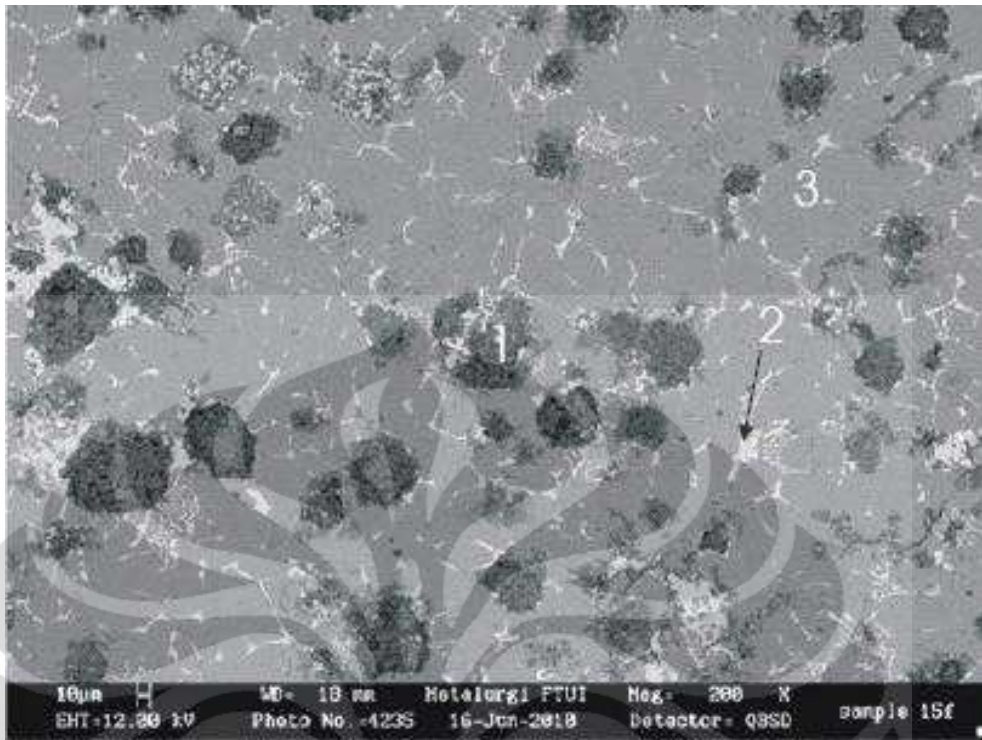
Quantitative method : ZAF (2 iterations).
Analyzed all elements and normalized results.

Elmt	Spect. Type	Element %	Atomic %
C K	ED	1.33	2.94
O K	ED	2.69	4.49
Mg K	ED	0.27	0.29
Al K	ED	91.39	90.33
Ti K	ED	0.98	0.54
Cu K	ED	3.35	1.41
Total		100.00	100.00



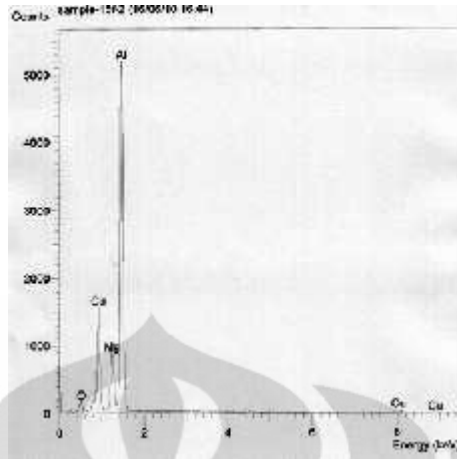
Quantitative method : ZAF (2 iterations).
Analyzed all elements and normalized results.

Elmt	Spect. Type	Element %	Atomic %
C K	ED	1.83	4.02
O K	ED	3.65	6.02
Mg K	ED	1.65	1.80
Al K	ED	87.66	85.79
Ti K	ED	1.53	0.85
Cu K	ED	3.67	1.53
Total		100.00	100.00



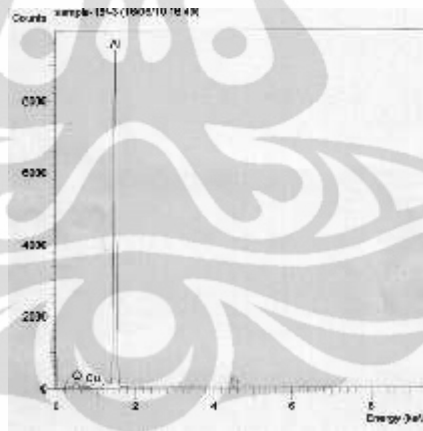
Quantitative method : ZAF (2 iterations).
 Analyzed all elements and normalized results.

Elmt	Spect. Type	Element %	Atomic %
O K	ED	48.39	61.26
Al K	ED	51.61	38.74
Total		100.00	100.00



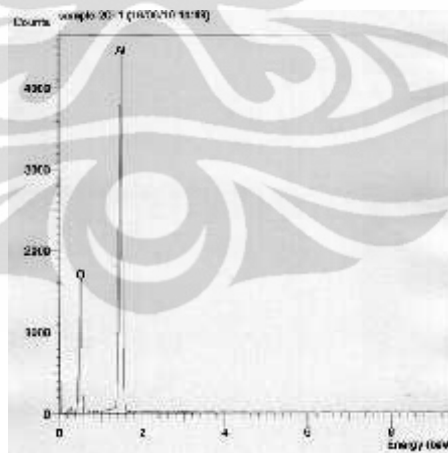
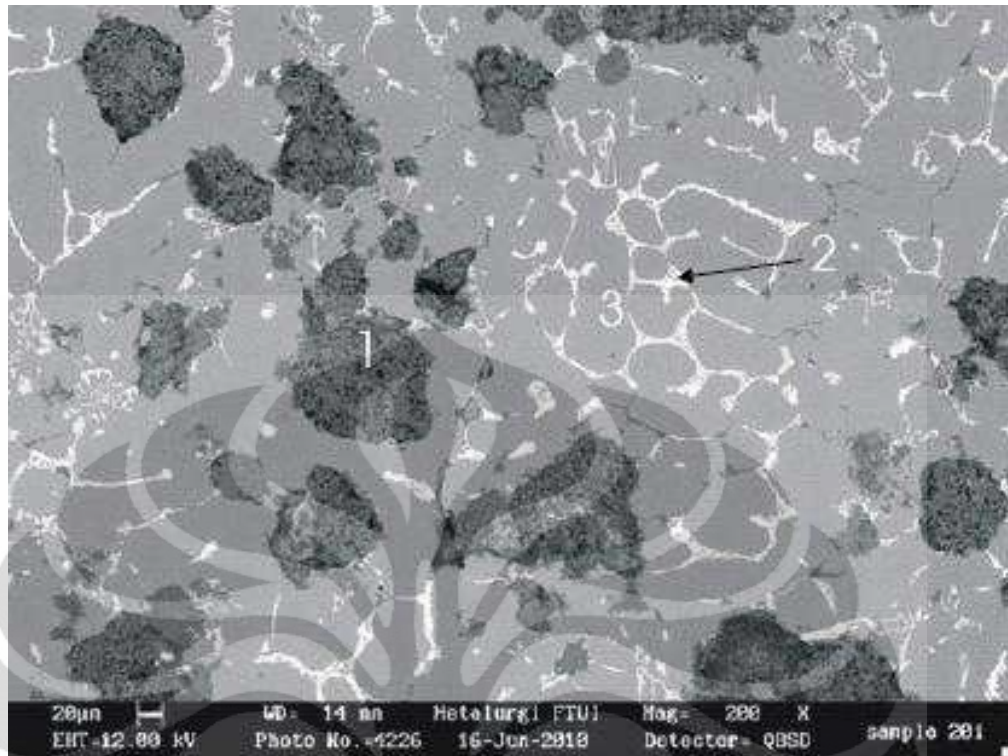
Quantitative method : ZAF (2 iterations).
Analyzed all elements and normalized results.

Elmt	Spect. Type	Element %	Atomic %
O K	ED	2.20	4.61
Mg K	ED	7.07	9.74
Al K	ED	52.98	65.76
Cu K	ED	37.75	19.89
Total		100.00	100.00



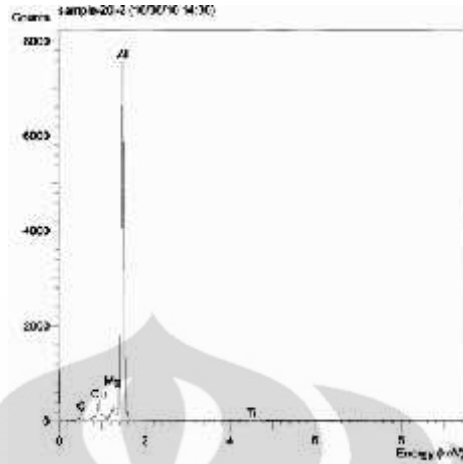
Quantitative method : ZAF (2 iterations).
Analyzed all elements and normalized results.

Elmt	Spect. Type	Element %	Atomic %
O K	ED	4.88	8.17
Al K	ED	90.04	89.42
Ti K	ED	1.90	1.06
Cu K	ED	3.18	1.34
Total		100.00	100.00



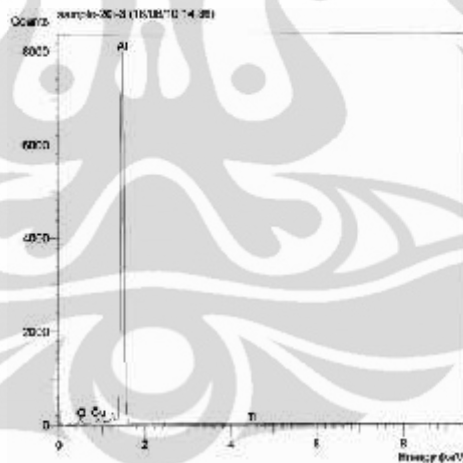
Quantitative method : ZAF (2 iterations).
 Analyzed all elements and normalized results.

Elmt	Spect. Type	Element %	Atomic %
O K	ED	40.32	53.26
Al K	ED	59.68	46.74
Total		100.00	100.00



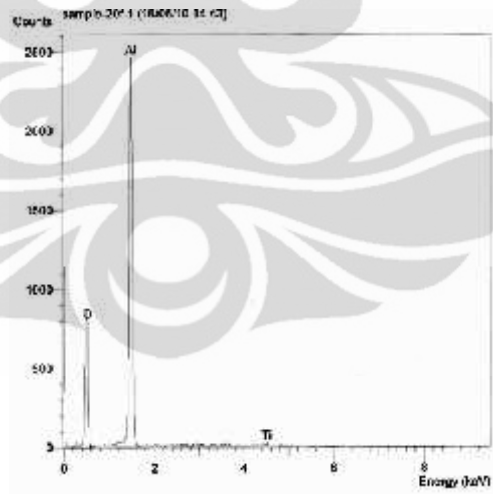
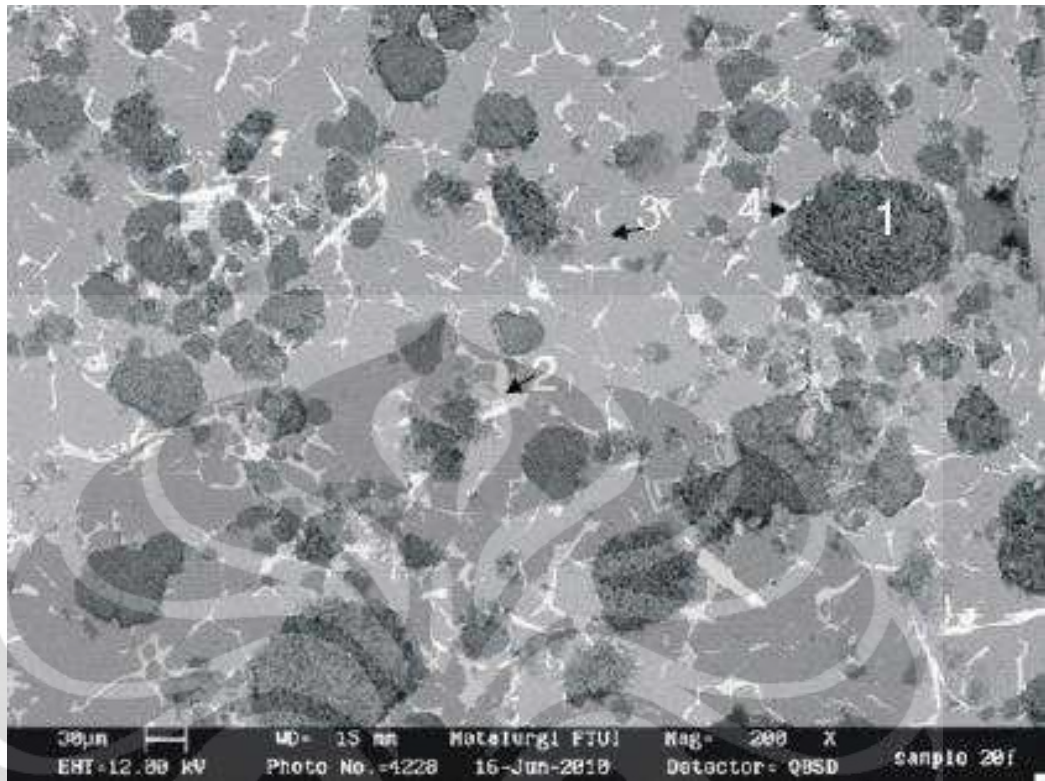
Quantitative method : ZAF (2 iterations).
Analyzed all elements and normalized results.

Elmt	Spect. Type	Element %	Atomic %
O K	ED	3.80	6.63
Mg K	ED	0.40	0.46
Al K	ED	85.10	88.08
Ti K	ED	0.93	0.54
Cu K	ED	9.77	4.29
Total		100.00	100.00



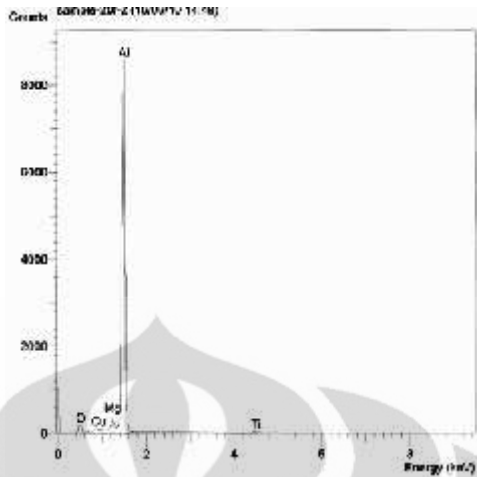
Quantitative method : ZAF (2 iterations).
Analyzed all elements and normalized results.

Elmt	Spect. Type	Element %	Atomic %
O K	ED	3.07	5.25
Al K	ED	90.28	91.66
Ti K	ED	1.60	0.92
Cu K	ED	5.05	2.18
Total	ED	100.00	100.00



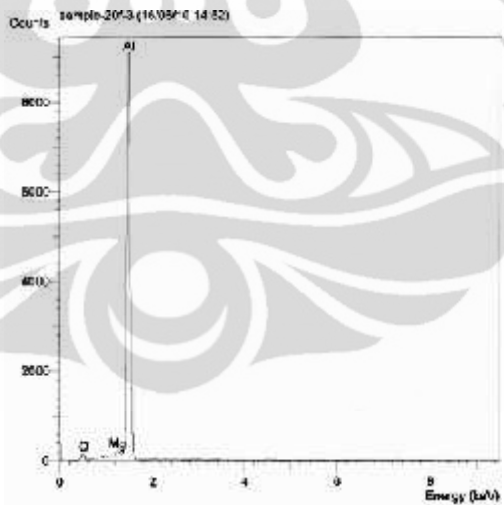
Quantitative method : ZAF (2 iterations).
 Analyzed all elements and normalized results.

Elmt	Spect. Type	Element %	Atomic %
O K	ED	38.16	51.35
Al K	ED	59.88	47.78
Ti K	ED	1.98	0.88
Total		100.00	100.00



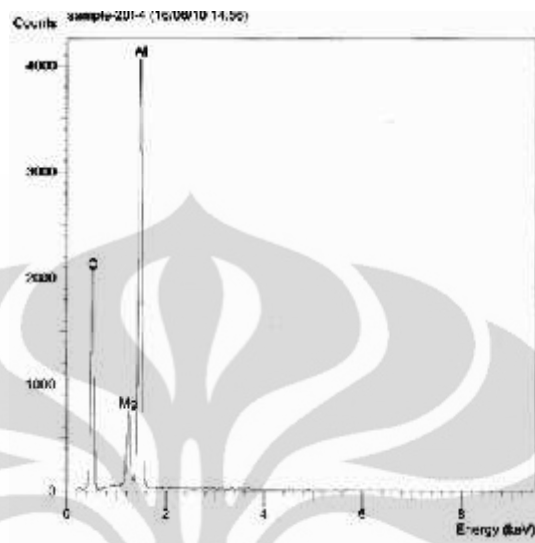
Quantitative method : ZAF (2 iterations).
 Analyzed all elements and normalized results.

Elmt	Spect. Type	Element %	Atomic %
O K	ED	4.82	8.13
Mg K	ED	0.11	0.12
Al K	ED	88.33	88.40
Ti K	ED	3.45	1.95
Cu K	ED	3.29	1.40
Total		100.00	100.00



Quantitative method : ZAF (2 iterations).
 Analyzed all elements and normalized results.

Elmt	Spect. Type	Element %	Atomic %
O K	ED	3.95	6.49
Mg K	ED	0.75	0.81
Al K	ED	95.29	92.70
Total		100.00	100.00



Quantitative method : ZAF (2 iterations).
 Analyzed all elements and normalized results.

Elmt	Spect.	Element	Atomic
	Type	%	%
O K	ED	41.41	54.05
Mg K	ED	7.12	6.12
Al K	ED	51.47	39.83
Total		100.00	100.00

Lampiran 2

Data Perhitungan Densitas dan Porositas

Tabel 2.A perhitungan densitas dan porositas pada ingot komposit *as cast*

no	kode ingot	berat (gram)		V sampel	Densitas		% porositas
		kering	basah		Dp	Dteori	
1	Ingot-0	13.7	5	5.016	2.731	3.01	9.258
2	Ingot-5	29.1	10.4	10.433	2.789	3.06	8.849
3	Ingot-10	24.4	9	9.029	2.703	3.1	12.822
4	Ingot-15	34	12.8	12.841	2.648	3.15	15.941
5	Ingot-20	24.2	8.8	8.828	2.741	3.2	14.334

Tabel 2.B Perhitungan densitas dan porositas pada komposit hasil thixoforming tanpa perlakuan panas

no	kode SSF	berat (gram)		V sampel	Densitas		% porositas
		kering	basah		Dp	Dteori	
1	SSF-0	14	4.8	4.815	2.907	3.01	3.407
2	SSF-10	16.4	5.6	5.618	2.919	3.06	4.598
3	SSF-15	12.2	4.2	4.213	2.896	3.1	6.594
4	SSF-15	15	5.4	5.417	2.769	3.15	12.096
5	SSF-20	12.6	4.4	4.414	2.855	3.2	10.795

Lampiran 3

Data Perhitungan Uji Tarik

Tabel 3.A Data dimensi spesimen uji tarik

% Vf alumina	spesimen							Gl	w	d	A
		w1	w2	w3	d1	d2	d3				
0	A1	6.5	6.5	6.8	4	4	4	36	6.60	4.00	26.40
	A2	6.6	6.5	6.3	3.7	3.7	3.7	36	6.47	3.70	23.93
5	B1	5.9	6.3	6.5	4.3	4.2	4.3	36	6.23	4.27	26.60
	B2	6.1	6.4	6.5	4.7	4.7	4.6	36	6.33	4.67	29.56
10	C1	6.1	6.1	6.1	4.1	4.1	4.1	36	6.10	4.10	25.01
	C2	6.1	6.4	6.5	3.8	3.8	3.9	36	6.33	3.83	24.28
15	D1	6.6	6.6	6.6	3.7	3.8	3.8	36	6.60	3.77	24.86
	D2	6.9	6.5	6.6	4.2	4.4	4.1	36	6.67	4.23	28.22
20	E1	6.1	6.3	6.4	3.9	4	3.9	36	6.27	3.93	24.65
	E2	6.6	6.3	6.6	4.9	4.8	4.9	36	6.50	4.87	31.63

Tabel 3.B Data tegangan hasil uji tarik

Tegangan (N)				
A	B	C	D	E
0	0			
11	14			
25	28		0	
25	28	4	2	
25	50	18	14	
62	64	18	14	
76	78	41	35	
76	78	53	50	
98	100	69	64	
112	114	69	64	
126	128	91	85	
126	128	104	100	
148	151	119	114	
162	165	119	114	
177	180	141	135	
177	194	154	151	
177	194			
213	215			

227	229
227	229
249	252
263	266
277	280
277	280
300	302
314	316
328	330
328	330
350	352
364	366
378	381
378	381
400	403
415	417
429	431
429	431
451	
465	
479	
479	
500	
515	
529	
529	

