



UNIVERSITAS INDONESIA

**FABRIKASI KOMPOSIT Al/Al₂O₃(P) *COATED* DENGAN
METODE *STIR CASTING* DAN KARAKTERISASINYA**

TESIS

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Teknik

Oleh

MAMAN KARTAMAN AJIRIYANTO
NPM. 080 642 294 6

**FAKULTAS TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK METALURGI DAN MATERIAL
KEKHUSUSAN MATERIAL
DEPOK
JULI 2010**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Maman Kartaman Ajiriyanto

NPM : 0806422946

Tanda Tangan :

Tanggal : 6 Juli 2010



HALAMAN PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh :
Nama : Maman Kartaman Ajiriyanto
NPM : 0806422946
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Judul Tesis : Fabrikasi Komposit Al/Al₂O_{3(p)} *Coated* Dengan Metode *Stir Casting* dan Karakterisasinya.

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian pernyataan yang diperlukan untuk memperoleh Gelar Magister Teknik pada Program Studi Teknik Metalurgi dan Material, Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing I : Prof. Dr. Ir. Anne Zulfia, M.Sc (.....)
Penguji I : Dr. Ir. Sutopo (.....)
Penguji II : Dr. Ir. Dedi Priadi (.....)
Penguji III : Dr. Ir. Myrna Ariati (.....)

Di tetapkan di : Depok
Tanggal : 6 Juli 2010

UCAPAN TERIMA KASIH

Segala puji dan syukur kepada ALLAH SWT, Tuhan semesta alam, karena atas berkat dan rahmat-Nya serta ridho-Nya penulis dapat menyelesaikan Tesis ini tepat waktu. Shalawat serta salam semoga selalu tercurah kepada tauladan sekalian umat, Rasulullah Muhammad SAW beserta keluarga dan sahabatnya.

Tesis dengan judul “ Fabrikasi Komposit Al/Al₂O_{3(p)} *Coated* Dengan Metode *Stir Casting* dan Karakterisasinya “ ini disusun untuk memenuhi sebagian persyaratan akademis dalam meraih gelar Magister Teknik Program Studi Teknik Metalurgi dan Material dengan Kekhususan Material Program Pasca Sarjana Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan tesis ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan tesis ini. Oleh karena itu pada kesempatan ini, saya ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Ibu Prof. Dr. Ir. Anne Zulfia, M.Sc, sebagai pembimbing yang dengan penuh kesabaran memberikan bimbingan dan dorongan semangat kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan tesis ini;
2. Prof. Dr. Ing. Ir. Bambang Suharno selaku pembimbing akademik dan sebagai Ketua Departemen Metalurgi dan Material FTUI;
3. Dr. Ir. Winarto, sebagai Ketua Program Pasca Sarjana Teknik Metalurgi dan Material;
4. Bapak Dr. Ir. Sutopo, Bapak Dr. Dedi Priadi dan Ibu Dr. Ir Myrna Ariati, MS, selaku Dewan Penguji atas koreksi, saran dan masukanya;
5. Dr. Ir. Ahmad Herman Yuwono, selaku dosen dan penguji proposal tesis atas saran dan masukanya;
6. Deni Ferdian, ST, sebagai dosen dan rekan Mt'95 atas pencerahan dan diskusinya;
7. Segenap Pimpinan Pusdiklat BATAN dan PTBN BATAN, atas dukungan moril dan materilnya;
8. Seluruh staf pengajar dan karyawan Departemen Teknik Metalurgi dan Material FTUI;

9. Istriku tercinta (Ninna Lisnawatie) serta kedua anakku yang tercinta (Tiana Kartika dan Khansa Sabiha) yang telah memberikan semangat dan Do'a;
10. Rekan-rekan seperjuangan penelitian : Andhika Insani, Syukron Lutfi dan Tatu Mas'udah, atas kerjasama dan kekompakanya selama penelitian;
11. Bapak Udin AHM, atas bantuanya selama proses stir casting di AHM;
12. Rekan-rekan PTBN : Pa' Junaedi, Pa' Priyono, Pa Nusin, Pa Gogo, P Aje, Pa' Basiran, Arif, Bu Ika, Pa' Roy, Isma, Embah Hardjo, P Susworo, P Tia, P Guswardani dan seluruh staf dan pegawai PTBN lainnya yang telah memberikan dukungan dan bantuanya selama penelitian;
13. Pak Slamet Pribadi, yang telah membantu dalam pengujian struktur mikro;
14. Udin dan mas Boy, yang membantu dalam observasi SEM dan EDS;
15. Pak Wisnu dan Jan S, atas bantuanya dalam analisa XRD;
16. Rekan-rekan mahasiswa S2 angkatan 2008/2010 : Anton, Tulus, Joko, Pa' Hafid, Niken, Pa' Maksun, Khamda, Sari, Pa' Agung, Gofar, Nonoy dan Dudit atas kerjasama dan bantuanya selama perkuliahan maupun penyelesaian penelitian tesis;

Akhir kata, saya berharap ALLAh SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga tesis ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu dikemudian hari.

Depok, 12 Juli 2010

Penulis

Maman Kartaman A

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Maman Kartaman Ajiriyanto
NPM : 0806422946
Program Studi : Material
Departemen : Teknik Metalurgi dan Material
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Tesis

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

Fabrikasi Komposit Al/Al₂O_{3(p)} Coated Dengan Metode Stir Casting dan Karakterisasinya

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan hak bebas Royalty Non eksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalih mediakan/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 : 6 Juli 2010
Yang Menyatakan

Maman Kartaman A

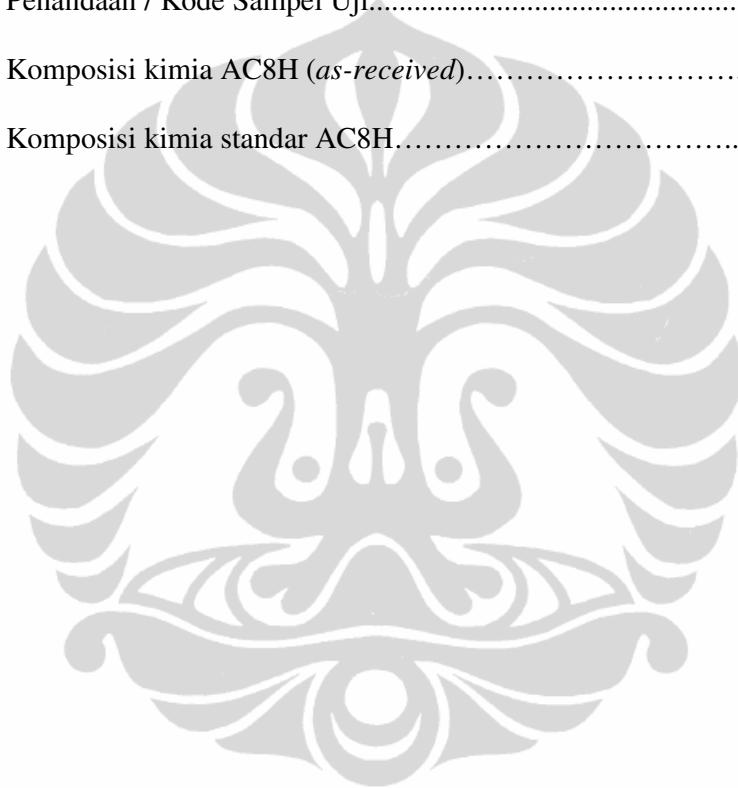
DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
UCAPAN TERIMA KASIH	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	
1. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian	3
1.4. Hipotesis	4
1.5. Batasan Masalah	6
2. TINJAUAN PUSTAKA	8
2.1. Material Komposit	8
2.2. Komposit Matrik Logam (MMCs)	9
2.2.1. Bahan Penyusun MMCs	9
2.2.2. Karakteristik Mekanik MMCs	10
2.2.3. <i>Aluminium – Metal Matrix Composites / A-MMCs</i>	14
2.3. Fabrikasi Komposit Al/Al ₂ O ₃	19
2.3.1. Proses Pembuatan MMC Fasa Padat	19
2.3.2. Fabrikasi Komposit Al/Al ₂ O ₃ Dengan <i>Stir Casting</i>	19
2.4. Antarmuka Matrik dan Penguat	23
2.4.1. Mekanisme Adhesi Pada Interface	23
2.4.1.1. Adsorpsi dan Pembasahan	24
2.4.1.2. <i>Mechanical Bonding</i>	24
2.4.1.3. <i>Electrostatic Bonding</i>	25
2.4.1.4. <i>Chemical Bonding</i>	25
2.4.2. Pengaruh Antarmuka Terhadap Karakteristik Komposit	25
2.5. Mekanisme Penguatan Pada <i>Aluminium – Metal Matrix Composites</i>	
2.5.1. Penguatan Dislokasi	30
2.5.2. Penguatan Ukuran Butir	30
2.5.3. Penguatan Partikel	31
2.6. Aplikasi <i>Aluminium – Metal Matrix Composites</i>	32
3. METODOLOGI PENELITIAN	36
3.1. Diagram Alir Penelitian	36
3.2. Persiapan Awal	37
3.2.1. Penandaan Sampel Uji	37

3.2.2. Persiapan Bahan	38
3.2.3. Peralatan Percobaan dan Pengujian	38
3.3. Perlakuan Awal Partikel Al ₂ O ₃	38
3.3.1. Pembersihan Permukaan Partikel	39
3.3.2. Pembuatan Larutan Elektrolit	39
3.3.3. Proses Pelapisan Partikel	39
3.3.4. Proses Oksidasi Partikel Al ₂ O ₃	40
3.4. Proses Peleburan dan <i>Stir Casting</i>	40
3.5. Perlakuan Panas T6	44
3.6. Pengujian / Karakterisasi	45
3.6.1. Uji Komposisi Kimia	45
3.6.2. Pengujian Struktur Mikro	45
3.6.3. Pengamatan dengan SEM dan EDS	46
3.6.4. Pengujian Porositas	50
3.6.5. Uji Kekerasan makro	51
3.6.6. Uji Tarik	52
3.6.7. Uji Ketahanan Aus	54
3.6.8. Anaisa XRD	55
4. HASIL DAN PEMBAHASAN	57
4.1. Karakterisasi Partikel Al ₂ O ₃	57
4.1.1. Morfologi Partikel Sebelum <i>Electroless Plating</i>	57
4.1.2. Morfologi Partikel sesudah <i>Electroless Plating</i>	59
4.1.3. Analisis Fasa Partikel	63
4.2. Komposisi Kimia Komposit	65
4.3. Densitas Dan Porositas Komposit Al/Al ₂ O ₃	66
4.4. Analisis Struktur Mikro	69
4.4.1. Struktur Mikro Komposit <i>as – cast</i>	69
4.4.2. Struktur Mikro Komposit Pasca T6	73
4.4.3. Analisa Fasa Dengan HR-SEM	79
4.5. Analisa Pola Difraksi Komposit Al/Al ₂ O ₃	82
4.6. Karakteristik Mekanik Komposit Al/Al ₂ O ₃	83
4.6.1. Pengaruh Fraksi Volume Terhadap Kekerasan <i>As-Cast</i>	83
4.6.2. Pengaruh Waktu Aging Terhadap Kekerasan Komposit	86
4.7. Pengaruh Fraksi Volume Terhadap kekuatan tarik	88
4.8. Pengaruh Fraksi Volume Terhadap Laju Aus	91
5. KESIMPULAN	95
DAFTAR REFERENSI	97
LAMPIRAN	xi

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Sifat fisik dan mekanik logam aluminium.....	10
Tabel 2.2	Sifat beberapa jenis penguat bentuk <i>particulat</i> (p), <i>whisker</i> (w) <i>chopped fibre</i> (c).....	10
Tabel 2.3	Sifat Mekanik Komposit Matrik Logam.....	11
Tabel 3.1	Penandaan / Kode Sampel Uji.....	37
Tabel 4.1	Komposisi kimia AC8H (<i>as-received</i>).....	65
Tabel 4.2	Komposisi kimia standar AC8H.....	65



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Perbandingan <i>specific stiffness</i> bahan konvensional dan AMMCs.....	11
Gambar 2.2	Perilaku Tegangan – Regangan Bahan Komposit.....	12
Gambar 2.3	Pengaruh partikel penguat terhadap sifat-sifat Al-MMCs. a) kekuatan dan keuletan. b) Modulus elastisitas. c) CTE...	15
Gambar 2.4	Pengaruh ukuran partikel SiC terhadap a) kekuatan dan b) Sifat kegagalan komposit Al-4Mg+50 vol% SiC.....	16
Gambar 2.5	Diagram fasa biner Al – Si.....	17
Gambar 2.6	Struktur mikro paduan hipoeutektik, eutektik dan hipereutektik komersial. (a) Paduan Al-Si hipoeutektik (Al-5.7Si-, paduan tipe A319). (b) Paduan Al-Si eutektik (Al-11.9Si, paduan tipe A339. (c) Paduan Al-Si hipereutektik (Al-15Si, paduan tipe A390).....	18
Gambar 2.7	Pengaruh penambahan partikel terhadap kekerasan mikro sebagai fungsi waktu aging.....	19
Gambar 2.8	Skematik proses stir casting.....	20
Gambar 2.9	Skematik interface matrik – penguat.....	23
Gambar 2.10.	Mekanisme <i>mechanical bonding</i>	25
Gambar 2.11.	Mekanisme <i>electrostatic bonding</i>	25
Gambar 2.12.	Mekanisme <i>chemical bonding</i>	25
Gambar 2.13	Variasi sudut kontak komposit Al/Al ₂ O ₃	27
Gambar 2.14	Sudut kontak paduan Al dengan metode uji sessile drop.....	28
Gambar 2.15.	Mikrograf antarmuka matrik paduan Al dengan partikel SiC (a) Al murni – SiC (b) Al-13,9Mg dengan SiC.....	28
Gambar 2.16.	Kontribusi regangandengan mekanisme berbeda terhadap kekuatan tarik komposit Al-SiC.....	32
Gambar 2.17.	Aplikasi komposit dalam industri (a) cylinder liner (b) brake rotor (c) caliper (d) connecting rod (e) valves (f) cast brake disc (g) piston.....	33
Gambar 2.18.	System operasi dan distribusi temperature piston (a) distribusi temperature pada piston dome (b) sistem tribologi pada sekitar cylinder bore.....	34
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian.....	36
Gambar 3.2	Proses <i>electroless coating</i> logam Mg terhadap partikel Al ₂ O ₃	40
Gambar 3.3	Holding furnace.....	41
Gambar 3.4	Proses <i>degassing</i> dengan rotor GBF.....	42
Gambar 3.5	Proses Pengadukan / <i>Stir Casting</i>	43
Gambar 3.6	Cetakan spesimen uji tarik dan penuangan. (a) cetakan (b) penuangan.....	43
Gambar 3.7	Produk spesimen uji tarik.....	44
Gambar 3.8	Diagram tahapan proses <i>artificial aging</i> (T6).....	44
Gambar 3.9	Ilustrasi sistem pembentukan bayangan pada SEM.....	47
Gambar 3.10	Penembak elektron (<i>electron gun</i>).....	47
Gambar 3.11	Interaksi berkas elektron dengan material.....	48

Gambar 3.12	Skema penjejukan pada uji kekerasan makro.....	51
Gambar 3.13	Jenis-jenis spesimen uji tarik.....	52
Gambar 3.14	Kurva Tegangan – Regangan.....	53
Gambar 3.15	Skema prinsip pengujian keausan dengan metode Ogoshi...	54
Gambar 3.16	Difraksi pada bidang kristal.....	56
Gambar 4.1	Bentuk dan Distribusi Partikel Al ₂ O ₃	58
Gambar 4.2	Ukuran partikel Al ₂ O ₃ (<i>as-recieved</i>).....	59
Gambar 4.3	Spektrum EDS permukaan partikel Al ₂ O ₃ (<i>as-recieved</i>).....	59
Gambar 4.4	Mikrograf dan spektrum EDS pasca <i>electroless plating</i> 0,1 gram Mg.....	60
Gambar 4.5	Mikrograf dan spektrum EDS pasca <i>electroless plating</i> 0,3 gram Mg.....	62
Gambar 4.6	Pola difraksi partikel Al ₂ O ₃ (<i>as-recieved</i>).....	64
Gambar 4.7	Pola difraksi partikel Al ₂ O ₃ pasca <i>electroless plating</i>	64
Gambar 4.8	Grafik perubahan fraksi volume Al ₂ O _{3p} terhadap densitas komposit.....	66
Gambar 4.9	Perubahan % Filler terhadap densitas.....	67
Gambar 4.10	Perubahan densitas komposit Al6061-SiC dan Al7075-Al ₂ O ₃	67
Gambar 4.11	Skema pembentukan vortex selama proses <i>stir casting</i>	68
Gambar 4.12	Grafik hasil pengujian porositas komposit Al/Al ₂ O _{3p}	69
Gambar 4.13	Struktur mikro paduan AC8H (<i>as-recieved</i>).....	70
Gambar 4.14	Struktur mikro komposit Al/ Al ₂ O ₃ <i>as-cast</i> untuk setiap fraksi volume. (a) fraksi volume 2%. (b) 9%. (c) 12,5% (d) 18% (e) 22,5%.....	71
Gambar 4.15	Struktur mikro dan distribusi partikel komposit Al/Al ₂ O _{3p} fraksi volume 18% (a) waktu aging 1 jam. (b) 3 jam (c) 5 jam.....	74
Gambar 4.16	Struktur mikro dan distribusi partikel komposit Al/Al ₂ O _{3p} fraksi volume 22,5% (a) aging 1 jam (b) aging 3 jam. (c) aging 5 jam. (d) aging 7 jam.....	76
Gambar 4.17	Mikrograf interface dan spektrum EDS Komposit Al/Al ₂ O _{3p} fraksi volume 22,5%.....	80
Gambar 4.18	Struktur mikro komposit Al/Al ₂ O ₃ fraksi volume 18% (a) Struktur mikro. (b) spektrum hasil EDS.....	81
Gambar 4.19	Pola difraksi komposit Al/Al ₂ O _{3p} untuk setiap fraksi volume Al ₂ O ₃	83
Gambar 4.20	Grafik peningkatan fraksi volume terhadap kekerasan komposit.....	84
Gambar 4.21	Grafik perbandingan kekerasan komposit Al/Al ₂ O ₃ dengan Al/SiC.....	85
Gambar 4.22	Grafik pengaruh waktu aging terhadap kekerasan komposit	87
Gambar 4.23	Grafik kekuatan tarik komposit Al/Al ₂ O _{3p}	88
Gambar 4.24	Grafik perbandingan kekuatan tarik komposit Al/Al ₂ O ₃ dengan Al/SiC.....	89
Gambar 4.25	Fraktografi spesimen uji tarik komposit Al/Al ₂ O _{3p} . (a) fraksi volume 2% (b) 9% (c)12,5% (d)18% (e)22,5%.....	90
Gambar 4.26	Grafik pengaruh fraksi volume Al ₂ O _{3p} terhadap laju aus.....	92

Gambar 4.27	Grafik perbandingan laju aus komposit Al/Al ₂ O ₃ dengan Al/SiC.....	93
Gambar 4.28	Mekanisme abrasi bahan komposit.....	93



ABSTRAK

Nama : Maman Kartaman Ajiriyanto
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Judul : Fabrikasi Komposit Al/Al₂O_{3(p)} *Coated* Dengan Metode
Stir Casting dan Karakterisasinya

Komposit Al/Al₂O_{3(p)} *coated* dengan fraksi volume partikel Al₂O₃ dari 2; 9; 12,5; 18 dan 22,5% dibuat menggunakan metode *stir casting*. Bahan matrik yang digunakan adalah paduan Al casting tipe AC8H. Penelitian ini dilakukan untuk memperoleh distribusi partikel yang homogen dan sifat mekanik yang memenuhi persyaratan aplikasi temperatur tinggi. Pengaruh penambahan fraksi volume partikel Al₂O₃ diamati dengan pengujian struktur mikro dan mekanik. Hasil analisa dengan SEM dan XRD menunjukkan bahwa proses pelapisan menghasilkan oksida logam seperti MgO dan spinel MgAl₂O₄ pada antarmuka sehingga meningkatkan *wettability* dan sifat mekanik. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan partikel penguat Al₂O₃ mempengaruhi karakteristik mekanik komposit. Kekerasan meningkat dengan meningkatnya fraksi volume sedangkan kekuatan tarik relatif menurun. Kekerasan optimum diperoleh pada fraksi volume 9% yaitu 131,8 BHN. Sementara kekuatan tarik menurun dengan kenaikan fraksi volume. Adanya penggumpalan dan *clustering* partikel Al₂O₃ menyebabkan kekuatan tarik turun pada fraksi volume 18 dan 22,5%. Laju aus cenderung rendah dengan naiknya fraksi volume. Laju aus optimum diperoleh pada fraksi volume 12,5% yaitu sebesar 3.21×10^{-6} mm³/mm.

Kata kunci : Komposit Al/Al₂O_{3p}, *stir casting*, *wettability*, *electroless plating*, *artificial aging*, kekuatan tarik, kekerasan.

ABSTRACT

Name : Maman Kartaman Ajiriyanto
Study Program : Teknik Metalurgi dan Material
Title : Fabrication of composite Al/Al₂O_{3(p)} *Coated* Using
Stir Casting Method And its Characteristics.

Aluminum alloy Al AC8H reinforced with Al₂O₃ particles using the stir casting method. Volume fraction of Al₂O₃ particles were varied from 2 to 22.5%. The aims of the research are to obtain homogenous particle distribution and good mechanical distribution. The cast ingot were subjected to T6 heat treatment to optimize the properties and to study aging kinetic. The samples were carefully machine to prepare the test specimen for density, porosity, hardness, tensile strength and microstructure examination. The microstructure of the cast composite showed some degree porosity and sites of Al₂O₃ particle clustering especially of high-volume fraction of Al₂O₃ particles. Volume fraction of particle increased, the hardness linearly increased, optimum at 9% with hardness value 131.8 BHN. Tensile strength decreased with increasing the volume fraction. For un-reinforced condition, tensile strength is 203,09 MPa and this value decrease to 150,74 MPa at 22,5%. Surface topography showed agglomeration of particle and porosity. Wear rate value of composite decrease with increasing volume fraction. The optimum wear rate at 12,5% is 3.21×10^{-6} mm³/mm.

Key words: Composite Al/Al₂O_{3p}, wettability, electroless plating, stir casting, artificial aging, tensile strength, hardness