



**PENGARUH PENAMBAHAN SERBUK NANO ALUMINA (Al_2O_3)
TERHADAP KARAKTERISASI KOMPOSIT Al/ SERAT
KAWAT BAJA DENGAN METODE *STIR CASTING***

SKRIPSI

Oleh :

Gunawan Wibisono

161910101013

PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2020



**PENGARUH PENAMBAHAN SERBUK NANO ALUMINA (Al_2O_3)
TERHADAP KARAKTERISASI KOMPOSIT Al/ SERAT
KAWAT BAJA DENGAN METODE *STIR CASTING***

SKRIPSI

Diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Studi Strata Teknik Mesin (S1) dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh :

Gunawan Wibisono

161910101013

PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2020

PERSEMBAHAN

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah memberikan segala rahmat serta kasih sayang-Nya sehingga dengan penuh rasa syukur skripsi ini saya persembahkan kepada:

1. Kedua orang tua saya, Bapak Sulimin dan Ibu Ninik Mei Hetty yang selalu mendukung dan mendokan saya sepenuh hati.
2. Teman-teman seperjuangan saya selama menempuh pendidikan.
3. Seluruh dosen dan staf Jurusan Akuntansi Fakultas Teknik Universitas Jember.
4. Almamater Fakultas Teknik Universitas Jember.

MOTTO

“Ketika anda sudah sampai pada titik saat ini, jangan berhenti”
(Gunawan)



PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Gunawan Wibisono

NIM : 161910101013

Judul Skripsi : **PENGARUH PENAMBAHAN SERBUK NANO ALUMINA(Al_2O_3) TERHADAP KARAKTERISASI KOMPOSIT Al/ SERAT KAWAT BAJA DENGAN METODE *STIR CASTING***

Dengan ini saya menyatakan bahwa karya ilmiah yang berjudul “Pengaruh Penambahan Serbuk Nano Alumina (Al_2O_3) Terhadap Karakterisasi Komposit Al/ Serat Kawat Baja Dengan Metode *Stir Casting*” ialah hasil karya yang murni berasal dari pemikiran sendiri, kecuali beberapa kutipan yang mana sudah saya cantumkan alamat sumbernya. Karya ilmiah ini juga belum pernah diajukan kepada institusi mana pun dan bukan karya plagiasi. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sebagaimana kedua hal tersebut merupakan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat sebenar-benarnya tanpa ada tekanan dari pihak manapun dan apabila ternyata dikemudian hari pernyataan yang saya buat ini tidak benar, maka saya bersedia mendapat sanksi akademik.

Jember, 2020

Yang Menyatakan,

Gunawan Wibisono

NIM 161910101013

SKRIPSI

**PENGARUH PENAMBAHAN SERBUK NANO ALUMINA (Al_2O_3)
TERHADAP KARAKTERISASI KOMPOSIT Al/ SERAT
KAWAT BAJA DENGAN METODE *STIR CASTING***

Oleh :

Gunawan Wibisono
NIM 161910101013

Pembimbing:

Dosen Pembimbing Utama : Rahma Rei S., S.T., M.T.
NIP 760017115

Dosen Pembimbing Anggota : Ir. Digdo Listyadi S., M.Sc.
NIP 19680617 199501 1 001

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “**Pengaruh Penambahan Serbuk Nano Alumina(Al_2O_3) Terhadap Karakterisasi Komposit Al/ Serat Kawat Baja Dengan Metode *Stir Casting***” karya Gunawan Wibisono telah diuji dan disahkan pada:

Hari, tanggal :

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Dosen Pembimbing Utama,

Dosen Pembimbing Anggota,

Rahma Rei S., S.T., M.T.
NIP 760017115

Ir. Digdo Listyadi S., M.Sc.
NIP 19680617 199501 1 001

Tim Penguji

Dosen Penguji I,

Dosen Penguji II,

Dr.Ir. Salahuddin Junus, S.T., M.T.
NIP 19751006 200212 1 002

Dedi Dwi Laksana, S.T., M.T
NIP 19691201 199602 1 001

Mengesahkan,

Dekan,

Dr. Triwahju Hardianto, S.T..M.T.
NIP 19700826 1997021 001

RINGKASAN

Pengaruh Penambahan Serbuk Nano Alumina(Al_2O_3) Terhadap Karakterisasi Komposit Al/ Serat Kawat Baja Dengan Metode *Stir Casting*;

Gunawan Wibisono, 161910101013; 83 Halaman; Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Metal Matrix Composite atau komposit matriks logam merupakan jenis komposit yang menggunakan logam aluminium sebagai matriksnya karena sifatnya yang ringan, densitas yang rendah, dan tahan korosi. Serat kawat baja karbon yang ditambahkan sebagai penguat dan nano-alumina (Al_2O_3) ditambahkan pada komposit sebagai upaya untuk menaikkan sifat mekanik dari aluminium dengan metode *stir casting*. Penambahan Mg (Magnesium) sebagai agen pembasah dari nano-Alumina sebesar 5%. Hasil pengujian dengan variasi penambahan nano-alumina (Al_2O_3) pada komposit Al/Serat Kawat Baja kekerasan tertingginya dicapai pada variasi 5% dengan nilai 83 HRB. Kekuatan tarik tertinggi diperoleh pada variasi 5% dengan nilai 171 MPa. Pengamatan mikro menunjukkan penambahan nano-alumina membuat ukuran butir menjadi lebih rapat serta menunjukkan adanya cacat porositas. Pengamatan SEM menunjukkan persebaran nano-alumina pada daerah matriks dan batas butir dengan penambahan nano-Alumina sebesar 5%.

SUMMARY

The Effect of Addition of Nano Powder (Al₂O₃) on Characterization of Al Composites / Steel Wire Fibers Using the Stir Casting Method; Gunawan Wibisono, 161910101013; 83 Pages; Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Jember.

Metal Matrix Composite or metal matrix composite is a type of composite that uses aluminum metal as its matrix because of its light weight, low density, and corrosion resistance. Carbon steel wire fibers were added as reinforcement and nano-alumina (Al₂O₃) was added to the composite in an attempt to improve the mechanical properties of aluminum by the stir casting method. The addition of Mg (Magnesium) as a wetting agent of nano-Alumina was 5%. The test results with variations in the addition of nano-alumina (Al₂O₃) to the Al / Steel Wire Fiber composite, the highest hardness was achieved at a variation of 5% with a value of 83 HRB. The highest tensile strength is obtained at 5% variation with a value of 171 MPa. Micro observations showed the addition of nano-alumina made the grain size tighter and showed porosity defects. SEM observations showed the distribution of nano-alumina in the matrix area and grain boundaries with the addition of 5% nano-alumina.

PRAKATA

Puji syukur kehadirat Allah SWT. Atas segala rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi berjudul “Pengaruh Penambahan nano Alumina (Al_2O_3) Terhadap Karakterisasi Komposit Al/Serat Kawat Baja Dengan Metode Stir Casting”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember. Penelitian dan penyusunan skripsi ini tidak lepas dari dukungan dan bantuan berbagai pihak. Penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Kedua Orang Tua saya Bapak Sulimin dan Ibu Ninik Mei Hetty, yang telah memberikan semangat , pengarahan, pendanaan dan doa dalam menempuh pendidikan Strata Satu (S1) Teknik Mesin di Universitas Jember.
2. Adik saya yang tersayang Istimah Nur Fadila yang selalu memberi semangat baik doa maupun motivasi.
3. Seluruh Keluarga, Adik, Saudara, Paman, Bibi yang selalu memberi semangat dalam menempuh pendidikan Strata Satu (S1) Teknik Mesin di Universitas Jember.
4. Ibu Rahma Rei Sakura S.T.,M.T. selaku dosen pembimbing utama yang tidak ada lelahnya membimbing saya, baik memberikan motivasi, serta arahan selama penelitian dan penulisan hingga selesai.
5. Bapak Dr. Ir. Salahudin Junus, S.T.,M.T. selaku dosen penguji dan pembimbing dalam tim riset MaGNIFIED yang tidak ada lelahnya memberikan motivasi dan arahan dalam penelitian dan penulisan skripsi hingga selesai.
6. Bapak Ir. Digdo Listyadi S., M.Sc selaku dosen pembimbing kedua yang telah banyak memberikan saran dan masukan dalam penulisan skripsi ini hingga selesai.

7. Bapak Dedi Dwi Laksana, S.T., M.T selaku dosen penguji anggota yang telah memberikan banyak saran serta berbagai pertimbangan dalam penulisan dan penelitian skripsi ini.
8. Semua Dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember yang telah mendidik serta memberikan ilmu yang bermanfaat sehingga saya dapat menyelesaikan studi strata satu (S1).
9. Semua Guru dari Taman Kanak-Kanak Perwanida, SD N 5 Gondang, SMP N 1 Gondang, dan SMA N 2 Sragen yang telah meberikan ilmu yang bermanfaat selama saya menempuh pendidikan.
10. Paguyuban KEMAPATA BLITAR yang telah memberi saya banyak ilmu dan pengalaman organisasi serta teman teman Blitar yang begitu peduli.
11. Sahabat terdekat sejak SMA “Pemburu Sapi” yang telah memberi dukungan dan motivasi.
12. Teman terdekat sejak SMA, Luthfi, Fahim, Alda, Naning, Jalil, Yanuar, Andika, Affan, Arum, Sasmita, Esi, Heru, Maysi, Nito, Kartika, Suketi, Deni Pratiwi, dan lain-lain yang telah banyak memberi dukungan selama penyusunan skripsi.
13. Teman-teman seperjuangan Tim Riset MaGNIFied yang telah memberikan banyak dukungan selama riset dan penulisan skripsi.
14. Teman Kontraan Yahya, Andreas dan Aris yang telah memberikan motivasi dan dukungan dikala senang maupun sedang susah.
15. Teman seperjuangan Mbak Ruroh, Mbak Eka, Silfi, Dadung, Lukman, Elbi, Suherninda, Vito, Ilham Bintang, Afifah, Fiddin, Destian, Willopi, Aditya dani, Agung, Ali, Haris Elvan, Mutia, Denny, Putri, Kurniawan, Ozi, Naufal Katon, Rendi, Elok, Abim, Royan, Raka, Veli, dan Qonang yang telah memberi motivasi dan semangat dalam mengerjakan skripsi.
16. Teman-Teman pegawai “The Preanger” Mas Bayhaqi, Flesian, Borax, Mbak Sari, Edwin Silatuha, Anggel Si Tampan, Wena, dan Mbak Aul yang telah banyak memberi semangat dalam menyusun skripsi.
17. Saudara seperjuangan Teknik Mesin 2016 Universitas Jember.
18. Semua pihak yang telah membantu kelancaran dalam penyusunan skripsi.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	ii
PERSEMBAHAN.....	iii
MOTTO	iv
PERNYATAAN.....	v
SKRIPSI.....	vi
PENGESAHAN	vii
RINGKASAN	viii
SUMMARY	ix
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR GAMBAR	xvi
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	4
1.5 Ruang Lingkup dan Batasan Masalah Penelitian	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Komposit.....	5
2.2 MMC.....	6
2.3 Aluminium	9
2.3.1 Paduan Aluminium	11
2.4 Partikel Al ₂ O ₃	14

2.5	Serat Kawat Baja Karbon Sedang.....	15
2.6	Magnesium.....	17
2.7	Pengecoran.....	19
2.7.1	Jenis Metode Pengecoran.....	20
2.7.2	Jenis Cetakan	24
2.8	Karakterisasi Material.....	25
2.8.1	Pengujian Tarik.....	25
2.8.2	Pengujian Kekerasan.....	28
2.8.3	Pengamatan Struktur Mikro.....	32
2.8.5	Pengujian Densitas-Porositas.....	39
2.9	Hipotesa	40
BAB 3. METODE PENELITIAN.....		41
3.1	Metode Penelitian	41
3.2	Tempat dan Waktu Penelitian.....	41
3.3	Alat dan Bahan.....	41
3.4	Variabel Penelitian.....	49
3.4.1	Variabel Bebas	49
3.4.2	Variabel Tetap.....	49
3.4.3	Variabel Terikat	50
3.5	Proses Pembuatan Komposit Al/ Serat Kawat.....	50
3.6	Pengujian Sampel	51
3.6.1	Uji Tarik.....	51
3.6.2	Uji Kekerasan	51
3.6.3	Pengamatan Struktur Mikro.....	52
3.6.4	Pengujian SEM (Scanning Electrone Microscopy)	52
3.6.5	<i>Pengujian Densitas-Porositas</i>	53
3.7	Diagram Alir Penelitian	55
3.8	Diagram <i>Fishbone</i>	56

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....	57
4.1 Data Pengujian Tarik	57
4.1.1 Pengaruh Serat Kawat.....	57
4.1.2 Pengaruh Nano- Al_2O_3	58
4.2 Data Pengujian Kekerasan	62
4.2.1 Kekerasan Daerah Antarmuka	63
4.2.2 Kekerasan Daerah Matriks.....	65
4.3 Data Uji Densitas dan Porositas.....	68
4.3.1. Pengaruh Penambahan nano- Al_2O_3 Terhadap Uji Densitas Komposit	69
4.3.2. Pengaruh Penambahan nano- Al_2O_3 Terhadap Uji Porositas Komposit	70
4.4.1. Struktur Mikro Daerah Kawat	73
4.4.2. Struktur Mikro Daerah Matriks	75
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN	85
5.1 Kesimpulan	85
5.2 Saran	85
DAFTAR PUSTAKA	86

DAFTAR TABEL

	Halaman
2.1 Sifat fisik dan mekanik aluminium.....	10
2.2 Komposisi Aluminium.....	11
2.3 Komposisi kimia dari baja karbon menengah (%).....	16
2.4 Sifat-Sifat Magnesium.....	17
3.1 Tabel Hasil Uji Tarik Spesimen.....	56
3.2 Tabel Hasil Uji Kekerasan Spesimen.....	56
4.1 Nilai kekuatan tarik (Mpa) variasi nano- Al_2O_3	58
4.2 Perbandingan Nilai Kekuatan Tarik Dari Peneliti Lain.....	59
4.3 Nilai Kekerasan Dari Komposit Dalam Satuan (HRB).....	64
4.4 Hasil Uji Densitas dan Porositas.....	69

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1	Klasifikasi Komposit Berdasarkan Penguat..... 6
2.2	Jenis Matriks dan Penguat MMC..... 7
2.3	Tipe Penguat MMC..... 8
2.4	Skematis Pemberian Beban Tarik Komposit..... 9
2.5	Serbuk Aluminium Oksida..... 14
2.6	Struktur Mikro Kawat Baja Karbon Menengah..... 16
2.7	Dapur <i>Stir Casting</i> 20
2.8	<i>Horizontal Centrifugal Casting</i> 21
2.9	Mesin <i>High Pressure Die casting</i> 22
2.10	Kurva Uji Tarik..... 26
2.11	Spesimen Hasil Cor..... 26
2.12	Spesimen Uji Tarik..... 27
2.13	<i>Ball Indenter</i> 29
2.14	Tipe Piramida Intan..... 29
2.15	Sudut Indenter..... 30
2.16	Struktur Mikro Kawat Baja dan Paduan Aluminium..... 31
2.17	Hasil Mounting Tampak Atas..... 33
2.18	Spesimen Setelah Dan Sebelum Di Etsa..... 34
2.19	Pemantulan Sinar Pada Mikroskop Metalografi..... 35
2.20	Mekanisme Blok SEM..... 36
2.21	Skema Interaksi Antar Bahan Dan Elektron..... 37
2.22	Hasil SEM..... 37
3.1	Tungku Pengecoran..... 41
3.2	Timbangan Digital..... 41
3.3	Cetakan Permanen..... 41
3.4	Pengaduk..... 42
3.5	Mesin Amplas..... 42

3.6	Gergaji.....	42
3.7	Clam Amper Meter.....	43
3.8	Mesin Bubut.....	43
3.9	Amplas.....	43
3.10	Jangka Sorong.....	44
3.11	Bak Pasir.....	44
3.12	Sendok.....	44
3.13	Sarung Tangan.....	44
3.14	Mesin SEM.....	45
3.15	Mesin Uji Tarik.....	45
3.16	Mesin Uji Kekerasan.....	45
3.17	Mesin Mikroskop Optik.....	46
3.18	Aluminium Ingot.....	46
3.19	Magnesium Ingot.....	46
3.20	Serat Kawat Baja.....	47
3.21	Nano- Al_2O_3	47
3.22	Resin.....	47
3.23	Gas Argon.....	48
3.24	Mortar.....	48
3.25	Diagram Alir Penelitian.....	54
3.26	Diagram <i>fishBone</i>	55
4.1	Data hasil pengujian tarik (Mpa).....	60
4.2	Hasil Gambar Porositas pada Struktur Mikro Komposit Aluminium (Perbesaran 100X).....	61
4.3	Kekuatan Tarik Aluminium dengan penambahan Al_2O_3	62
4.4	Grafik Hasil Uji Kekerasan Komposit Al+Serat Kawat Baja/ Al_2O_3	64
4.5	Struktur Mikro Interface <i>Steel wire</i> dan Matriks	65
4.6	Nilai Kekerasan Daerah Matriks.....	66
4.7	Kekerasan Paduan Aluminium Setelah Penambahan Al_2O_3	67
4.8	Hubungan Kekuatan Tarik dan Kekerasan Komposit.....	68
4.9	Grafik Uji Densitas Terhadap Penambahan nano- Al_2O_3	70

4.10	Grafik Hubungan Komposisi Terhadap Densitas.....	71
4.11	Nilai porositas komposit Al/Kawat dengan penambahan Al_2O_3	72
4.12	Pengaruh penambahan nano- Al_2O_3 terhadap porositas.....	73
4.13	Struktur Mikro Komposit Aluminium/Kawat Baja (Perbesaran 100X).....	73
4.14	Struktur Mikro Komposit Aluminium Penguat Kawat.....	75
4.15	Struktur Mikro Al+0% Al_2O_3	76
4.16	Struktur Mikro Komposit dengan 1% nano- Al_2O_3 (Perbesaran 200X).....	76
4.17	Struktur Mikro Komposit Aluminium/nano Al_2O_3 3% (Perbesaran 100X).....	77
4.18	Struktur mikro komposit Al+ nano Al_2O_3	78
4.19	Struktur Mikro Komposit Aluminium/nano Al_2O_3 5% (Perbesaran 100X).....	79
4.20	Struktur mikro Aluminium+nano alumina.....	80
4.21	Struktur mikro Al-mg.....	80
4.22	SEM Al/1% Al_2O_3 (Perbesaran 5.000x).....	82
4.23	SEM Al/5% Al_2O_3 (Perbesaran 5.000x).....	82
4.24	SEM paduan Al/1% Al_2O_3	83

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Metal Matrix Composite (MMC) merupakan jenis komposit bermatrik logam. *Metal Matrix Composite* (MMC) adalah penggabungan dua atau lebih bahan yang menambahkan penguat ke matriks logam untuk meningkatkan sifat-sifat komposit. *Hybrid metal matrix composites* (HMMC) merupakan jenis komposit yang bermatrik logam dengan kombinasi penguat komposit lebih dari satu. Salah satu penguat yang ditambahkan merupakan penguat utama untuk meningkatkan sifat dasar matriksnya dan penguat lainnya merupakan penguat sekunder. Matrik logam yang sering digunakan adalah aluminium (Srivastava, 2014).

Aluminium memiliki sifat yang ringan, densitas rendah, dan ketahanan terhadap korosi. Kekuatan aluminium jika dibandingkan dengan material komersil lainnya masih rendah serta ketahanan aus pada aluminium yang rendah menjadi kelemahannya. Penguat yang ditambahkan (Pramanik, 2016). Penguat yang dapat digunakan untuk meningkatkan kekuatan tarik dari aluminium pada matrik aluminium dapat mengurangi kelemahan tersebut. adalah kawat.

Penelitian yang dilakukan oleh (Awarasang dan Devoor, 2016) menjelaskan bahwa penambahan kawat baja pada komposit yang matriknya paduan aluminium dengan metode *stir casting* dapat meningkatkan sifat mekanik dari komposit. Hasil dari penelitian tersebut menunjukkan bahwa ikatan yang baik terjadi antara matrik aluminium dengan penguat kawat baja. Kawat baja sebagai penguat meningkatkan kekuatan tarik komposit sebesar 35% dibandingkan paduan aluminium.

Penelitian sebelumnya yang pernah dilakukan oleh (Chelladurai, 2018) tentang pengaruh penambahan kawat sebagai penguat pada komposit menggunakan metode *squeeze casting* disimpulkan bahwa penambahan kawat sebagai material penguat pada komposit dapat meningkatkan nilai kekuatan tarik dari komposit. Komposit tersebut dapat diaplikasikan pada bidang otomotif

karena keunggulan dari kekuatan tarik yang tinggi. Material lain yang dapat dijadikan sebagai penguat utama adalah alumina.

Material alumina (Al_2O_3) adalah senyawa kimia dari aluminium dan oksigen. Alumina merupakan salah satu penguat dalam bentuk partikel yang dapat ditambahkan pada pembuatan komposit hibrid matrik logam. Alumina (Al_2O_3) adalah keramik yang dipakai untuk meningkatkan sifat tahan aus dan nilai kekerasan dari matriks logam. Alumina yang memiliki sifat keras berperan sebaagai penahan dari deformasi plastik matrik selama pengujian kekerasan (Pramanik, 2016). Alumina yang ditambahkan pada pembuatan komposit *hybrid* menggunakan matrik aluminium, secara efisien dapat meningkatkan nilai kekerasan pada komposit (Ghanaraja, 2016).

Penguat komposit dengan ukuran semakin kecil merupakan salah satu faktor untuk meningkatkan sifat mekanik dan membuat komposit dengan kinerja tinggi. Ukuran partikel yang sering digunakan adalah submikron atau nano. Hal tersebut dibuktikan oleh (Dinesh, 2013) meneliti tentang paduan aluminium yang diperkuat oleh nano alumina. Hasil dari penelitian menunjukkan nilai kekerasan dari komposit meningkat sebesar 90% dibandingkan paduan aluminium murni komersial yang digunakan umumnya.

Penelitian ini akan dilakukan pengujian terhadap material komposit *hybrid* Al/ Serat Kawat Baja 0,67%C + Al_2O_3 yang dibuat menggunakan metode *Stir Casting*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan kawat dan variasi dari nano alumina (Al_2O_3) sebesar 1wt%, 3 wt%, dan 5 wt% terhadap karakterisasi komposit hibrid. Pengujian yang dilakukan meliputi uji kekerasan, uji tarik, uji mikro dan SEM. Diharapkan dari hasil penilitan ada peningkatan dari nilai kekerasan dan kekuatan tarik komposit.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan penjelasan latar belakang diatas, maka rumusan masalah yang dibahas pada penelitian ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh variasi penambahan fraksi berat nano alumina (Al_2O_3) pada komposit Al/Serat Kawat Baja sebesar 1 wt%, 3wt%, 5wt% terhadap hasil uji kekerasan ?
2. Bagaimana pengaruh variasi penambahan fraksi berat nano alumina (Al_2O_3) pada komposit Al/Serat Kawat Baja sebesar 1wt%, 3wt%, 5wt% terhadap hasil uji tarik ?
3. Bagaimana pengaruh variasi penambahan fraksi berat nano alumina (Al_2O_3) pada komposit Al/Serat Kawat Baja sebesar 1wt%, 3wt%, 5wt% terhadap hasil uji densitas porositas ?
4. Bagaimana pengaruh variasi penambahan fraksi berat nano alumina (Al_2O_3) pada komposit Al/Serat Kawat Baja sebesar 1wt %, 3wt %, 5wt % terhadap hasil pengamatan struktur mikro ?
5. Bagaimana pengaruh variasi penambahan fraksi berat nano alumina (Al_2O_3) pada komposit Al/Serat Kawat Baja C sebesar 1wt%, 3 wt %, 5wt % terhadap hasil pengamatan *Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive* ?

1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui pengaruh variasi penambahan fraksi berat nano alumina (Al_2O_3) pada komposit Al/Serat Kawat Baja + Al_2O_3 sebesar 1wt%, 3wt%, 5wt% terhadap hasil uji kekerasan ?.
2. Mengetahui pengaruh variasi penambahan fraksi berat nano alumina (Al_2O_3) pada komposit Al/Serat Kawat Baja + Al_2O_3 sebesar 1wt%, 3wt%, 5wt% terhadap uji tarik ?.
3. Mengetahui pengaruh variasi penambahan fraksi berat nano alumina (Al_2O_3) pada komposit Al/Serat Kawat Baja + Al_2O_3 sebesar 1wt%, 3wt%, 5wt% terhadap uji densitas porositas ?

4. Mengetahui pengaruh variasi penambahan fraksi berat nano alumina (Al_2O_3) pada komposit Al/Serat Kawat Baja + Al_2O_3 sebesar 1wt%, 3wt%, 5wt% terhadap pengamatan struktur mikro ?.
5. Mengetahui pengaruh variasi penambahan fraksi berat nano alumina (Al_2O_3) pada komposit Al/Serat Kawat Baja + Al_2O_3 sebesar 1wt%, 3wt%, 5wt% terhadap pengujian dengan *Scanning Electron Microscopy* ?.

1.4 Manfaat

Manfaat dari penelitian yang dilakukan adalah :

Pembuatan *Metal Matrix Composite* (MMC) dengan penambahan penguat kawat baja serta nano alumina dapat diaplikasikan pada material otomotif yang memerlukan material dengan kekuatan tarik serta kekerasan yang tinggi. Kawat baja karbon sedang membuat kekuatan tarik menjadi meningkat dan nano alumina meningkatkan nilai kekerasan dari komposit. Penelitian ini dilakukan dengan manfaat untuk mendapatkan komposit baru untuk aplikasi material dengan kekerasan dan kekuatan yang tinggi sebagai pengganti bahan besi terutama dalam aplikasi otomotif mengingat keuntungan dari matriks yang ringan.

1.5 Ruang Lingkup dan Batasan Masalah Penelitian

Penelitian ini terdapat beberapa batasan masalah, yaitu :

1. Variasi penambahan nano alumina sebesar 1wt%, 3wt%, 5wt%.
2. Matrik yang digunakan adalah aluminium
3. Penambahan unsur Mg sebesar 5wt% sebagai *wetting agent*.
4. Pembuatan menggunakan metode *Stir Casting*.
5. Serat Kawat baja yang digunakan dengan diameter 0,4 mm.
6. Temperatur ruangan diasumsikan 25°C.
7. Tidak memperhatikan kecepatan penuangan.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

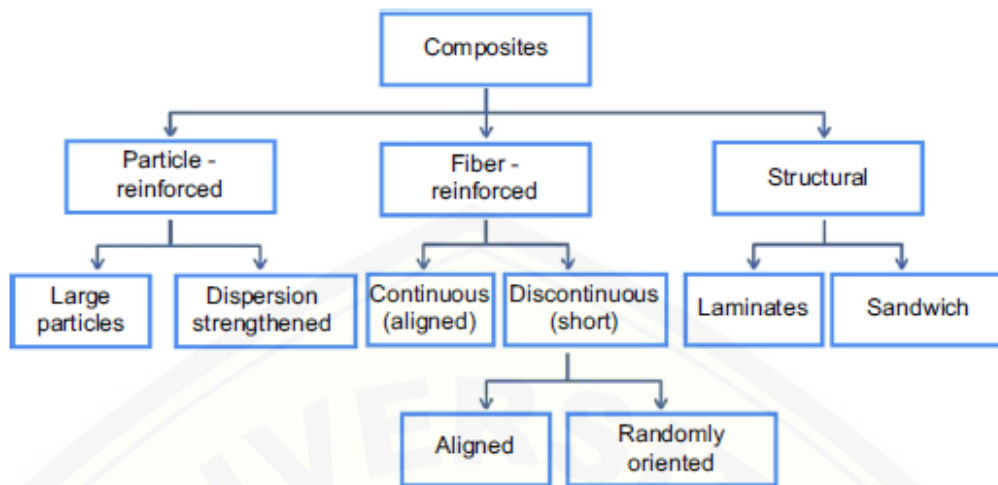
2.1 Komposit

Komposit dalam bahasa material adalah gabungan makroskopis antara dua material menjadi material ketiga yang berguna. Komposit merupakan material rekayasa yang terbuat dari dua material atau lebih yang berbeda sifatnya kemudian digabungkan bersama-sama untuk menciptakan sebuah bahan unggul dan unik. Kombinasi dari kedua material tersebut dapat diperoleh suatu material yang saling menutupi kelemahan dari masing-masing material yang digabung (Kandal, 2017).

Keuntungan dari material komposit jika dirancang dengan baik, akan menunjukkan material ketiga dengan kualitas sifat yang lebih baik dari komponen yang digabung. Beberapa sifat yang dapat ditingkatkan dengan membentuk komposit adalah kekuatan, tahan korosi, berat yang ringan, kekakuan, keuletan dan konduktivitas thermal. (Jones, 1998).

Komposit terdiri dari dua bahan yang digabungkan yaitu matrik dan *reinforced* (penguat). Kegunaan matrik berfungsi sebagai pengikat dan mempertahankan posisi dari serat. Selain posisi serat yang dipertahankan, matriks berguna untuk mendistribusikan secara merata beban yang diterima oleh komposit kepada penguat. Penambahan penguat pada komposit bertujuan untuk memberikan kekuatan dan kekakuan yang diinginkan dalam pembuatan komposit. Sifat dari komposit tersebut dipengaruhi oleh material matrik, interaksi antara material dan bentuk dari material. (Verma, 2019)

Komposit dibagi menjadi beberapa jenis berdasarkan material yang digunakan pada pembuatan komposit. Jenis dari komposit tersebut adalah Metal Matrix Composite (MMC), Ceramics Matrix Composite (CMC), Polymer Matrix Composite (PMC),. Berdasarkan Gambar 2.1 komposit dapat dibagi berdasarkan penguatnya.

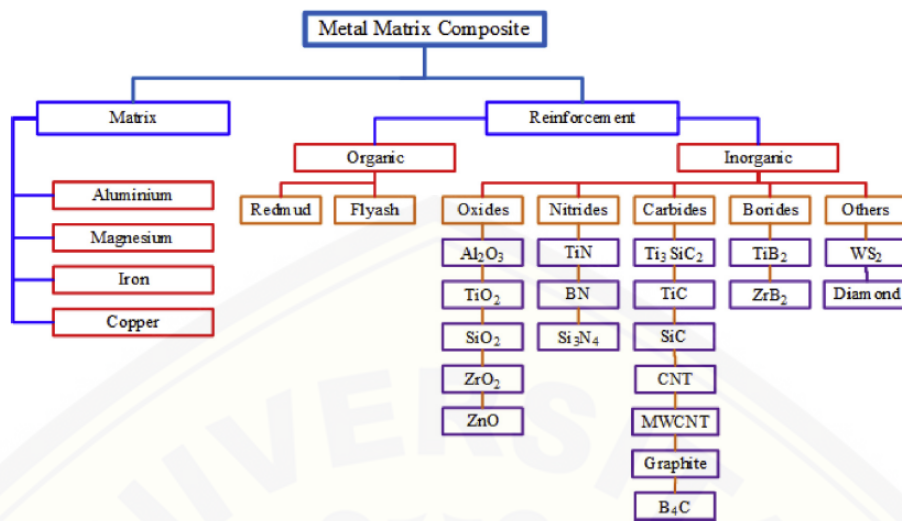


Gambar 2.1 Klasifikasi Komposit Berdasarkan Penguat (Sumber : Abramovich, 2017)

2.2 MMC

Metal Matrix Composites (MMC) merupakan gabungan dari dua atau lebih bahan (serta salah satunya adalah logam sebagai matriksnya) di mana sifat-sifat khusus dicapai dengan kombinasi yang berbeda. MMC terdiri dari bahan dasar logam yang disebut matriks, yang diperkuat dengan keramik yang disebut sebagai penguat(Srivastava, 2014).

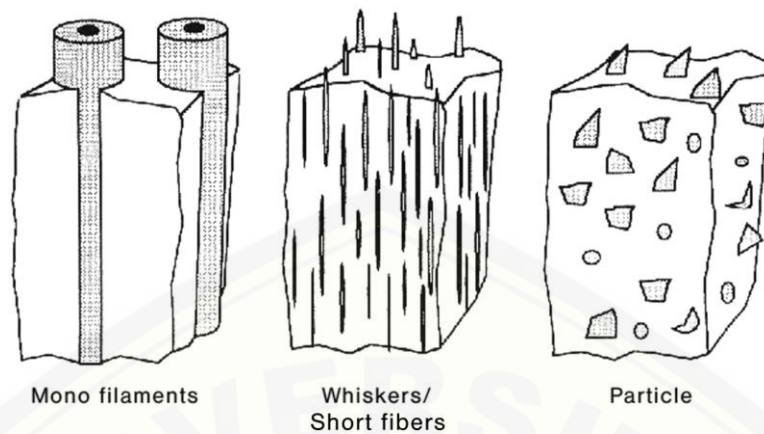
Antarmuka matriks dan penguat memainkan peran penting dalam penentuan sifat-sifat MMC. Keuntungan dari komposit partikel-diperkuat atas orang lain adalah sifat mampu bentuk mereka dengan keunggulan biaya. Selanjutnya, mereka memiliki panas yang melekat dan memakai sifat tahan . Sejumlah besar teknik fabrikasi yang saat ini digunakan untuk memproduksi bahan MMC. Dalam bahan teknik, MMC dapat diproduksi dengan teknik unik seperti pengecoran karena murah dan mengusulkan banyak pilihan lain untuk bahan dan kondisi pengolahan. (Nagaral,2016). Gambar 2.2 dibawah ini menunjukkan variasi matrik dan penguat yang dapat digunakan dalam memproduksi *Metal Matrix Composite* (MMC).



Gambar 2.2 Jenis Matriks dan Penguat MMC (Arunachalam. 2019)

Secara penggunaan komersial material aluminium menduduki tempat ketiga di antara bahan rekayasa lainnya seperti besi cor dan baja. Aluminium komposit matriks telah menarik perhatian besar karena modulus spesifik yang tinggi mereka, kekuatan spesifik dan stabilitas dimensi yang sangat baik. Aluminium (Al) komposit matriks logam hari ini (MMC) dianggap bahan yang paling potensial untuk aplikasi struktural dan fungsional. material komposit dengan matriks aluminium yang digunakan dalam pertahanan, dirgantara, otomotif dan penerbangan, bidang manajemen termal. sifat menguntungkan dengan harga berkurang telah diperbesar aplikasi mereka. Untuk mendapatkan sifat fisik dan mekanik yang diinginkan seperti kekerasan tinggi, kekuatan tinggi, kekakuan tinggi, aus yang tinggi, abrasi dan ketahanan korosi Al diperkuat dengan logam yang berbeda, non-logam dan elemen keramik. (Verma, 2019).

Logam ringan yang dimodifikasi dengan menambahkan penguat kedalamnya, membuat logam menjadi kuat dengan rasio bobot yang ringan. Hal tersebut menjadikan material tersebut menjadi prioritas dalam kebutuhan bidang otomotif akan material yang ringan dan kuat. MMC diklasifikasikan berdasarkan tipe penguatnya. Gambar 2.3 merupakan contoh tipe partikel pada MMC.



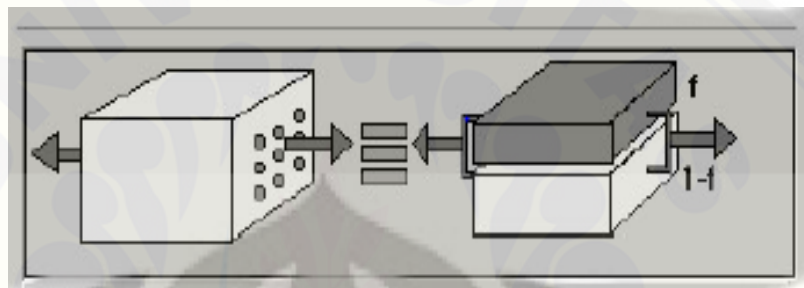
Gambar 2.3 Tipe Penguat MMC (Kainer, 2006)

MMC banyak diaplikasikan pada bidang otomotif. Contoh aplikasi MMC pada bidang otomotif adalah bagian mobil. Bagian mobil yang menggunakan MMC yaitu *Engine pistons, Engine cylinders, Engine connection rod, Engine piston,s Brake system,s Engine pushrod,s Cardan shaft*. MMC dikembangkan dengan menambahkan lebih dari satu jenis penguat yang dinamakan komposit hibrid. Tujuannya adalah meningkatkan kekuatan berdasarkan berat yang ringan.

Hybrid Metal Matrix Composites (HMMC) merupakan salah satu material yang dikembangkan dari MMC. Keunggulan dari komposit ini adalah memiliki sifat ringan, kekuatan spesifik tinggi, ketahanan aus yang baik, dan koefisien ekspansi termal rendah. Bahan komposit ini banyak digunakan dalam industri struktural, luar angkasa dan otomotif. HMMC terdiri dari bahan dasar logam yang disebut matriks, yang diperkuat dengan keramik keras atau tulangan lunak. MMC hibrida diperoleh dengan memperkuat paduan matriks dengan lebih dari satu jenis penguat yang berbeda (Srivastava, 2014). Sifat dari HMMC tergantung pada sifat dari individu penguat yang digunakan dan matriksnya. Penguat yang digunakan untuk mengembangkan HMMC tersebut adalah grafit, silikon karbida, titanium karbida, tungsten, boron dan Al_2O_3 .

Komposit jenis ini menggunakan penguatnya berupa fiber. Komposit dengan penguat fiber digunakan untuk komponen yang memntingkan kekuatan

tarik yang baik. Fiber merupakan pusat utama yang penting bagi kekuatan tarik suatu komposit. Kekuatan tariknya akan lebih baik apabila beban yang diberikan searah dengan fiber jika dibandingkan arahnya tegak lurus dengan fiber. Hal itu dikarenakan matriks dan penguat saling berikatan, maka baik matriks dan penguat akan mengalami beban tarik dengan arah yang sama jika diberi beban tarik searah dengan penguat. Kawat baja karbon memiliki kekuatan yang besar sehingga kawat akan menerima beban yang lebih besar dibanding matriks. Mekanis pemberian beban tarik dengan searah fiber pada komposit dapat dilihat pada gambar 2.4 dibawah ini.



Gambar 2.4 Skematis Pemberian Beban Tarik Komposit (Sutrisno, 2010)

2.3 Aluminium

Sir Humphrey Davy pada tahun 1809 menemukan aluminium sebagai unsur. Tahun 1886, Paul Heroult memproduksi aluminium dengan cara elektrolisis dari garmnya. Kandungan aluminium berupa oksida yang stabil sehingga tidak dapat direduksi seperti logam lainnya Tahun 1983-1993 produksi aluminium diseluruh dunia meningkat sebesar 21%.Unsur aluminium merupakan logam ketiga yang melimpah di permukaan bumi. Kandungan aluminium di permukaan bumi sekitar 8%. Aluminium dalam keadaan cair didapat dari proses elektrolisis. Aluminium kadar kemurniannya sekitar 99,85% dan sisanya adalah unsur lain. (Suherman, 1987)

Sifat dari aluminium yaitu ringan, tahan korosi, penghantar panas yang baik jika dibandingkan besi dan baja. Massa jenis aluminium hanya $2,7 \text{ g/cm}^3$ membuat bobotnya menjadi ringan. Sifat tahan korosi aluminium didapat dari

lapisan permukaan yang bereaksi dengan oksigen membentuk lapisan tipis oksida. Lapisan tersebut menempel pada permukaan aluminium sehingga melindungi bagian dalamnya. Struktur kristal dari aluminium adalah FCC (*Face Center Cubic*) yang membuat aluminium cenderung bersifat ulet. Aluminium berperan sebagai matrik pada aplikasi komposit. Matrik pada komposit harus material dengan keuletan yang tinggi karena sebagai peredam beban dari penguat. Aluminium banyak diaplikasikan dalam dunia industri dan otomotif, karena sifatnya yang mudah di fabrikasi serta dipadukan dengan logam lain. Aluminium dijadikan matrik dari MMC karena kekuatan yang tinggi dengan rasio berat yang rendah (Suherman,1987).

Kekuatan dan kekerasan aluminium menjadi kelemahan dari aluminium jika dibandingkan baja dan besi. Penambahan unsur lain sebagai penguat pada teknologi komposit sangat diperlukan untuk menaikkan nilai kekuatan dan kekerasan dari aluminium. Sifat – sifat mekanik dan fisik dari aluminium dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 2.1 Sifat fisik dan mekanik aluminium (Samuel,2012)

Sifat Fisik	Nilai	Satuan
Massa Jenis	2,7	g/cm ³
Nomor Atom	13	-
Berat Atom	26,67	g/mol
Warna	Putih keperakan	-
Struktur Kristal	FCC	-
Titik Lebur	660,4	°C
Titik Didih	2467	°C
Jari-Jari Atom	0,143	nm
Jari-Jari Ionik	0,053	nm
Nomor Valensi	3	-
Sifat Mekanik	Nilai	Satuan
Modulus Elastisitas	72	Gpa
Poisson's Ratio	0,35	-
Kekerasan	3500	VHN
Kekuatan Luluh	450	Mpa
Ketangguhan	4,5	Mpa m

2.3.1 Paduan Aluminium

Kekuatan aluminium dalam keadaan murni sangat rendah. Sehingga perlu paduan unsur lain untuk memperbaiki sifat dari aluminium. Unsur yang sering

digunakan pada paduan aluminium adalah mangan (Mn), Silikon (Si), Magnesium (Mg), Seng (Zn), Tembaga (Cu), dan Nikel (Ni). Paduan aluminium dapat digolongkan menjadi dua yaitu *Aluminium wrought alloy* dan *Aluminium casting alloy*. Aluminium diklasifikasikan menurut komposisi kimianya. Komposisi paduan aluminium dapat dilihat pada tabel 2.2

Tabel 2.2 Komposisi Aluminium

Seri aluminium	Komposisi
1xxx	Al (99%)
2xxx	Al-Cu
3xxx	Al-Mn
4xxx	Al-Si
5xxx	Al-Mg
6xxx	Al-Si-Mg
7xxx	Al-Zn
8xxx	Unsur lain

a. Seri 1xxx

Seri aluminium 1xxx mengandung 99% atau lebih kadar aluminium. Digit keempat dan ketiga dari seri 1xxx menunjukkan kadar kemurnian aluminium dalam bentuk angka desimal. Jadi paduan 1060 adalah aluminium dengan tingkat kemurniannya mencapai 99,6% Al. Tetapi pada seri yang lain digit ketiga dan keempat tidak begitu pengaruh.

b. Seri 2xxx

Aluminium seri 2xxx dengan paduan Cu sebagai unsur tambahan yang utama. Kadar Cu dalam seri ini berkisar dari 2,5 – 5% Cu. Dari seri ini yang paling terkenal adalah seri 2017. Perlakuan panas pada aluminium

seri 2xxx dapat meningkatkan sifat mekanik dari aluminium supaya optimal. Aplikasi dari aluminium seri 2xxx pada sparepart yang membutuhkan kekuatan yang tinggi dan berat yang ringan.

c. Seri 3xxx

Aluminium seri 3xxx dengan unsur paduan Mn sebagai tambahan yang utama. Kandungan Mn pada seri ini sekitar 1,2% Mn. Seri ini memiliki sifat yang mudah dibentuk dan tahan korosi. Aplikasi dari aluminium seri 3xx untuk alat dapur.

d. Seri 4xxx

Seri 4xxx mengandung silikon (Si) sebagai unsur paduan utama. Kadar silikon (Si) yang digunakan dalam seri ini adalah 12,5%. Paduan seri ini tidak dapat diberi perlakuan panas. Aplikasi dari paduan seri ini adalah sebagai piston yang dibuat dengan tempa. Karena koefisien thermalnya yang rendah serta tingkat keausan yang tinggi.

e. Seri 5xxx

Paduan aluminium seri 5xxx yang utama adalah unsur magnesium (Mg). Kadar magnesium dalam paduan ini adalah dibawah 5% (<5%). Paduan seri ini tidak dapat dilakukan perlakuan panas. Paduan ini memiliki sifat mampu las serta tahan korosi yang baik. Aplikasi paduan ini tergantung pada paduannya. Misal paduan 5005 dengan kadar Mg sebesar 1,2% digunakan pada saluran minyak.

f. Seri 6xxx

Magnesium dan silikon merupakan unsur yang terkandung pada paduan aluminium seri 6xxx. Kedua unsur tersebut akan membentuk senyawa magnesium silida (Mg_2Si). Senyawa tersebut memberikan kekuatan yang tinggi pada paduan seri ini. Paduan yang sering digunakan dengan seri 6061, 6053, dan 6063. Perlakuan panas pada paduan ini dapat memberikan efek yang signifikan pada sifat mekanik.

g. Seri 7xxx

Aluminium dengan seri 7xxx unsur paduan utamanya adalah Zn. Kadar Zn pada aluminium seri 7xxx berkisar antar 1-8%. Penambahan magnesium

dan perlakuan panas pada seri ini dapat menjadikannya memiliki kekuatan yang tinggi.

2.4 Partikel Al_2O_3

Metal Matrix Composite (MMC) yang diperkuat oleh partikel keramik mengalami peningkatan dalam sifat mekanik dari komposit. Partikel keramik yang banyak digunakan sebagai penguat atau *reinforce* dari komposit matrik logam adalah aluminium oksida (Al_2O_3). Peningkatan penambahan aluminium oksida pada MMC akan meningkatkan kekuatan dari komposit serta di ikuti penurunan berat dari komposit. Aluminium oksida (Al_2O_3) digunakan sebagai penguat komposit karena memiliki sifat kekuatan tinggi, kekakuan tinggi, konduktivitas thermal yang baik, dan ketahanan aus yang baik pula. Aplikasi dari komposit matriks logam yang diperkuat oleh aluminium oksida (Al_2O_3) untuk material yang membutuhkan kekuatan tinggi dengan berat yang rendah (Kandpal,2016). Hal tersebut dikarenakan distribusi yang baik dari aluminium oksida (Al_2O_3) pada saat pembuatan komposit. Serbuk aluminium oksida dapat dilihat pada gambar 2.5 dibawah ini.



Gambar 2.5 serbuk aluminium oksida (Mallika,S.2016)

Kenaikan sifat mekanik dari MMC karena adanya mekanisme transfer beban dari matrik aluminium yang ulet menuju penguat yang keras dan kaku. Penggunaan aluminium oksida (Al_2O_3) sebagai penguat pada komposit yang

matriksnya aluminium terlalu banyak dapat menurunkan nilai kekerasan dari komposit matrik logam. Hal itu dikarenakan perbedaan massa jenis dari matrik dan penguat. Perbedaan itu mengakibatkan massa jenis yang lebih besar tertinggal di dalam krusibel. (Hashim, 1999).

Penguatan logam dapat dilakukan dengan mereduksi ukuran partikel dari penguat. Penguat yang ukuran butirnya lebih kecil dari matrik dapat terdistribusi secara merata dan memiliki luas lapisan yang banyak dengan menghambat pergerakan dislokasi. Hal itu dapat dilakukan dengan penambahan partikel penguat dengan ukuran nano.

Nano- Al_2O_3 dapat diproduksi menggunakan salah satu mesin yaitu *ballmill*. Penambahan penguat Al_2O_3 berukuran nano dapat mengurangi pengelompokan partikel dalam matrik. Penggunaan metode aduk cair dalam proses produksi menjadi faktor yang penting dalam pendistribusi penguat secara merata. Sehingga kekuatan mekanik dari komposit yang diperkuat akan mengalami kenaikan karena adanya interksi matrik dengan penguat keramik.

Penguatan komposit dengan partikel nano- Al_2O_3 terjadi dimana proses pembuatan komposit dengan pencampuran partikel nano kepada matrik yang bersifat ulet. Akibatnya partikel nano- Al_2O_3 memicu gerakan dislokasi dan menghambat gerakannya. Akibat terjadinya dislokasi yang banyak akan meningkatkan kekerasan dan kekuatan dari matriksnya itu sendiri. Ukuran nano lebih menguntungkan untuk penguat, karena interaksi dengan matriksnya lebih seragam daripada ukuran mikro yang cenderung menjauhi batas butir untuk membentuk butiran halus. Sehingga semakin kecil ukuran dari suatu partikel semakin tinggi pula kenaikan kekuatan dari suatu komposit matrik logam (Mazahery, 2011).

2.5 Serat Kawat Baja Karbon Sedang

Penambahan kawat baja pada proses pembuatan MMC dengan matrik aluminium dapat meningkatkan kekuatan tarik dari komposit. Peneliti R.B. Bhagat pada tahun 1988 bereksperimen tentang penambahan kawat stainless steel

pada komposit aluminium menggunakan metode squeeze casting. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan kawat stainless steel yang berperan sebagai penguat dari komposit secara signifikan dapat meningkatkan kekuatan tarik dari komposit. Kekuatan tarik komposit meningkat bersamaan dengan meningkatnya volume kawat stainless steel.

Kawat stainless steel yang ditambahkan dan dilakukan pengujian tarik pada komposit aluminium yang dibuat dengan proses squeeze casting. Menghasilkan sifat mekanik yang lebih baik atas aluminium saja. Hal itu dikarenakan interaksi antar muka penguat dengan matrik. Karena adanya pembasah maka ikatan penguat dan matriksnya semakin kuat. Selain itu lapisan coating pada kawat dapat mempengaruhi dari ikatan antarmuka

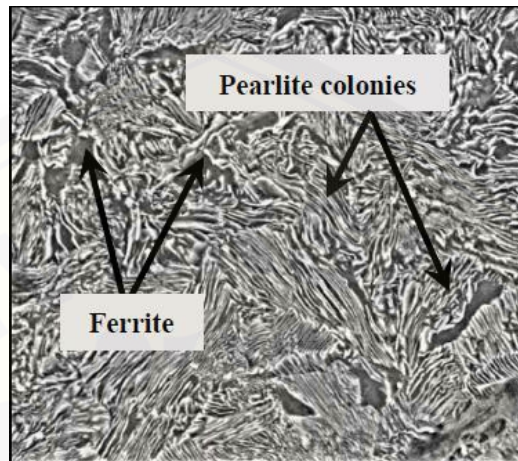
Jenis kawat baja dengan kandungan karbon sekitar 0,2-0,6% merupakan kawat baja karbon sedang. Struktur mikro dari kawat baja karbon sedang adalah *ferrite-carbide* dengan ferrite yang rendah. Kawat baja menengah banyak digunakan pada pembuatan mur dan baut. (Joo,2014). Kawat baja karbon menengah dapat diproduksi dari baja karbon menengah dengan metode *Wire drawing*. Kawat baja karbon menengah didalamnya mengandung beberapa unsur. Tabel berikut ini dapat menampilkan unsur yang terkandung. (Nebbar,2019).

Tabel 2.3 Komposisi kimia dari baja karbon menengah (%)

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu
0.675	0.649	0.18	0.008	0.017	0.051	0.036	0.048

Penjelasan kawat baja karbon sedang yang berasal dari baja karbon rendah menggunakan metode *wire drawing* memiliki struktur mikro perlit dan sementit. Kawat baja karbon menengah memiliki kekuatan tarik sebesar 1646,5 Mpa dengan metode produksi *wire drawing*. Kekuatan tarik dari kawat baja karbon menengah mengalami kenaikan akibat proses produksi. Hal itu dikarenakan

pergerakan dislokasi logam dalam struktur baja berupa perlit. Setelah dilakukan proses drawing perlit mengalami pengelompokan menjadi koloni pearlit (Nebbar,2019).



Gambar 2.6 Struktur Mikro Kawat Baja Karbon Menengah (Nebbar,2019).

2.6 Magnesium

Salah satu masalah dalam pembuatan komposit logam dengan metode *stir casting* adalah *wettability*. *Wettability* atau kemampubasahan merupakan kemampuan suatu material cair untuk menyebar pada permukaan padat. Magnesium ditambahkan dalam pembuatan komposit bertujuan sebagai *wetting agent*. Penambahan magnesium dapat mengurangi tegangan permukaan serta sudut kontak antara aluminium cair dengan alumina dengan membentuk lapisan transisi (Hashim, 1998). Lapisan transisi tersebut membuat sudut kontak antara matrik dan penguat menjadi rendah. Sehingga penambahan magnesium dapat mempermudah terjadinya pembasahan dan meningkatkan daya lekat antar matriks dan penguat. Secara umum data sifat-sifat magnesium dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 2.4 Sifat-Sifat Magnesium(Samuel, Y 2012)

Sifat	Nilai	Satuan
Massa Jenis	1,74	g/cm ³
Berat Atom	24,305	g/mol
Titik Lebur	650	°C
Titik Didih	1090	°C
Kekuatan Luluh	45	Mpa
Kekerasan	260	BHN
Konduktivitas Thermal	35	W/m ^{°K}

Peningkatan kadar magnesium yang ditambahkan pada komposit logam aluminium berpenguat keramik akan menghasilkan kekerasan dan kekuatan pada komposit aluminium. Peningkatan sifat mekanik dikarenakan suhu dari aluminium meningkat yang mengakibatkan terbentuknya fase oksida yang disebut MgO pada permukaan logam aluminium. Mg dapat mendispersikan dari fasa keramik secara merata pada matrik dan mencegah pertumbuhan butir. (Junus, 2015). Magnesium ditambahkan dalam pembuatan komposit logam dengan penguat keramik karena memiliki reaktifitas yang tinggi dan energi bebas yang kecil untuk terjadi oksidasi yang lebih lanjut. Permasalahan pembasahan pada logam cair tersebut disebabkan dua hal yaitu sifat kimia permukaan dan tegangan permukaan. Sifat kimia permukaan partikel meliputi kontaminasi maupun oksidasi. Namun partikel penguat sulit untuk dibasahi oleh logam cair. Ada beberapa cara yang bisa digunakan untuk meningkatkan *wettability* partikel, yaitu dengan penambahan elemen pengaktif permukaan ke dalam matriks, semisal unsur magnesium Mg, pelapisan atau oksidasi partikel keramik, pembersihan partikel, dan perlakuan pre-heat pada partikel. Penelitian yang dilakukan sebelumnya dihasilkan bahwa penambahan magnesium pada kisaran 5-8% dapat

menaikkan nilai kekerasan secara optimum sekitar 1221 VHN. Tetapi setelah melewati 8% atau penambahan magnesium sekitar 12%, nilai kekerasan mengalami penurunan. Hal itu disebabkan reaksi antarmuka dari leburan aluminium dengan Al_2O_3 . Karena semakin banyak penambahan Magnesium semakin banyak juga terbentuknya spinel $MgAl_2O_4$. Sehingga pertumbuhan matrik yang didahului dengan pembentukan spinel tidak akan mampu menutup jarak antar partikel dan membentuk cacat *void*. Porositas dapat terjadi akibat daerah keramik tidak terinfiltrasi (Sahari, 2009).

2.7 Pengecoran

Pengecoran (*casting*) merupakan proses di mana logam cair mengalir dengan memanfaatkan gravitasi atau gaya lain ke dalam cetakan di mana logam cair membeku dalam bentuk rongga cetakan sehingga hasilnya sesuai dengan bentuk cetakan. pengecoran digunakan sejak 6000 tahun yang lalu. Prinsip dari pengecoran (*casting*) terlihat sederhana, yaitu tahapan pertama dengan melelehkan logam padat menjadi cair, kemudian logam yang mencair dituangkan ke cetakan, setelah memenuhi cetakan logam cair ditunggu sampai menjadi padat. Terdapat beberapa faktor dan variabel yang diperhatikan untuk mencapai operasi pengecoran yang sukses (Groover, 2010)

Pengecoran (*casting*) meliputi pengecoran ingot dan pengecoran bentuk. Pengecoran ingot identik dengan proses pengecoran dengan skala yang industri logam primer. Pengecoran ingot menggambarkan pengecoran dengan jumlah besar dalam bentuk sederhana. Pengecoran bentuk melibatkan geometri bentuk yang lebih kompleks. Metode pengecoran telah berbeda dan tersedia, sehingga menjadi proses manufaktur yang banyak digunakan karena kelebihanannya. Kelebihan dari metode pengecoran adalah :

- a. Pengecoran dapat digunakan untuk membuat geometri bentuk yang kompleks.
- b. Terdapat beberapa pengecoran yang mampu menghasilkan bagian tanpa adanya proses manufaktur lanjut untuk hasil yang detail dan akurat.

- c. Pengecoran dapat digunakan untuk pengecoran dengan bobot lebih dari 100 ton.
- d. Proses pengecoran dapat dilakukan pada logam apa saja yang dapat dipanaskan dan berubah menjadi bentuk cair.
- e. Terdapat beberapa metode pengecoran yang sesuai untuk produksi secara massal.

Terdapat beberapa kekurangan yang dimiliki dalam proses pengecoran. Kekurangan dalam proses pengecoran berbeda antara metode satu sama lainnya. Kekurangan proses pengecoran antara lain keterbatasan sifat mekanik, akurasi dimensi dan hasil akhir permukaan yang buruk untuk beberapa proses pengecoran, bahaya keamanan manusia pada saat proses pengecoran, serta masalah lingkungan (Groover, 2010).

2.7.1 Jenis Metode Pengecoran

Dalam perkembangannya proses pengecoran terdapat berbagai jenis metode yang digunakan, antara lain :

- a. *Stir Casting*

Stir Casting merupakan suatu metode pengecoran logam dengan melelehkan logam padat. Proses pertama dari metode *stir casting* dimana logam dalam bentuk padat dilelehkan didalam tungku sampai menjadi cair. Kemudian diaduk secara terus menerus hingga menciptakan pusaran dalam waktu yang diinginkan. Setelah membentuk pusaran, penguat yang digunakan segera dimasukkan. Partikel penguat yang ditambahkan dalam logam cair biasanya berupa serbuk. Partikel akan melalui proses degasing sebelum ditambahkan dalam logam cair pada tungku.

Metode *Stir Casting* cocok untuk diterapkan dalam pembuatan *Metal Matrix Composite* (MMC). Kelebihan dari metode ini adalah murah, sederhana, serta dapat mentransfer partikel dari permukaan ke dalam cairan. Tetapi porositas menjadi masalah utama dalam pembuatan MMC

menggunakan metode *Stir Casting*. Sehingga terdapat beberapa faktor yang harus diperhatikan dalam penggunaan metode ini, diantaranya :

1. Distribusi dari penguat
2. Wettability antara dua zat utama
3. Porositas matriks komposit logam
4. Reaksi kimia antara bahan penguat dan matriks paduan.

Gambar 2.7 dibawah dapat menjelaskan dari dapur pengecoran dengan metode *stir casting*.



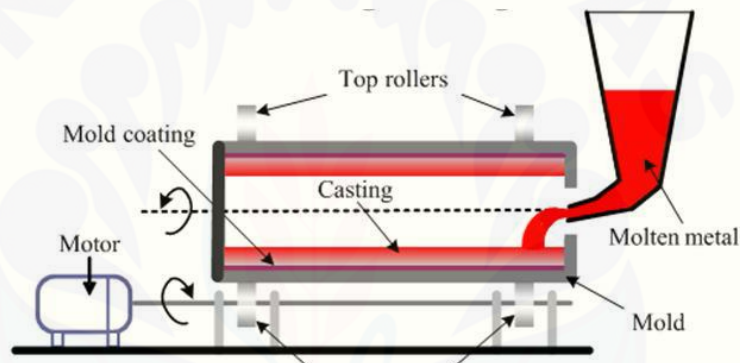
Gambar 2.7 Dapur *Stir Casting* (Kandpal, 2017)

Proses pembuatan komposit menggunakan dengan metode *Stir Casting* yang mempengaruhi hasil dari coran adalah penuangan. Karena penuangan menentkan keberhasilan dari pembentukan benda kerja. Oleh karena itu dalam pelaksanaanya harus dilakukan secara hati-hati terutama dalam memperlakukan cetakan.

b. *Centrifugal Casting*

Proses pengecoran menggunakan metode sentrifugal dilakukan menggunakan cetakan logam yang hasilnya silinder. Cara pengecoran menggunakan metode ini adalah memanfaatkan putaran yang tinggi dari

cetakan. Cetakan yang diputar mengakibatkan logam cair terlempar keluar dari posisi penuangan. Prinsip utama dari proses pengecoran ini adalah menuangkan logam cair pada cetakan yang berputar. Jadi walaupun sebenarnya centrifugal casting memiliki keunggulan seperti hasil penuangan yang padat, permukaan tuangan yang halus serta dapat membentuk dinding tuangan pada ukuran yang tipis, namun hal ini akan bergantung pula pada kemungkinan pengecoran yang paling baik yang dapat dilakukan untuk menghasilkan benda cor yang memuaskan menurut bentuk yang dikehendaki. Gambar dibawah ini akan menunjukkan salah satu jenis metode pengecoran horisontal centrifugal (Bintoro, 2013)



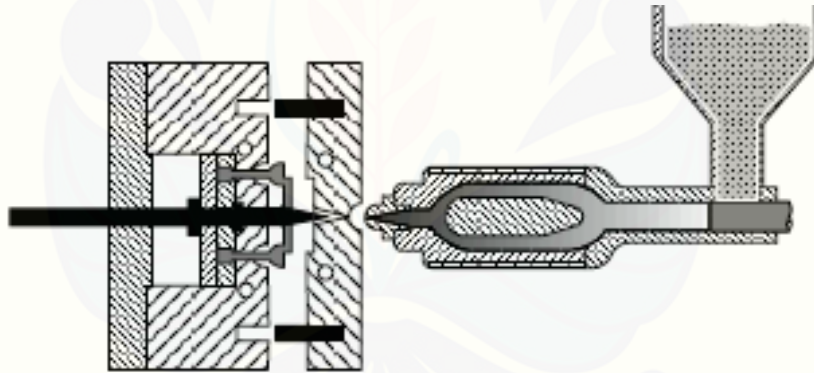
Gambar 2.8 *Horizontal Centrifugal Casting* (www.substech.com)

c. *Gravitasi Casting*

Metode pengecoran yang sederhana dan sering digunakan adalah gravitasi *casting*. Metode ini memanfaatkan gaya gravitasi pada saat proses pengecoran. Tetapi metode ini memiliki banyak kekurangan pada hasil coran, yaitu : porositas yang tinggi, keropos, sukar membentuk apabila bentuknya rumit. Tetapi metode pengecoran menggunakan gaya gravitasi ini dapat menghemat biaya dan hasil struktur mikro yang halus (Surdia, 1998).

d. *Die Casting*

Die casting merupakan salah satu proses pengecoran dengan memaksakan logam cair masuk dalam cetakan (*die*) yang berasal dari logam. Salah satu metode dari die casting adalah *High Pressure Die casting (HPDC)*. Metode tersebut merupakan jenis pengecoran dengan proses pengecoran dilakukan pada mesin penekan yang akan menekan logam cair kedalam cetakan, mesin ini juga dilengkapi dengan bagian yang dapat membuka dan menutup cetakan untuk memudahkan dalam melepaskan hasil cetakan dari benda tuangan. proses ini hanya cocok digunakan pada proses pengecoran benda-benda yang berukuran kecil dimana ukuran kapasitas mesin yang biasanya terbatas serta tidak dapat dilakukan pada semua jenis bahan logam tuangan. Gambar dibawah ini merupakan gambaran dari mesin *High Pressure Die casting (HPDC)*.



Gambar 2.9 Mesin *High Pressure Die casting (HPDC)*. (Sudjana, 2008)

Mekanisme dari mesin ini untuk menghasilkan suatu produk coran adalah dengan langkah awal pemasangan dan penyesuaian kedudukan die pada mesin injeksi kemudian tahap kedua yaitu penyetelan posisi dari kedua bagian dies yang biasanya dalam pembentukan bagian luar dari dies diberi tanda penyesuai antara keduanya. Langkah ketiga adalah proses Injeksi yakni memasukkan bahan tuangan (logam cair) ke dalam rongga cetakan. Kemudian tekanan dihentikan jika lubang-lubang saluran

dibelakang telah terisi melepaskan tekanan dengan menggeser bagian cetakan dan tahap akhir adalah benda tuangan dapat dikeluarkan.

e. *Squeeze Casting*

Squeeze Casting merupakan proses pengecoran dimana logam cair didinginkan di dalam cetakan tertutup sambil diberi tekanan luar yang biasanya berasal dari tenaga hidrolik. Tekanan yang diberikan serta kontak langsung antara logam cair dengan dinding cetakan akan menyebabkan terjadi perpindahan panas secara cepat. Keunggulan dari proses pengecoran metode *Squeeze Casting* adalah menghasilkan produk cor dengan porositas rendah, tingkat penyusutan yang rendah serta memiliki ukuran butir yang halus dengan sifat mekanik yang mendekati produk tempa umumnya karena terjadi perpindahan panas yang cepat saat tekanan diberikan. Pengecoran *Squeeze Casting* dapat digunakan untuk mencetak hasil coran dari bahan baku paduan aluminium dan magnesium yang sering digunakan. Bidang otomotif yang sering menggunakan metode ini adalah proses pembuatan suku cadang mobil dan sepeda motor (Groover, 2010)

2.7.2 Jenis Cetakan

Pengecoran dapat menggunakan beberapa jenis cetakan diantaranya adalah:

a. Cetakan Pasir

Pengecoran pasir adalah proses pengecoran yang paling banyak digunakan dalam proses pengecoran. Hal itu dikarenakan, metode pengecoran menggunakan cetakan pasir dapat memproduksi hasil coran dalam jumlah ton. Selain itu logam dengan titik leleh yang tinggi seperti seperti baja, nikel, dan titanium sering menggunakan cetakan pasir dalam pengecoran (Groover, 2010). Pengecoran menggunakan cetakan pasir yang dibentuk dari pasir dengan tujuan menghasilkan rongga sebagai cetakan untuk logam cair. Pembuatan cetakan dengan media pasir memerlukan pasir khusus seta kehati-hatian agar rongga yang dibuat tidak mengalami

kerusakan. Bagian-bagian yang harus ada pada cetakan pasir adalah pola, inti, gate, dan riser. Bagian tersebut merupakan komponen utama dari cetakan pasir. (Sudjana, 2008)

b. Cetakan logam

Kerugian dari penggunaan cetakan pasir adalah sekali pakai setelah pengecoran. Pengecoran dengan cetakan logam yang dibuat dari dua bagian logam yang dirancang sebagai pembuka dan penutup dalam cetakan. Bahan yang dapat digunakan untuk membuat cetakan logam adalah baja dan besi cor. Logam yang dapat di cor kemudian dicetak menggunakan cetakan logam adalah aluminium, tembaga, baja, dan magnesium. Jika baja digunakan sebagai logam yang dicetak dalam cetakan. Maka, cetakan harus terbuat dari baja yang mempunyai sifat tahan api yang baik seperti ADC 12. Keunggulan dari cetakan logam adalah penggunaannya dapat berulang kali dengan dimensi produk yang sama. Hasil dari coran yang baik dan cocok untuk produksi massal. Pembekuan hasil coran yang cepat karena struktur yang dihasilkan benda cor halus (Groover, 2010).

2.8 Karakterisasi Material

Karakterisasi suatu material komposit sangat diperlukan untuk mengetahui sifat dari komposit tersebut. Mengetahui karakterisasi material dapat dilakukan dengan beberapa pengujian. Pengujian yang dapat dilakukan antara lain yaitu pengujian tarik, pengujian kekerasan, pengujian struktur mikro dan pengujian SEM (*Scanning Electrone Microscope*).

2.8.1 Pengujian Tarik

Pengujian merupakan salah satu uji stress-strain mekanik yang bertujuan untuk mengetahui kekuatan bahan terhadap gaya tarik, dalam pengujiannya bahan uji ditarik secara terus menerus sampai putus. Pengujian ini memberikan beban gaya yang arahnya berlawanan keatas dan kebawah. Pada saat uji tarik dilakukan

spesimen akan memberikan gaya aksi untuk melawan gaya yang diberikan oleh mesin dan mengalami regangan sehingga dari hasil regangan tersebut dapat dihitung. Hasil yang diperoleh dari uji tarik penting untuk rekayasa teknik dan desain suatu produk karena mengetahui data kekuatan dari suatu material. dipengujian tarik sangat penting untuk rekayasa teknik dan desain produk karena menghasilkan data kekuatan material (Budiman, 2016). Rumus yang digunakan untuk menghitung regangan suatu material adalah :

$$\varepsilon = \frac{l_i - l_o}{l_o} = \frac{\Delta l}{l_o} \times 100 \% \dots\dots\dots (1)$$

Dimana : l_i = panjang akhir (mm)

l_o = panjang mula-mula (mm)

Δl = pertambahan Panjang (mm)

ε = regangan akibat daya tarik (%)

Rumus yang digunakan untuk menghitung tegangan suatu material adalah :

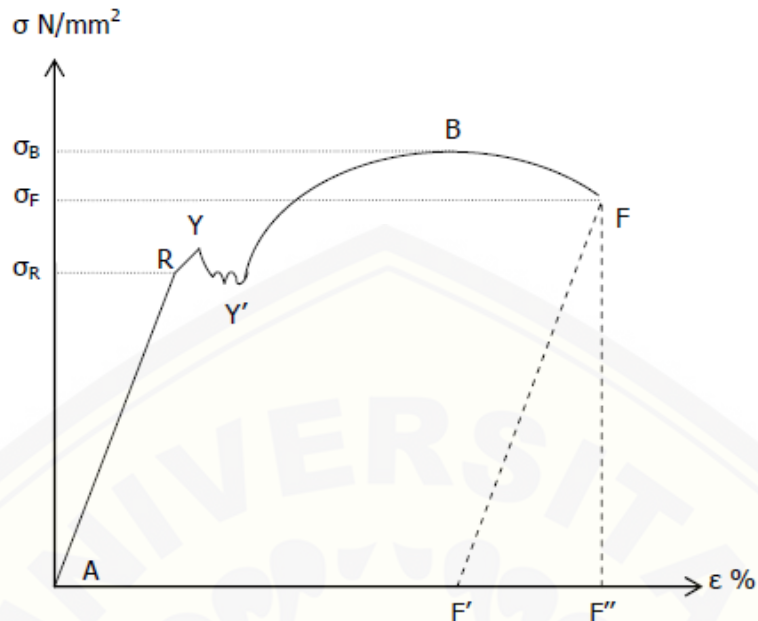
$$\sigma = \frac{F}{A_o} \dots\dots\dots (2)$$

Dimana : F = Gaya tarik (N)

A_o = luas penampang spesimen mula-mula (mm²)

σ = Tegangan Tarik (Mpa)

Dari perhitungan rumus diatas dihasilkan kurva uji tarik yang hubungannya dengan regangan dan tegangan. Kurva uji tarik dapat memperlihatkan beberapa sifat mekanik dari suatu logam yaitu kekuatan tarik, keuletan, dan elastisitas. Berikut gambar 2.10 menjelaskan tentang kurva uji tarik yang terjadi pada pengujian suatu spesimen.



Gambar 2.10 Kurva Uji Tarik (Budiman.2016)

Pada kurva uji tarik dijelaskan pada garis miring A sampai R pertambahan panjang spesimen dilakukan pengujian tarik sebanding dengan pertambahan beban yang diberikan oleh mesin. Daerah ini mengalami perubahan plastis pada spesimen uji. Sampai di titik Y merupakan titik luluh (*yield point*). Daerah YY' pada kurva uji tarik disebut daerah luluh. Titik B beban mencapai maksimum dan titik ini disebut tegangan tarik maksimum. Spesimen akan mengalami perubahan penampang dengan mengecil disebut daerah plastis. Setelah titik B, beban mulai turun dan spesimen uji mengalami patah.



Gambar 2.11 Spesimen Hasil Cor (Awarasang,2019)

Proses pembuatan dan pengujian spesimen uji tarik ini menggunakan standar ASTM. Pembentukan spesimen uji tarik dilakukan dengan menggunakan mesin bubut agar didapatkan dimensi sesuai dengan standar ASTM yang dipakai. Pengujian tarik dilakukan menggunakan alat uji tarik untuk mengetahui tegangan dan regangan setiap variasi penambahan nano-alumina.



Gambar 2.12 Spesimen Uji Tarik (Awarasang,2019)

2.8.2 Pengujian Kekerasan

Nilai kekerasan merupakan ketahanan suatu logam terhadap deformasi plastik atau permanen akibat penekanan dari suatu material yang lebih keras. Penekanan tersebut dapat berupa mekanisme penggoresan (*scratching*), pantulan ataupun indentasi dari material keras terhadap suatu permukaan benda uji. Berdasarkan mekanisme penekanan tersebut (Dieter, 1987). Terdapat 3 metode yang dikenal pada uji kekerasan berdasarkan mekanisme penekanannya :

a. Metode Gores

Metode ini tidak banyak lagi digunakan dalam dunia metalurgi dan material lanjut, tetapi masih sering dipakai dalam dunia mineral. Metode ini dikenalkan oleh Friedrich Mohs yang membagi kekerasan material di dunia ini berdasarkan skala (yang kemudian dikenal sebagai skala Mohs). Skala ini bervariasi dari nilai 1 untuk kekerasan yang paling rendah, sebagaimana dimiliki oleh material talk, hingga skala 10 sebagai nilai kekerasan tertinggi, sebagaimana dimiliki oleh intan. Cara ini merupakan metode yang sangat berguna untuk mengukur kekerasan relatif kandungan-

kandungan mikro, tetapi metode ini tidak memberikan ketelitian yang besar atau kemampu-ulangan yang tinggi (Adawiyah,2015).

b. Metode Pantul

Kekerasan suatu material ditentukan oleh alat Scleroscope yang mengukur tinggi pantulan suatu pemukul (hammer) dengan berat tertentu yang dijatuhkan dari suatu ketinggian terhadap permukaan benda uji. Tinggi pantulan (rebound) yang dihasilkan mewakili kekerasan benda uji. Semakin tinggi pantulan tersebut, yang ditunjukkan oleh dial pada alat pengukur, maka kekerasan benda uji dinilai semakin tinggi (Adawiyah,2015).

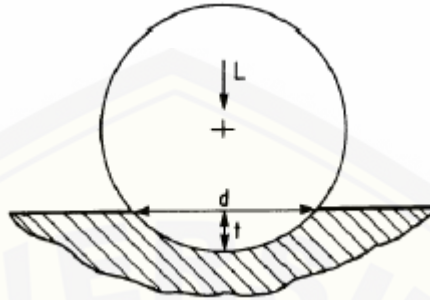
c. Metode Indentasi

Kekerasan suatu material dengan mekanisme penekanan menggunakan indenter dengan penekanan benda uji dengan indenter dengan gaya tekan dan waktu indentasi yang ditentukan. Kekerasan suatu material ditentukan oleh dalam ataupun luas area indentasi yang dihasilkan (tergantung jenis indenter dan jenis pengujian). Tipe pengelasan kekerasan material/logam ini adalah dengan mengukur tahanan plastis dari permukaan suatu material komponen konstruksi mesin dengan specimen standar terhadap “penetrator”. Adapun beberapa bentuk penetrator atau cara pengelasan ketahanan permukaan yang dikenal adalah :

1. Metode Brinell

Pengujian dengan metode brinell pertama kali dilakukan pada tahun 1900 oleh J.A Brinell. Metode ini banyak dilakukan dan telah disusun pembakuannya (Dieter, 1987). Pengujian ini bertujuan untuk menentukan kekerasan suatu material dalam bentuk daya tahan material terhadap bola baja (indenter) yang ditekankan pada permukaan material uji tersebut (*speciment*). Diameter Indenter 10 mm maka beban yang digunakan (pada mesin uji) adalah 3000 N sedang jika diameter Indentornya 5 mm maka beban yang digunakan (pada mesin uji) adalah 500 N. Pembebanan dilakukan biasanya selama 30 detik dan membentuk diameter lekukan. Permukaan lekukan harus halus dan bersih dari pengotor. Angka

kekerasan brinell dinyatakan sebagai beban (kg) dibagi luas permukaan lekukan. Pada gambar 2.13 ditunjukkan parameter yang akan dihitung dengan rumus.



Gambar 2.13 *Ball Indenter* (Yovanovich, 2006)

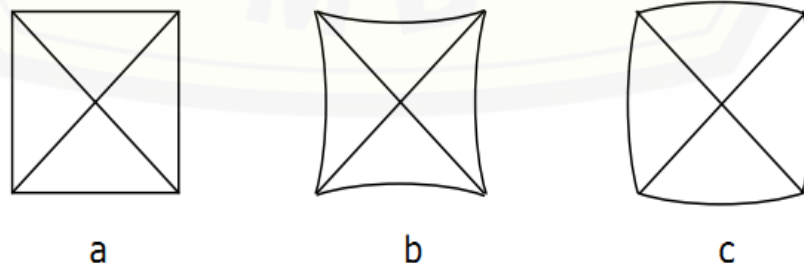
Rumus yang dapat digunakan untuk mengetahui hasilnya adalah :

$$BHN = \frac{P}{(\pi D/2)(D - \sqrt{D^2 - d^2})} = \frac{2P}{(\pi D)(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \dots \dots \dots (3)$$

Dimana , P = beban yang digunakan (kg)
 D = diameter bola baja (mm)
 d = diameter lekukan (mm)

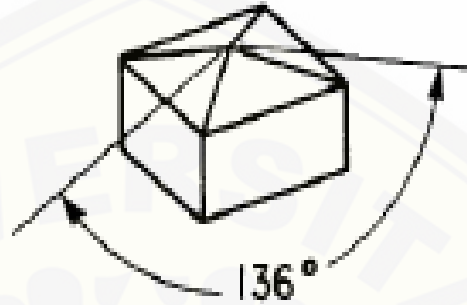
2. Metode *Vickers*

Uji kekerasan vickers menggunakan indenter piramida intan yang pada dasarnya berbentuk bujur sangkar. Besar sudut antar permukaan-permukaan piramida yang saling berhadapan adalah 136° . Terdapat beberapa tipe intan yang digunakan untuk pengujian kekerasan metode vickers, antara lain :



Gambar 2.14 Tipe piramida intan : (a) Lekukan Sempurna, (b) lekukan Jarum, (c) lekukan berbentuk tong (Dieter, 1987)

Tipe intan yang sering digunakan dalam pengujian metode vickers adalah tipe intan dengan lekukan sudut sempurna yaitu 136° . Gambar 2.15 menunjukkan besaran sudut yang digunakan pada metode pengujian kekerasan dengan intan.



Gambar 2.15 Sudut Indenter (Dieter, 1987)

Karena dalam indentornya berbentuk piramid dari intan, maka rumus yang digunakan untuk mengetahui nilai kekerasan suatu material digunakan rumus :

$$VHN = \frac{2P \sin (\phi/2)}{d^2} = \frac{(1,854)P}{d^2} \dots\dots\dots (4)$$

Dimana: P = beban yang digunakan (kg)

d = panjang diagonal rata-rata (mm)

ϕ = sudut antara permukaan intan yang berhadapan = 136°

3. Pengujian *Rockwell*

Uji kekerasan Rockwell merupakan pengujian kekerasan yang prinsipnya hampir sama dengan uji kekerasan metode brinell. Perbedaan dari kedua penggetesan terdapat pada ukuran indenter dari pengujian rockwell lebih kecil dari pada brinell yaitu sekitar 1,588 mm dengan sudut 120° . Pembebanan yang diberikan oleh mesin sekitar 98.1N dengan waktu pembebanan berkisar antara 2 – 8 detik sekali pembebanan. Apabila

logam yang digunakan bersifat lunak digunakan diameter 3.175, 6.350, atau 12.7 mm (Yovanovich,2006).

2.8.3 Pengamatan Struktur Mikro

Pengujian struktur mikro dilakukan untuk mengetahui suatu fisik logam yang nampak pada bagian luar dan untuk mengetahui susunan fasa pada suatu benda uji atau spesimen. Salah satu cara dalam mengamati struktur mikro suatu bahan yaitu dengan teknik metalografi (pengujian mikroskopik). Metalografi merupakan analisis dari suatu struktur dan komponen fisis suatu logam atau paduan yang dapat dilihat secara langsung secara visual maupun dengan bantuan peralatan seperti mikroskop optik Analisis metalografi secara kuantitatif merupakan pengujian yang cukup penting dalam proses fabrikasi suatu logam karena dapat digunakan untuk menentukan fasa yang terbentuk, ukuran butir, dan berbagai karakteristik fisis lainnya Informasi-informasi tersebut bersifat penting karena dari data itu kita dapat memprediksi kekerasan dan ketangguhan suatu logam (Tiandho,2018).

Sifat fisis dan mekanik suatu material tergantung dari struktur material itu sendiri. Struktur mikro dalam paduan logam tergantung beberapa faktor yaitu elemen paduannya, konsentrasi dan perlakuan panas yang diberikan. Gambar dibawah ini merupakan hasil pengamatan struktur mikro pada komposit logam dengan penambahan kawat baja sebagai penguat yang dilakukan oleh (Awarasang,2016).



Gambar 2.16 Struktur Mikro Kawat Baja dan Paduan Aluminium
(Awarasang ,2016).

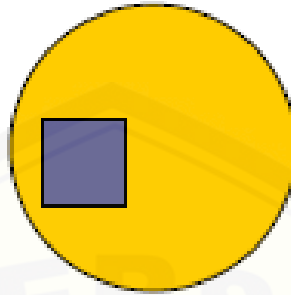
Pengujian struktur mikro kita dapat mengamati bentuk dan serta ukuran kristal logam, kerusakan logam akibat deformasi, proses perlakuan panas dan perbedaan komposisi. Untuk melakukan pengujian struktur mikro, maka diperlukan proses metalografi. Proses metalografi bertujuan untuk melihat struktur mikro suatu bahan ada beberapa tahap yang harus dilakukan. Langkah-langkah proses metalografi secara garis besar adalah sebagai berikut

a. Pemotongan Bahan

Sampel untuk pengamatan metalografi sudah benar bentuk dan ukurannya. Namun, apabila sampel diperlukan untuk mempermudah penanganannya perlu dilakukan pemotongan. Pemotongan sampel merupakan pengambilan daerah representatif dari material induk. Dalam pemotongan sampel, kerusakan dan perubahan mikrostruktur dari sampel tersebut tidak boleh terjadi. Karena akan menyebabkan terjadinya kesalahan dalam karakteristik material. Sehingga dapat terjadi kesalahan analisa metalografi.

b. *Mounting*

Mounting bertujuan untuk menempatkan sampel pada suatu media, untuk memudahkan penanganan sampel yang berukuran kecil dan tidak beraturan tanpa merusak sampel. Spesimen yang berukuran kecil atau memiliki bentuk yang tidak beraturan akan sulit untuk ditangani khususnya ketika dilakukan pengamplasan dan pemolesan akhir. Untuk memudahkan penanganannya, maka spesimen-spesimen tersebut harus ditempatkan pada suatu media (media mounting). Gambar dibawah ini menunjukkan hasil mounting suatu material yang akan di uji. Warna kuning menunjukkan media mounting yang digunakan. Sedangkan warna gelap berbentuk kotak merupakan material yang di mounting berada di dalam media mounting.



Gambar 2.17 Hasil Mounting Tampak Atas

c. Pengamplasan

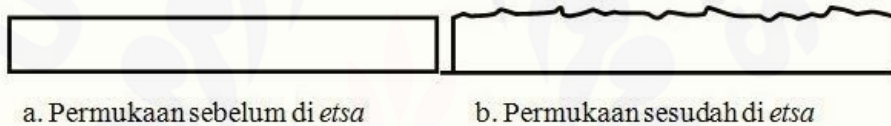
Permukaan yang kasar material setelah di *mounting* harus diratakan agar pengamatan struktur mudah untuk dilakukan. Pengamplasan bertujuan untuk menghaslukkan permukaan material yang akan di uji. Tahap awal pengamplasan menggunakan amplas yang nilainya kasar. Selanjutnya pada tahap akhir atau finalisasi penghalusan menggunakan amplas dengan nilai yang besar. Hal yang harus diperhatikan pada saat pengamplasan adalah pemberian air. Air berfungsi sebagai pemindah geram, memperkecil kerusakan akibat panas yang timbul yang dapat mengubah struktur mikro sampel dan memperpanjang masa pemakaian kertas amplas.

d. Pemolesan/*Polishing*

Setelah sampel diampelas hingga halus (pengamplasan dilakukan hingga menggunakan kertas amplas dengan grit terbesar 2000) sebelum diamati dengan mikroskop sampel harus dilakukan pemolesan. Tujuan dari pemolesan adalah untuk menghasilkan permukaan material logam yang halus bebas goresan dan mengkilap seperti kaca tanpa gores. Pemolesan dilakukan dengan menggunakan autosol atau dengan cairan alumina. Penambahan serbuk alumina atau autosol ini bertujuan untuk lebih menghaluskan permukaan specimen sehingga akan lebih mudah melakukan metalografi. Pemolesan merupakan tahapam akhir sebelum dilakukan proses pengetsaan.

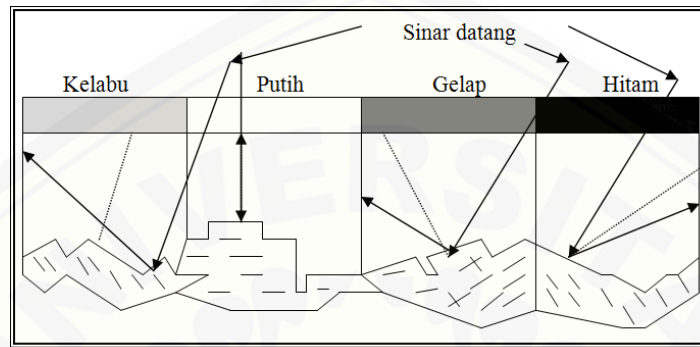
e. Pengetsaan (*Etching*)

Etsa merupakan proses penyerangan atau pengikisan batas butir secara selektif dan terkendali dengan pencelupan ke dalam larutan pengetsa baik menggunakan listrik maupun tidak ke permukaan sampel sehingga detail struktur yang akan diamati akan terlihat dengan jelas dan tajam. Untuk beberapa material, mikrostruktur baru muncul jika diberikan zat etsa. Pada proses etsa dilakukan dengan cara mencelupkan spesimen pada cairan etsa dan setiap jenis logam mempunyai cairan etsa (*etching reagent*) sendiri-sendiri.



Gambar 2.18 Spesimen setelah dan sebelum di etsa (Yudha. P.F. 2018)

Proses setelah pengetsaan adalah pengamatan dari struktur mikro menggunakan mikroskop metalografi. Mikroskop metalografi berbeda pada cara penyorotan pada specimen jika di bandingkan dengan mikroskop biologi. Benda yang diuji tidak tembus cahaya, sampel tersebut diberi sinar. Sorotan cahayamendatar dari sumber cahaya dipantulkan oleh reflector/cermin datar, kemudian turun melewati lensa objektif menuju benda uji. Sebagian dari sinar dipantulkan oleh permukaan, dan melewati lensa –lensa yang ada didalamnya akibatnya terjadi pembesaran dengan pembesaran maksimum 100%. Mikroskop tersebut lalu di hubngkan dengan kabel konektor menuju TV untuk memudahkan proses penganalisaan dan pemotretan. Caranya yaitu setelah permukaan benda uji yang di etsa dikeringkan kemudian langsung amati gambar struktur mikro pada layar TV dengan cara memutar fagus mikroskop. Mekanisme pengamatan struktur mikro menggunakan mikroskop metalografi ditunjukkan pada gambar 2.19 dibawah ini :



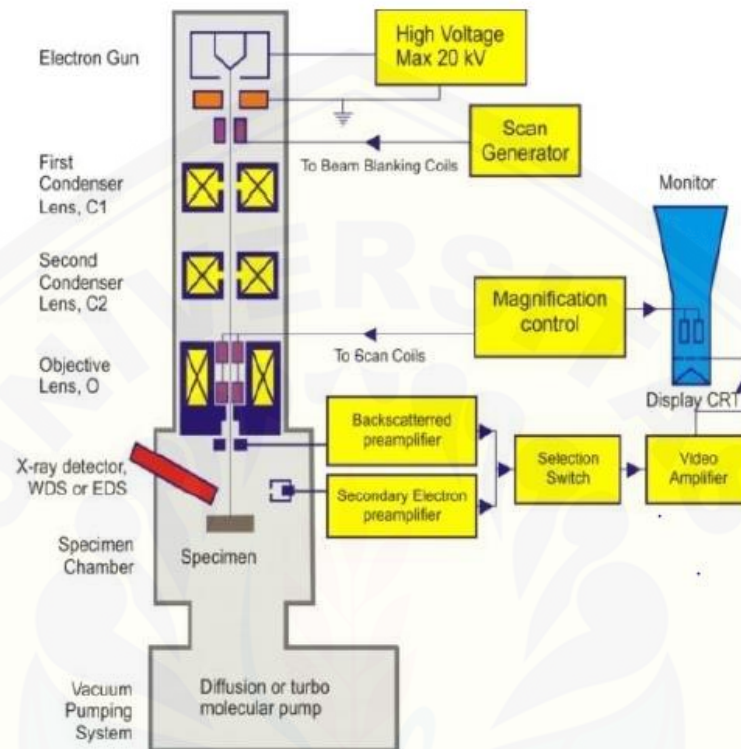
Gambar 2.19 Pemantulan Sinar Pada Mikroskop Metalografi

(Yudha. P.F. 2018)

Setelah gambar struktur mikro terlihat pada layar monitor dengan hasil yang bagus kemudian dilakukan pemotretan dengan kamera digital atau *handphone*. Pemotretan dimaksudkan untuk menganalisa data dari gambar tersebut.

2.8.4 Pengamatan SEM

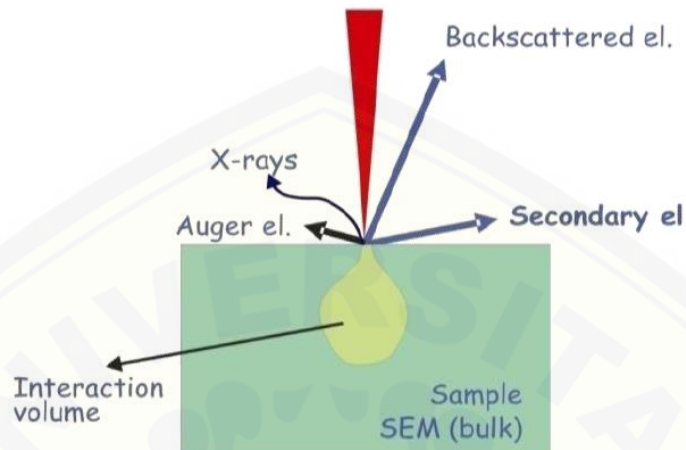
Scanning Electron Microscope (SEM) merupakan mikroskop elektron yang banyak digunakan dalam ilmu pengetahuan material. SEM sangat cocok digunakan dalam situasi yang membutuhkan pengamatan permukaan dengan pembesaran berkisar antara 20 kali sampai 500.000 kali. SEM terdiri dari sebuah senapan elektron yang memproduksi berkas elektron. Berkas elektron tersebut dilewatkan pada beberapa lensa elektromagnetik untuk menghasilkan image pada sampel yang ditampilkan dalam bentuk film fotografi atau ke dalam tabung layar. Mekanisme kerja dari mesin SEM ditunjukkan pada gambar 2.20.



Gambar 2.20 Mekanisme Blok SEM (Agus Sujatno,2015)

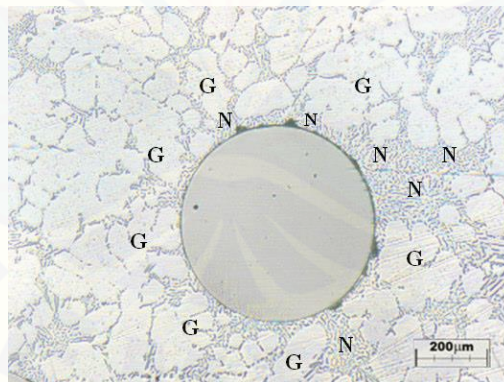
Sewaktu berkas elektron menumbuk permukaan sampel sejumlah elektron direfleksikan sebagai backscattered electron (BSE) dan sebagian kecil elektron masuk ke dalam bahan kemudian memindahkan sebagian besar energi pada elektron atom sehingga terpelantik ke luar permukaan bahan, yaitu Secondary Electrons (SE). Elektron-elektron BSE dan SE yang direfleksikan dan dipancarkan sampel dikumpulkan oleh sebuah scintillator yang memancarkan sebuah pulsa cahaya pada elektron yang datang. Cahaya yang dipancarkan kemudian diubah menjadi sinyal listrik dan diperbesar oleh photomultiplier. Hanya backscattered electron (BSE) dapat ditangkap untuk dijadikan sebagai sumber informasi mengenai ikatan fasa yang terjadi dalam sampel. Sedangkan secondary electron (SE) ditangkap serta dijadikan sumber untuk mengetahui

morfologi permukaan logam. Skema interaksi antara spesimen dengan elektron di dalam SEM ditunjukkan pada gambar dibawah ini :



Gambar 2.21 Skema interaksi antar bahan dan elektron (Sujatno, 2015)

Pengamatan menggunakan metode SEM yang dilakukan pada sampel komposit dapat menampilkan morfologi dari material penyusun sampel. Hal tersebut dapat dijelaskan pada gambar 2.22 dibawah ini :



Gambar 2.22 Hasil SEM (Noor, 2008)

Gambar 2.22 menunjukkan hasil pengamatan yang dilakukan menggunakan SEM. Pada gambar tersebut ditunjukkan penambahan kawat baja pada matriks aluminium paduan Si. Hasil yang ditampilkan berupa struktur eutektik dari Si dilambangkan dengan huruf N. Huruf G merupakan struktur dari solidifikasi yang lambat pada daerah dekat kawat. Hasil pengamatan diatas diambil dengan persiapan alat dan bahan pengujian yang baik. Ukuran sampel dari suatu pengujian tidak lebih dari

0,5 mm. Tujuannya supaya sampel dengan ukuran tersebut dapat dimasukkan kedalam alat pengujian.

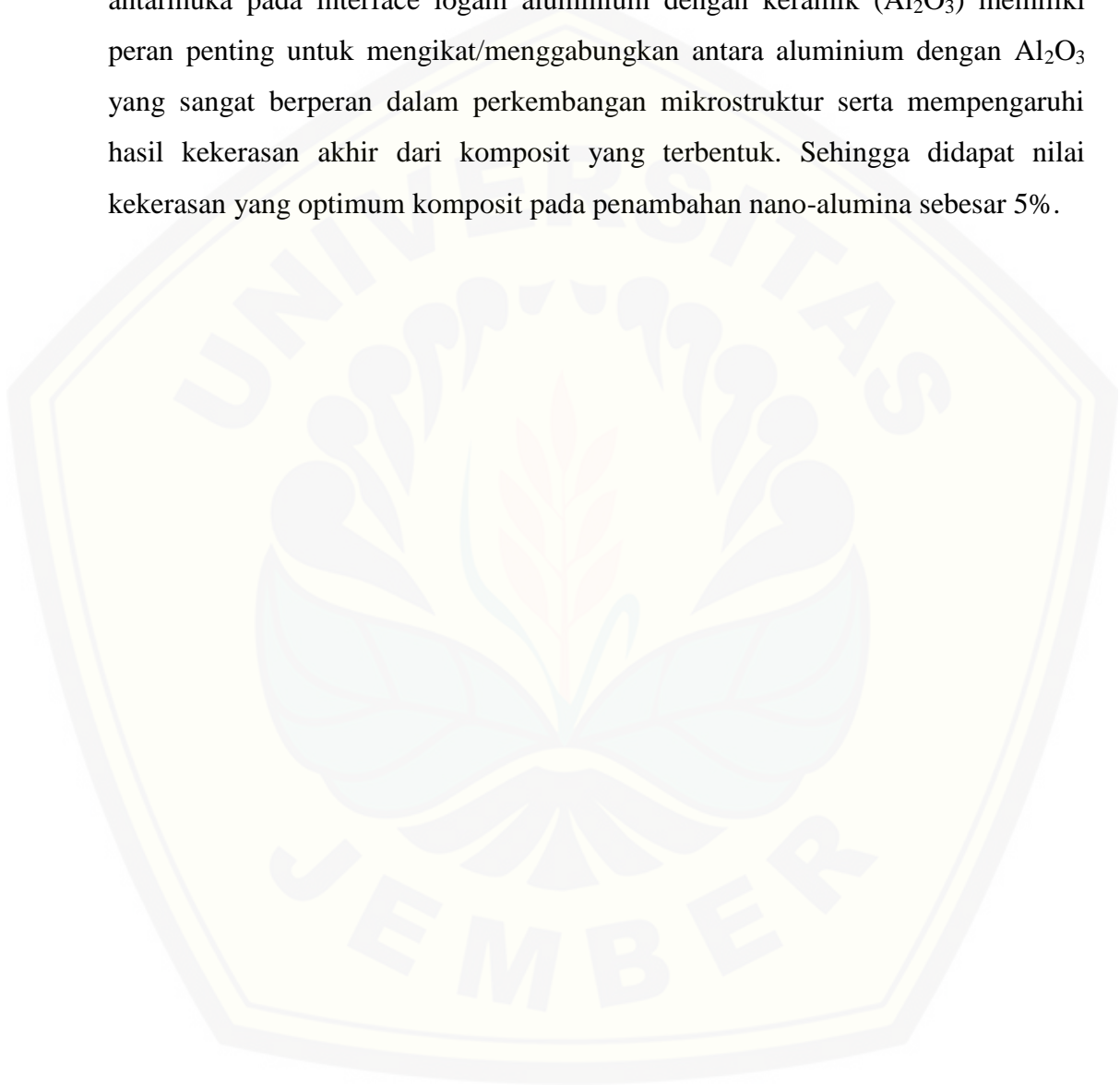
2.8.5 Pengujian Densitas-Porositas

Densitas adalah ukuran kerapatan atau massa jenis suatu zat yang dinyatakan banyaknya zat atau massa per satuan volume (kg/m^3). Semakin tinggi massa jenis, maka semakin besar massa setiap volumenya. Massa jenis berguna untuk menentukan zat, dimana setiap zat memiliki massa jenis yang berbeda-beda. Suatu zat yang berapapun massanya, berapapun volumenya akan memiliki massa jenis yang sama. Perbedaan nilai kerapatan setiap material yang disebabkan oleh komponen penyusunnya akan menyisakan celah kosong diantara susunan serbuk penyusun material tersebut. Faktor yang mempengaruhi tingkat porositas serbuk adalah ukuran butir (Grain size), bentuk butir, susunan butir, maka porositasnya akan semakin kecil. Demikian pula dengan bentuk bulat (spherical) akan mengurangi nilai porositas, dimana rongga kosong diantara serbuk akan berkurang. Penurunan nilai porositas juga dipengaruhi dari susunan dan bahan serbuk, dimana susunan serbuk yang homogen akan semakin mengurangi jumlah rongga dan porositas (Callister, 2007).

Porositas merupakan salah satu karakteristik fisis yang dibutuhkan terutama untuk mengkarakterisasi material padatan hasil proses maupun yang akan diproses kembali. Sifat porositas material saling mempengaruhi dan dipengaruhi oleh besaran fisis yang lain maupun sifat termalnya, misalnya material yang porus akan mempunyai nilai kerapatan yang rendah, luas permukaann yang lebih besar, dan konduktivitas panas yang rendah. Secara umum porositas didefinisikan sebagai perbandingan antara volume pori dan volume teoritis. Volume teoritis ditentukan dari berat dan kerapatan teoritisnya

2.9 Hipotesa

Penambahan nano-alumina yang divariasikan dan magnesium sebesar 5% berperan membentuk reaksi permukaan antara nano-alumina dan MgO dengan hasil produk spinel (MgAl_2O_4). Kehadiran lapisan tipis spinel hasil reaksi antarmuka pada interface logam aluminium dengan keramik (Al_2O_3) memiliki peran penting untuk mengikat/menggabungkan antara aluminium dengan Al_2O_3 yang sangat berperan dalam perkembangan mikrostruktur serta mempengaruhi hasil kekerasan akhir dari komposit yang terbentuk. Sehingga didapat nilai kekerasan yang optimum komposit pada penambahan nano-alumina sebesar 5%.



BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode yang digunakan untuk penelitian pembuatan komposit Al/Serat Kawat Baja Karbon 0,67%C adalah metode eksperimental. Metode tersebut merupakan suatu metode yang digunakan untuk menguji karakterisasi dari variasi penambahan nano-alumina (Al_2O_3) terhadap komposit Al/ Serat Kawat Baja Karbon.

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknologi Terapan Jurusan Mesin, Fakultas Teknik Universitas Jember. Penelitian ini meliputi pembuatan dan pengujian paduan komposit Al/ Serat Kawat dengan variasi penambahan nano-alumina (Al_2O_3). Pengujian Tarik dilakukan di Laboratorium Uji Bahan Jurusan Mesin, Fakultas Teknik Universitas Jember

3.3 Alat dan Bahan

Penelitian ini menggunakan beberapa alat dan bahan. Beberapa alat dan bahan yang digunakan terdapat pada penjelasan dibawah ini :

3.3.1 Alat

Peralatan yang digunakan adalah

a. Tungku Peleburan

Tungku Peleburan yang digunakan pada penelitian yaitu seperti berikut ini :



Gambar 3.1 Tungku Pengecoran

b. Timbangan Digital

Timbangan yang digunakan yaitu seperti berikut ini :



Gambar 3.2 Timbangan Digital

c. Cetakan Permanen



Gambar 3.3 Cetakan Permanen

d. Alat Pengaduk



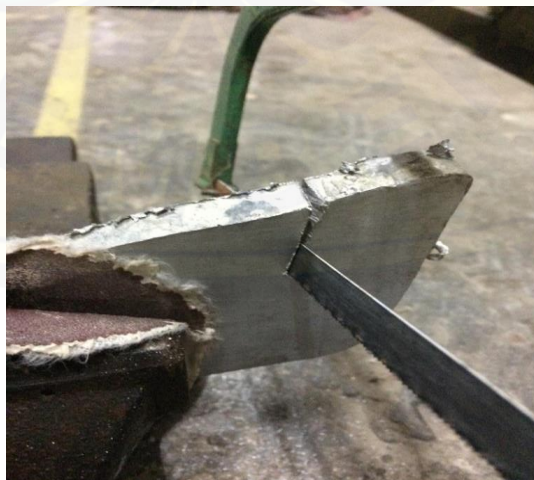
Gambar 3.4 Pengaduk

e. Mesin Amplas

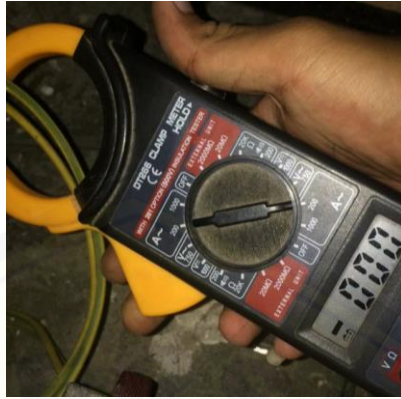


Gambar 3.5 Mesin Amplas

f. Gergaji Besi



Gambar 3.6 Gergaji

g. *Clamp Ampere Meter*Gambar 3.7 *Clam Amper Meter*

h. Mesin Bubut



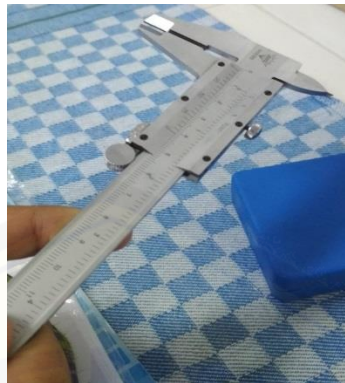
Gambar 3.8 Mesin Bubut

i. Ampelas



Gambar 3.9 Ampelas

j. Jangka sorong



Gambar 3.10 Jangka Sorong

k. Bak Pasir



Gambar 3.11 Bak Pasir

l. Sendok



Gambar 3.12 Sendok

m. Sarung Tangan



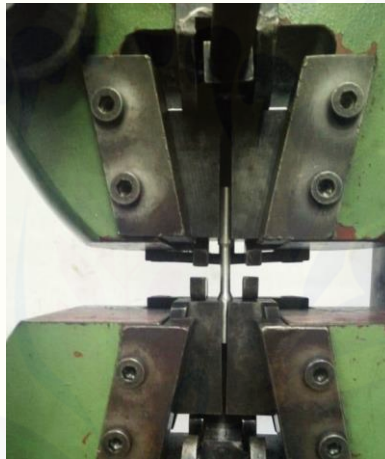
Gambar 3.13 Sarung Tangan

n. Mesin SEM



Gambar 3.14 Mesin SEM

o. Mesin Uji Tarik



Gambar 3.15 Mesin Uji Tarik

p. Mesin Uji Kekerasan



Gambar 3.16 Mesin Uji Kekerasan

q. Mikroskop Optik



Gambar 3.17 Mesin Mikroskop Optik

3.3.2 Bahan

Bahan yang digunakan untuk proses pembuatan adalah sebagai berikut :

a. Aluminium Ingot



Gambar 3.18 Aluminium Ingot

b. Magnesium Ingot



Gambar 3.19 Magnesium Ingot

- c. Serat Kawat Baja Karbon 0,67% C



Gambar 3.20 Serat Kawat Baja

- d. Serbuk Nano Alumina (Al_2O_3)



Gambar 3.21 Nano- Al_2O_3

- e. Resin



Gambar 3.22 Resin

f. Gas Argon



Gambar 3.23 Gas Argon

g. Mortar



Gambar 3.24 Mortar

3.4 Variabel Penelitian

3.4.1 Variabel Bebas

Variabel bebas merupakan variabel dengan nilai yang ditentukan sebelum melakukan penelitian. Penelitian ini menggunakan variabel bebas sebagai berikut : fraksi berat nano-alumina (Al_2O_3) yaitu 1%, 3%, dan 5%.

3.4.2 Variabel Tetap

Variabel tetap merupakan variabel yang nilainya tetap selama penelitian berlangsung. Penelitian ini menggunakan variabel tetap sebagai berikut : Suhu

furnace 780°C, kecepatan pengadukan 450 Rpm, waktu pengadukan 45 s. Serat kawat baja 1 batang, Diameter serat 0,4 mm, dan magnesium 5%.

3.4.3 Variabel Terikat

Variabel terikat merupakan variabel dengan nilai yang ditentukan berdasarkan variabel bebas. Variabel terikat yang digunakan pada penelitian ini adalah pengujian komposit meliputi pengujian tarik, uji kekerasan, uji metalografi, dan uji SEM (*Scanning Electrone Microscope*).

3.5 Proses Pembuatan Komposit Al/ Serat Kawat

Proses pembuatan komposit Al/ Serat Kawat Baja menggunakan pengecoran dengan metode *stir casting*. Pertama yang dilakukan adalah menentukan berat aluminium dan serat kawat baja berdasarkan variabel berat dari serbuk nano-alumina (Al_2O_3) sebesar 1%, 3%, dan 5%. Langkah-langkah dalam pembuatan komposit Al-Serat Kawat Baja / Nano-Alumina (Al_2O_3) adalah sebagai berikut :

- a. Menimbang massa Aluminium
- b. Menimbang massa serbuk nano-Alumina (Al_2O_3) dengan variasi yang ditentukan
- c. Menimbang massa magnesium yang sudah ditentukan
- d. Melakukan pelapisan kowi dan *Crucible* dengan mortar
- e. Melakukan pemanasan terhadap peralatan untuk menghilangkan kandungan air.
- f. Menyalakan tungku peleburan dengan setting tenperturnya 750°C untuk peleburan
- g. Memasukan aluminium ke tungku peleburan sampai meleleh
- h. Melakukan persiapan serbuk nano alumina (Al_2O_3) dan Mg
- i. Pemanasan serbuk nano alumina pada suhu 500°C selama 5 menit
- j. Menambahkan magnesium yang sudah ditentukan dan serbuk nano-alumina(Al_2O_3) pada lelehan dalam tungku peleburan

- k. Melakukan pengadukan terhadap campuran dalam tungku peleburan menggunakan pengaduk (*Stir*) serta kecepatannya 450 rpm selama 30 detik.
- l. Blander dimasukkan pada krusibel untuk mengalirkan gas argon saat proses pengadukan dan diangkat
- m. Membuang slag pada leburan dengan sendok
- n. Memasang serat kawat baja karbon pada tengah cetakan
- o. Memanaskan cetakan permanen sampai suhu 350°C dengan *torch* pemanas
- p. Menuangkan logam paduan pada krusibel pada cetakan yang didalamnya ada serat kawat baja karbon
- q. Menunggu hasil cetakan membeku dan dingin kemudian dibuka
- r. Pengujian sampel

3.6 Pengujian Sampel

3.6.1 Uji Tarik

Proses uji tarik komposit Al-Serat Kawat Baja/ nano-alumina menggunakan standar ASTM B 557M serta memiliki tahapan proses pengujian sebagai berikut :

- a. Preparasi sampel pengujian tarik sesuai standart ASTM B 557m
- b. Memasang sampel di penejepi alat untuk dilakukan pengujian
- c. Melakukan pengujian menggunakan alat uji tarik
- d. Pengamatan dilakukan pada sampel dengan memperhatikan perubahan ukuran diameter menggunakan jangka sorong
- e. Mencatat hasil pengujian yang ditampilkan oleh mesin

3.6.2 Uji Kekerasan

Komposit Al-Serat Kawat Baja 0,67%C / nano-alumina dilakukan proses uji kekerasan menggunakan standar ASTM E 10. Metode yang digunakan adalah pengujian *Brinell Hardness* menggunakan alat *Hardness Tester THI20B*. Tahapan pengujian yang dilakukan sebagai berikut :

- a. Preparasi sampel mengacu sesuai standart ASTM E 10

- b. Setting alat pengujian *Hardness Tester THI20B* sesuai nilai *Brinell Hardness*
- c. *Meletakkan indenter pada spesimen agar bersentuhan*
- d. *Melakukan proses pengujian kekerasan*
- e. *Mencatat angka kekerasan yang ditampilkan oleh alat Hardness Tester Mutitoyo*

3.6.3 Pengamatan Struktur Mikro

Pengujian struktur mikro pada komposit Al-Serat Kawat Baja / nano-alumina menggunakan standart ASTM E 407 – 07. Alat yang digunakan untuk pengamatan adalah *Microscope Olympus BX41M*. Tahapan pengamatan yang dilakukan adalah sebagai berikut :

- a. Preparasi sampel yang sudah dipotong dengan memberi resin untuk mempermudah memegangnya
- b. Kemudian permukaan sampel yang diresin, diperhalus menggunakan amplas dengan nilai kekasaran 500 Cw, 1000 Cw, 1500 Cw, 2000 Cw.
- c. Pemolesan dilakukan setelah pengamplasan selesai menggunakan kain bludru serta permukaan sampel diberi autosol.
- d. Pembuatan larutan etsa dengan gabungan 10 gram NaOH ditambahkan 90 ml H₂O dan diaduk sampai merata
- e. Sampel yang diberi larutan etsa satu tetes selama 20 detik diletakkan pada meja mikroskop optik.
- f. Perbesaran mikroskop disetting dengan jelas (200x dan 500x)
- g. Hasil pengamatan struktur mikro yang ditampilkan di komputer disimpan dalam folder.

3.6.4 Pengujian SEM (Scanning Electrone Microscopy)

Pengamatan SEM pada komposit Al-Serat Kawat Baja / nano-alumina menggunakan alat *SEM Phenom™ G2 Pro*. Tahapan yang dilakukan pada pengamatan SEM sebagai berikut :

- a. Peralatan pengamatan menggunakan *SEM Phenom™ G2 Pro* dipersiapkan
- b. Melakukan proses etsa pada sampel dengan mencelupkan permukaan sampel ke larutan etsa selama 20 detik.

- c. Melakukan pengeringan sampel dengan tissu
- d. Sampel diletakkan pada stage
- e. Stage dimasukkan ke alat *SEM Phenom™ G2 Pro*
- f. *Sampel siap dilakukan pengujian dengan pembesaran yang diinginkan.*

3.6.5 Pengujian Densitas-Porositas

Pengujian densitas-porositas dilakukan dengan menggunakan standar pengujian ASTM C 373-88 yang mengacu pada hukum Archimedes. Tahapan pengujian densitas-porositas adalah sebagai berikut :

- a. Mempersiapkan sampel yang akan diuji
- b. Mempersiapkan timbangan, *beaker glass*, benang dan *aquadest*
- c. Menimbang dan mencatat berat kering sampel
- d. Menimbang berat sampel dalam air dengan cara memasukkan sampel yang digantung dengan benang ke dalam air sampai seluruh permukaan tercelup di dalam air
- e. Mencatat berat sampel dalam air kemudian menghitung berat sampel
- f. Menghitung volume sampel dengan rumus :

$$V_{\text{sampel}} = \frac{W_{\text{di fluida}}}{\rho_{\text{fluida}}} \quad (1)$$

dimana,

V_{sampel} = Volume sampel (cm³)

$W_{\text{di fluida}}$ = Massa di fluida (gram)

ρ_{fluida} = Densitas fluida (gram/cm³)

g. Menghitung densitas sampel hasil percobaan menggunakan rumus :

$$\rho_{\text{sampel}} = \frac{W_{\text{kering}}}{V_{\text{sampel}}} \quad (2)$$

dimana,

ρ_{sampel} = Densitas sampel (gram/cm³)

W_{kering} = Massa di udara (gram)

V_{sampel} = Volume sampel (cm³)

h. Menghitung densitas teoritis sampel menggunakan rumus :

$$\rho_{\text{komposit}} = (V_f \text{ Aluminium} \times \rho_{\text{Aluminium}}) + (V_f \text{ Magnesium} \times \rho_{\text{Magnesium}}) + (V_f \text{ Kawat} \times \rho_{\text{Kawat}}) \quad (3)$$

i. Menghitung nilai porositas sampel hasil percobaan dengan menggunakan rumus :

$$\% \text{Porositas} = \left(\frac{\rho_{\text{teoritis}} - \rho_{\text{aktual}}}{\rho_{\text{teoritis}}} \right) \times 100\% \quad (4)$$

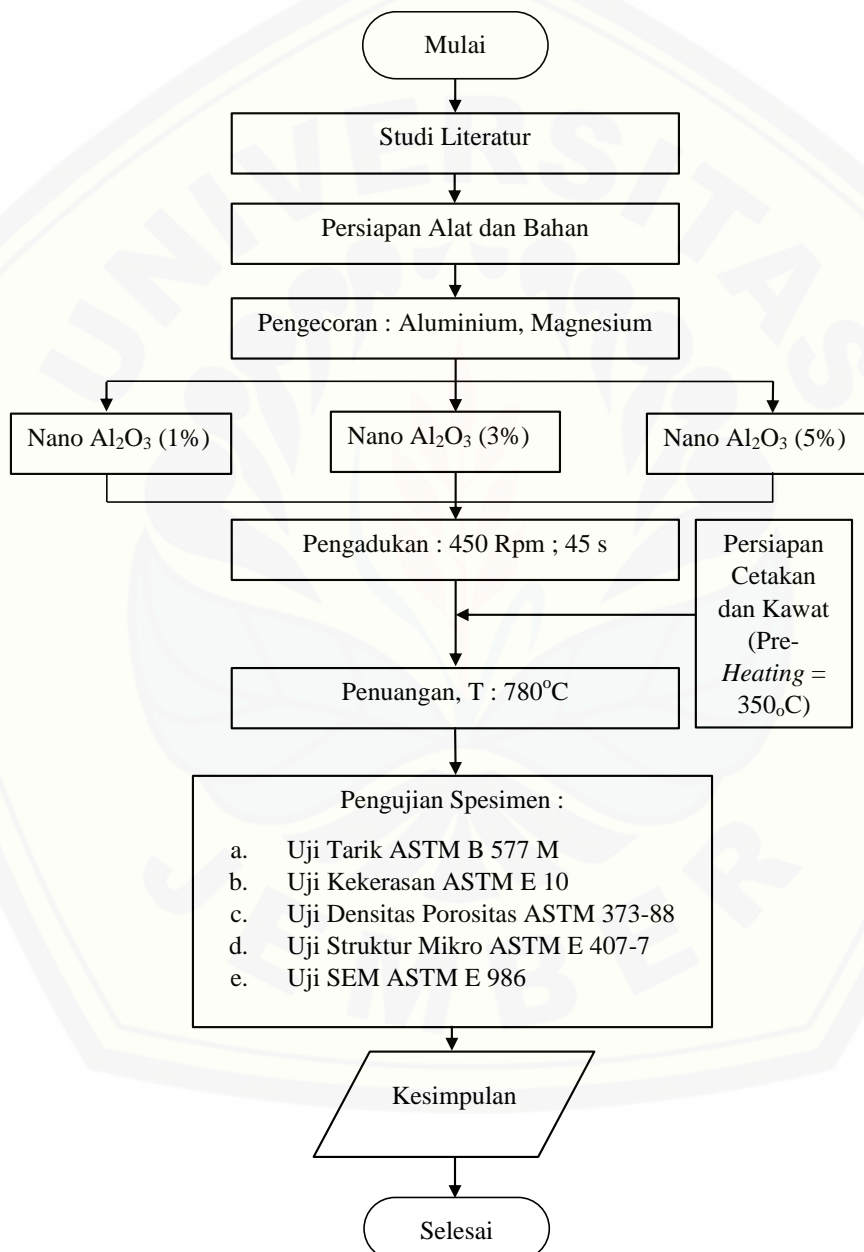
dimana,

ρ_{teoritis} = densitas teoritis (gram/cm³)

ρ_{aktual} = densitas aktual (gram/cm³)

3.7 Diagram Alir Penelitian

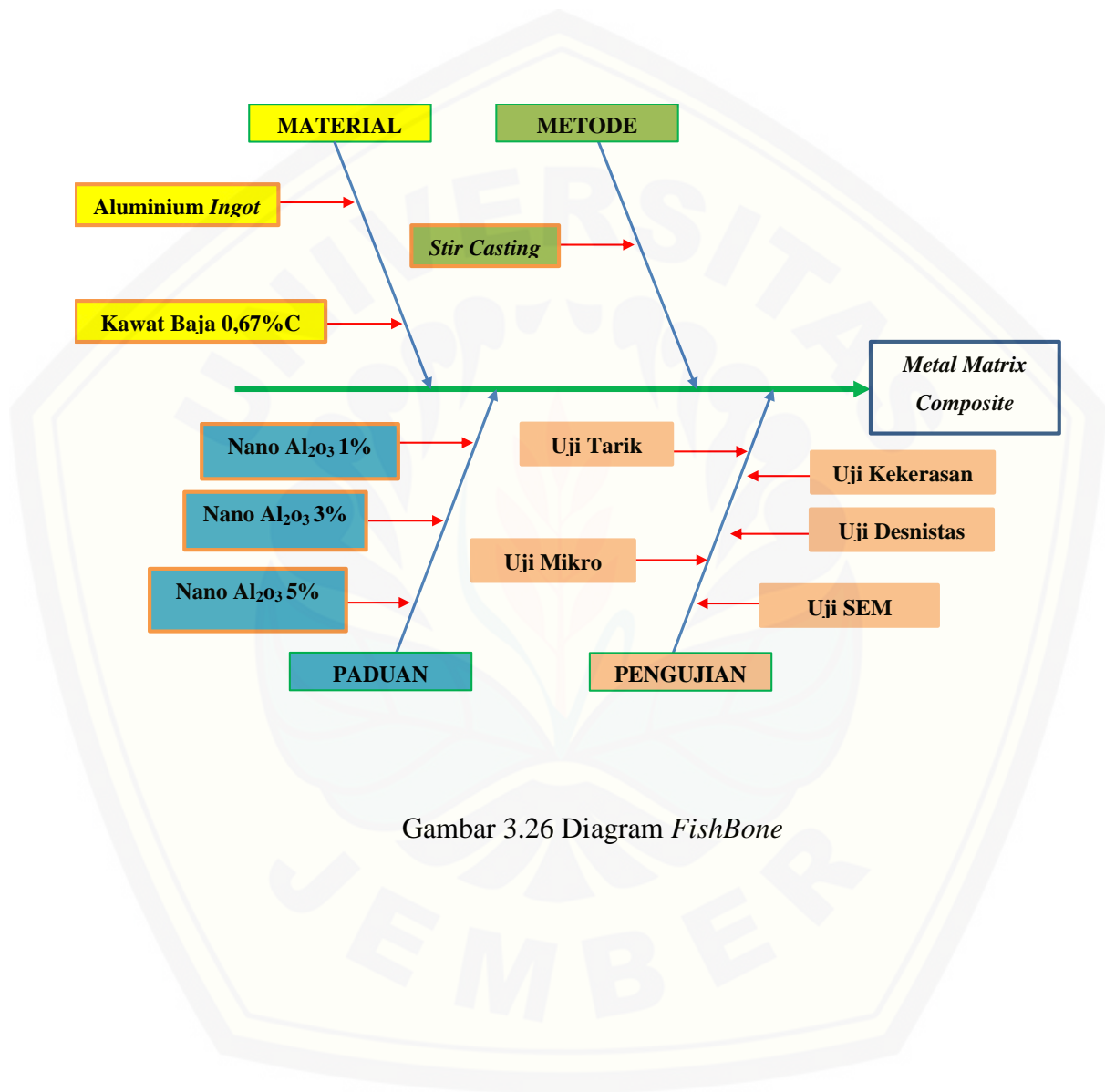
Penelitian ini dilakukan dengan langkah awal dari studi literatur, persiapan alat dan bahan, dan dilakukan proses pembuatan komposit serta pengujian. Langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini dijelaskan pada gambar 3.1 dibawah ini.



Gambar 3.25 Diagram Alir Penelitian

3.8 Diagram *Fishbone*

Gambar 3.2 merupakan diagram *fishbone* penelitian pengaruh penambahan nano-alumina (Al_2O_3) terhadap karakteristik komposit Aluminium-Serat Kawat Baja 0,67%C (Al/Serat Kawat Baja 0,67%C) dengan metode *stir casting* :



Gambar 3.26 Diagram *FishBone*

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan sebagai berikut :

1. Penambahan nano- Al_2O_3 berpengaruh dalam meningkatkan kekerasan komposit Al/Serat Kawat Baja. Nilai kekerasan tertinggi sebesar 83 HRB dicapai pada penambahan nano- Al_2O_3 sebesar 5%. Nilai kekerasan meningkat 46% dari paduan aluminium.
2. Penambahan nano- Al_2O_3 berpengaruh dalam meningkatkan nilai kekuatan tarik komposit Al/Serat Kawat Baja. Nilai kekuatan tarik tertinggi 171 MPa dengan penambahan nano- Al_2O_3 sebesar 5%. Kekuatan tarik mengalami peningkatan sebesar 40% dibandingkan paduan aluminium dengan kawat tanpa nano- Al_2O_3 .
3. Penambahan nano- Al_2O_3 membuat densitas komposit dengan 1% nano- Al_2O_3 nilainya 1,66 gr/cm^3 terendah dari penambahan yang lain serta nilai porositasnya 3,72% tertinggi dari yang lain.
4. Penambahan nano- Al_2O_3 dari pengamatan struktur mikro dapat merubah ukuran butir menjadi lebih rapat dan kemampuan komposit menjadi lebih baik.
5. Penambahan nano- Al_2O_3 dari hasil pengamatan *Scanning Electron Microscopy* menunjukkan tersebarnya nano- Al_2O_3 pada matrik serta adanya fasa Al_3Fe yang terbentuk.

5.2 Saran

Saran yang dapat dilakukan pada penelitian selanjutnya adalah penambahan proses perlakuan panas pada komposit Al+Serat Kawat/Nanp- Al_2O_3 yang tujuannya untuk memperbaiki dan meningkatkan sifat mekanik dari komposit.

DAFTAR PUSTAKA

- Abramovich,H. (2017). *Introduction to composite materials*. Atlanta : Elsiwier Ltd.
- Awarasang,S., Devoor,N.S (2016).Study the microstructure anda impact strength of LM 25 aluminium alloy reinforced with steel wire. *International Research Journal of Engineering and Technology*. Volume: 03 Issue: 09
- Arunachalam,R.(2019). A review on the production of metal matrix composites through stir casting furnace design, properties, challenges, and research opportunities. *Journal of Manufacturing Processes*.42:213–245.
- Adawiyah.R.(2015).Pengaruh Beda Media Pendingin Pada Proses Hardening Terhadap Kekerasan Baja Pegas Daun.*Jurnal Poros Teknik* : Volume 7(01).
- Berry.A.,Zulfia.A.(2014). Fabrikasi dan Karakterisasi Nano Komposit Al-Si-Mg Berpenguat Al₂O₃ dengan fraksi Volum 0,5%, 1%, 2%,3%, dan 5% Melalui Metode *Stir Casting*. *Skripsi*.Depok:Universitas Indonesia.
- Bhagat,R.B.(1988). High pressure squeeze casting of stainless steel wire reinforced aluminium matrix composites. *COMPOSITES*. Volume 19(5).
- Bharath,V.(2014).Preparation of 6061Al-Al₂O₃ MMC's by Stir Casting and Evaluation of Mechanical and Wear Properties.*Procedia Materials Science*. Volume 6 : 1658 – 1667.
- Bintoro.M.W.(2013).Penerapan Metode Sentrifugal pada Proses Pengecoran Produk Komponen Otomotif Velg Sepeda Motor.*Jurnal Energi dan Manufaktur*.Vol.6, No.2:95-200.
- Budiman,H.(2016). Analisis Pengujian Tarik (Tensile Test) Pada Baja St37Dengan Alat Bantu Ukur Load Cell. *Jurnal J-Ensitec*: Vol 03. No. 01.

- Chelladurai,S (2018). Investigation of the mechanical properties of a squeeze cast LM6 aluminium alloy reinforced with a zinc coated steel wire mesh. *Materials and technology* 52.(2): 125–131.
- Dieter,G. (1987). *Metalurgi Mekanik, Jilid 1. edisi ketiga*. Jakarta: Erlangga.
- Dinesh .K., Geeta ,A.,Rajesh,P. (2013). Properties and Characterization of Al-Al₂O₃ Composites Processed by Casting and Powder Metallurgy Routes (Review). *International Journal of Latest Trends in Engineering and Technology*. Vol. 2 Issue 4.
- Daoud.A.,W.Reif., P. Rohatgi. (2008). Microstructure and tensile Properties of Extrude 7475 Al-Al₂O₃ Particle Composite. *Proceeding of 13th European Conference on Composite Material (ECCM-13)*.
- Elvira.R.B.,Alhaamidi.A.A.,Fitrullah.M. (2016).Rekayasa Permukaan Material metal matrix composite Al/Al₂O₃ melalui *Friction Stir Processing (FSP)*.*Skripsi*.Cilegon: Indonesia.
- Ezatpour.R.H.,Sajjadi.S.A.,Sabzevar.H.M.(2013). Investigation of microstructure and mechanical properties of Al6061-nanocomposite fabricated by stir casting. *Materials and Design*.Vol. 55 :921–928
- Ferdian.R.(2010). Pengaruh Penambahan Magnesium Pada Pembuatan Aluminium Berpenguat Tali Kawat Baja Karbon Tinggi Terhadap Kondisi Anatar Muka dan Sifat Mekanis untuk Aplikasi Material Armor. *Skripsi*.Depok:Universitas Indonesia.
- Ganesh.V.V., C.K. Lee, M. Gupta. (2002). Enhancing the tensile modulus and strength of an aluminum alloy using interconnected reinforcement methodology. *Materials Science and Engineering A333 (2002) 193–198*.

- Ghanaraja,S., Ravikumar. K.S., Raju,H.P (2016). Studies on Dry Sliding Wear Behaviour of Al₂O₃ Reinforced Al Based Metal Matrix Composites. *Materials Today: Proceedings*. 10043–10048.
- Groover,M.P (2010). *Fundamentals of Modern Manufacturing materials, Processes,And Systems*.JOHN WILEY & SONS, INC: Lehigh.
- Hashim, J., Looney.,M.S.J.Hashmi.(1999).Metal Matrix Composites:Production By The Stir Casting Method. *Materials Processing Technology* : 1-7.
- Junus.S., Zulfia.A.,Tanoto.E.,Mariani.L.(2019). The Influence Of Various Percentage Of Al₂O₃ By Using Vortex Method To Tensile Strength And The Distribution Of Al₂O₃p Composite. *Advanced Materials Research Vol. 789 (2013) pp 8-11*.
- Jones,R.M.(1998). *Mechanics Of Composite Materials*.Second Edition. Philadelphia: Taylor & Francis, Inc.
- Joo,S.H.,Hwang,K.S.,Baek,M.Y.,Im.T.Y.,Son,H.,(2014).Manufacturing of medium carbon steel wires with improvedspheroidization by non-circular drawing sequence.*Procedia Engineering.81.Elsevier.19-24 October 2014:682 – 687*.
- Kainer,U.K.(2006). Basics of Metal Matrix Composites. *Metal Matrix Composites. Custom-made Materials for Automotive and Aerospace Engineering*. ISBN: 3-527-31360-5.
- Kandpal,C.B.(2016). Fabrication and characterisation of Al₂O₃/aluminium alloy 6061 composites fabricated by Stir casting. *Materials Today: Proceedings. Materials Today: Proceedings 4:2783–2792*.
- Kapil.K., Dhirendra.V.,Sudhir.K.(2014). Processing and Tensile Testing of 2024 Al Matrix Composite Reinforced with Al₂O₃ Nano-Particles. *5th International & 26th All India Manufacturing Technology, Design and Research Conference (AIMTDR)*. India,12-14 Desember 2014.

- Kon.B.L., Kim.Y.S.,Kwon.H. (1998). Fabrication of Al-3 Wt Pct Mg Matrix Composites Reinforced with Al₂O₃ and SiC Particulates by the Pressureless Infiltration Technique.*Metallurgical And Materials Transaction A*. Vol.29(A).
- Krol.M.,Tanski.T.,Snopinksy.P.,Tomiczek.B.(2017). Structure and properties of aluminium–magnesium casting alloys after heat treatment. *Journal Therm Anal Calorim*. Volume 127:299–308.
- Mallika,S.(2016).Microstructure and Mechanical Properties of Nano Alumina Particulate Reinforced A356 Nano Composites.*Journal of Engineering Research and Application*.Vol. 6.Issue 6:50-54.
- Mazahery,A.(2011). Investigation on Mechanical Properties of Nano-Al₂O₃-Reinforced Aluminum Matrix Composites. *Journal of Composite Material*. Volume 45(24) : 2579–2586.
- Nagaral,M., Shivananda,B.K.,Auradi.V.,Parashivamurthy.K.I. (2016). Mechanical Behavior of Al6061-Al₂O₃ and Al6061-Graphite Composites. *Materials Today: Proceedings* 4 : 10978–10986.
- Nebbar,M.C.(2019).Microstructural Evolutions and Mechanical Properties of Drawn MediumCarbon Steel Wire.*International Journal of Engineering Research in Africa*.Volume 41: 1-7.
- Noor,M.M, Shamsul .B. J.,and Kamarudin.H.(2008). Microstructural Study of Al-Si-Mg Alloy Reinforced with Stainless Steel Wires Composite via Casting Techniqu. *American Journal of Applied Sciences* 5 .(6): 721-725,
- Pramanik,A.(2015). Effects of reinforcement on wear resistance of aluminum matrix composites.*Transaction of Nonferrous Metal Society China* : 348–358.

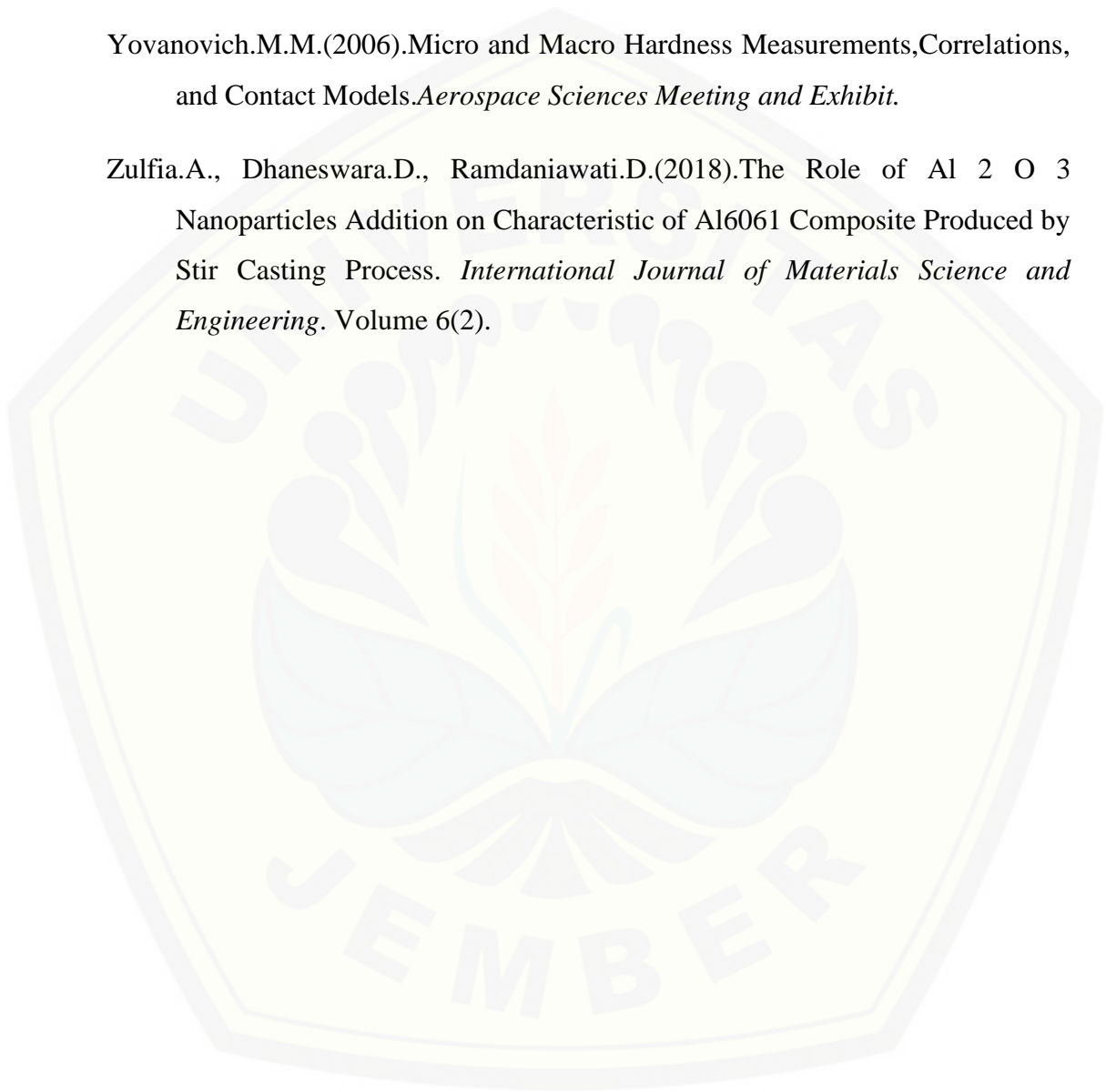
- Rub Nawaz Shahid and Sergio Scudino.(2018). Microstructure and Mechanical Behavior of Al-Mg Composites Synthesized by Reactive Sintering.*Journal Metals*.Vol.8:762.
- Sajjadi.S.A.,Parizi.M.T.,Ezatpour.,Sedhgi.A.(2012). Fabrication of A356 composite reinforced with micro and nano Al₂O₃ particles by a developed compocasting method and study of its properties. *Journal of Alloys and Compounds*. Volume 511 : 226– 231.
- Salahuddin.J.,Zulfia .A.,Eric.T.,Mariani.L.(2013). The Influence Of Various Percentage Of Al₂O₃ By Using Vortex Method To Tensile Strength And The Distribution Of Al₂O₃p Composite. *Advanced Materials Research*. Vol. 789 (2013) pp 8-11.
- Samuel,Y.(2012).Karakteristik Komposit Aluminium ACH8/SiC Dengan Proses *Stir Casting*.*Skripsi*.Depok:Universitas Indonesia.
- Siddanna.A.,Prof.Devoor.N.S.(2016). Study The Microstructure And Impact Strength Of LM 25 Aluminium Alloy Reinforced With Steel Wire. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*. Volume: 03 Issue: 09.
- Srivastava,A.(2014). A Review on Fabrication & Characterization of Hybrid Aluminium Metal Matrix Composite.*International Journal of Advance Research and Innovation*. Volume 2, Issue 1: 242-246.
- Sudjana,H.(2008).*Teknik Pengecoran Logam*.Jilid 2.Jakarta : Depdiknas.
- Sujatno,A. Salam, R.dan Bandriyana (2015).Studi Scanning Electron Microscopy (SEM) untuk karakterisasi Proses Oksidasi Paduan Zirkonium. *Jurnal Forum Nuklir*.Volume 9(2):44-50.
- Suherman,W (1987). *Pengetahuan Bahan*.Surabaya: Jurusan Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh November.

- Surdia, Tata dan Kenji Chijiwa. (1998). Edisi Kelima: Teknik Pengecoran Logam.
- Susanta K., Subhranshu Chatterjee, dan Amitava Basu Mallick. (2016). A simple stir casting technique for the preparation of in situ Fe-aluminides reinforced Al-matrix composites. *Perspectives in Science*. Vol (8) : 529-532.
- Sutrisno, T. (2010). Pengaruh tembaga dan proses canai dingin terhadap kondisi antarmuka komposit matriks aluminium berpenguat kawat tali baja dengan metode squeeze casting untuk aplikasi material armor. *Skripsi*. Depok: Program Studi Teknik Metalurgi dan Material Universitas Indonesia.
- Tiandho, Y., Tiandho, A.A. (2018). Analisa Kuantitatif Metalografi Berdasarkan Pengolahan Citra Menggunakan Wolfram Mathematica. *Prosiding Seminar Nasional Penelitian & Pengabdian pada Masyarakat*. Pangkalpinang, 2 Oktober 2018.
- Verma, V. (2019). A Short Review on Al MMC with Reinforcement Addition Effect on Their Mechanical and Wear Behaviour. *Advances in Composite Materials Development*. Thermochemistry of Materials Scientific Research Centre, National University of Science and Technology "MISIS", Moscow, Russia.
- Wicaksono, T.R., Junus, S., Sholahuddin, I., dan Rozy, F.M. (2018). Pengaruh Penambahan Magnesium Dan Strontium Terhadap Kekerasan Komposit A356/nano-Al₂O₃ dengan Metode Stir Casting. *Jurnal Stator*. Volume 1(1).
- Widodo, B., Anang. S. (2019). Pengujian Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Aluminium Matrix Composite (Amc) Berpenguat Partikel Silikon Karbida (SiC) dan Alumina (Al₂O₃). *Seminar Nasional Inovasi dan Aplikasi Teknologi di Industri 2019*. ISSN 2085-4218. Institut Teknologi Nasional Malang.

Yudha,P.F. (2018). Pengaruh aging 140,160, dan 200 derajat celsius selama 7 jam terhadap sifat mekanis aluminum paduan tembaga 4,5%.*Skripsi*. Yogyakarta : Porgram Studi Teknik Mesin Universitas Sanata Dharma.

Yovanovich.M.M.(2006).Micro and Macro Hardness Measurements,Correlations, and Contact Models.*Aerospace Sciences Meeting and Exhibit*.

Zulfia.A., Dhaneswara.D., Ramdaniawati.D.(2018).The Role of Al₂O₃ Nanoparticles Addition on Characteristic of Al6061 Composite Produced by Stir Casting Process. *International Journal of Materials Science and Engineering*. Volume 6(2).



LAMPIRAN



Pengecoran Bahan



Penuangan Cairan Cor



Alat Pengecoran



Tungku Pengecoran



Proses Stir Casting dan Degassing



Hasil Coran



Mesin Bubut



Uji Tarik



Uji Kekerasan



Uji Densitas Porositas



Uji Struktur Mikro



Pembubutan Spesimen



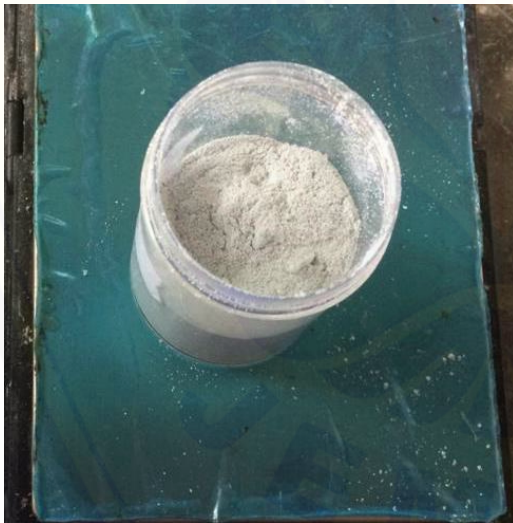
Mesin Uji Tarik



Aluminium Ingot



Magnesium Ingot



Nano-Al₂O₃



Pemasangan Kawat



Gergaji Bahan



Pemasangan Tungku Pengecoran



Kawat Baja

Lampiran Perhitungan Material

- a. Volume Cetakan = 350 gram
- b. Penambahan Nano- Al_2O_3
1. 1% x 350 = 3,5 gram
 2. 3% x 350 = 10,5 gram
 3. 5% x 350 = 17,5 gram
- c. Penambahan Magnesium
1. 5% x 350 = 17,5 gram
- d. Matriks Aluminium
1. 94% x 350 = 329 gram
 2. 92% x 350 = 322,5 gram
 3. 90% x 350 = 315 gram

Perhitungan Densitas-Porositas

- a. Perhitungan Volume teoritis masing-masing komposit

- $V_{\text{komposit 1}}$ (1% Nano- Al_2O_3 + 94% Aluminium + 5% Mg)

$$\begin{aligned} V_{1\% \text{ Nano-Al}_2\text{O}_3} &= \frac{\text{massa (gr)}}{\text{densitas (gr/cm}^3\text{)}} \\ &= \frac{3,5 \text{ gram}}{3,9 \text{ (gr/cm}^3\text{)}} \\ &= 0,897 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{94\% \text{ Aluminium}} &= \frac{\text{massa (gr)}}{\text{densitas (gr/cm}^3\text{)}} \\ &= \frac{329 \text{ gram}}{2,7 \text{ (gr/cm}^3\text{)}} \\ &= 121,81 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{5\% \text{ magnesium}} &= \frac{\text{massa (gr)}}{\text{densitas (gr/cm}^3\text{)}} \\ &= \frac{17,5 \text{ gram}}{1,7 \text{ (gr/cm}^3\text{)}} \\ &= 10,294 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$V_{\text{komposit 1}} = 133,042 \text{ cm}^3$$

$$\rho_{\text{teoritis 1}} = \frac{MA1 (121,81 \times 2,7) + MA2O3 (0,897 \times 3,9) + Mmg(10,297 \times 1,7)}{133,042 \text{ cm}^3}$$

$$= 2,629 \text{ gr/cm}^3$$

- $V_{\text{komposit 2}}$ (3% Nano- Al_2O_3 + 92% Aluminium + 5%Mg)

$$\begin{aligned} V_{3\% \text{ Nano-Al}_2\text{O}_3} &= \frac{\text{massa (gr)}}{\text{densitas (gr/cm}^3\text{)}} \\ &= \frac{10,5 \text{ gram}}{3,9 \text{ (gr/cm}^3\text{)}} \\ &= 2,692 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{92\% \text{ Aluminium}} &= \frac{\text{massa (gr)}}{\text{densitas (gr/cm}^3\text{)}} \\ &= \frac{322,5 \text{ gram}}{2,7 \text{ (gr/cm}^3\text{)}} \\ &= 119,44 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{5\% \text{ magnesium}} &= \frac{\text{massa (gr)}}{\text{densitas (gr/cm}^3\text{)}} \\ &= \frac{17,5 \text{ gram}}{1,7 \text{ (gr/cm}^3\text{)}} \\ &= 10,294 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$V_{\text{komposit 2}} = 132,43 \text{ cm}^3$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{teoritis 2}} &= \frac{Al(119,44 \times 2,7) + Al_2O_3(2,692 \times 3,9) + Mg(10,297 \times 1,7)}{133,43 \text{ cm}^3} \\ &= 2,644 \text{ gr / cm}^3 \end{aligned}$$

- $V_{\text{komposit 3}}$ (5% Nano- Al_2O_3 + 92% Aluminium + 5%Mg)

$$\begin{aligned} V_{5\% \text{ Nano-Al}_2\text{O}_3} &= \frac{\text{massa (gr)}}{\text{densitas (gr/cm}^3\text{)}} \\ &= \frac{17,5 \text{ gram}}{3,9 \text{ (gr/cm}^3\text{)}} \\ &= 4,487 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{90\% \text{ Aluminium}} &= \frac{\text{massa (gr)}}{\text{densitas (gr/cm}^3\text{)}} \\ &= \frac{315 \text{ gram}}{2,7 \text{ (gr/cm}^3\text{)}} \\ &= 116,667 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{5\% \text{ magnesium}} &= \frac{\text{massa (gr)}}{\text{densitas (gr/cm}^3\text{)}} \\ &= \frac{17,5 \text{ gram}}{1,7 \text{ (gr/cm}^3\text{)}} \\ &= 10,294 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$V_{\text{komposit 2}} = 131,448 \text{ cm}^3$$

$$\rho_{\text{teoritis 3}} = \frac{MAI (116,667 \times 2,7) + MAI2O3 (4,487 \times 3,9) + Mmg(10,297 \times 1,7)}{131,448 \text{ cm}^3}$$

$$= 2,662 \text{ gr / cm}^3$$

b. Porositas (%) masing-masing komposit

$$\text{Porositas (\%)} = \frac{\rho_{\text{teoritis}} - \rho_{\text{aktual}}}{\rho_{\text{teoritis}}} \times 100\%$$

- Porositas (%) Al/Kawat + 1% Al₂O₃ = $\frac{2,644 - 1,66}{2,644} \times 100\%$

$$= 3,72 \%$$

- Porositas (%) Al/Kawat + 3% Al₂O₃ = $\frac{2,629 - 1,72}{2,629} \times 100\%$

$$= 3,44 \%$$

- Porositas (%) Al/Kawat + 1% Al₂O₃ = $\frac{2,622 - 1,73}{2,622} \times 100\%$

$$= 3,37 \%$$