



**PENGARUH FRAKSI BERAT SiC dan Cu TERHADAP
KARAKTERISTIK KOMPOSIT Al6061**

SKRIPSI

Oleh

Danny Febriansyah

NIM 151910101087

PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2020



**PENGARUH FRAKSI BERAT SiC dan Cu TERHADAP
KARAKTERISTIK KOMPOSIT Al6061**

SKRIPSI

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

Oleh

Danny Febriansyah

NIM 151910101087

PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2020

PERSEMBAHAN

Dengan segala puji syukur kehadiran Allah SWT maka skripsi ini penulis persembahkan kepada:

1. Allah SWT. yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik;
2. Ayahanda Nowo Sudarmo dan Ibunda Erni Heriwati yang telah memberikan dukungan baik berupa materil dan non materil;
3. Guru-guru sejak taman kanak-kanak hingga perguruan tinggi yang telah membimbing dan memberikan ilmu yang bermanfaat;
4. Almamater Fakultas Teknik Universitas Jember yang telah memberikan sarana dan prasarana untuk menuntut ilmu.

MOTTO

“Balas dendam terbaik adalah kesuksesan yang hakiki.”
(Frank Sinatra)

“Jika kamu tidak sanggup menahan lelahnya belajar,
Maka kamu harus sanggup menahan perihnya kebodohan.”
(Imam Syafi’i)

"Ketika kau sedang mengalami kesusahan dan bertanya-tanya kemana Allah,
cukup ingat bahwa seorang guru selalu diam saat ujian berjalan."
(Nourman Ali Khan)

“If you can dream it, you can do it”
(Walt Disney)

“Lebih baik diasingkan daripada menyerah pada kemunafikan”
(Soe Hok Gie)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Danny Febriansyah

NIM : 151910101087

Menyatakan dengan sesungguhnya laporan skripsi dengan judul “Pengaruh Fraksi Berat SiC dan Cu Terhadap Karakteristik Komposit Al6061” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang telah disebutkan sumbernya, dan belum pernah diajukan pada instansi manapun. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan penuh kesadaran dan tanggung jawab tanpa ada unsur pemaksaan serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 20 Januari 2020

Yang Menyatakan,

Danny Febriansyah

151910101087

SKRIPSI

**PENGARUH FRAKSI BERAT SiC dan Cu TERHADAP
KARAKTERISTIK KOMPOSIT Al6061**

Oleh:

Danny Febriansyah

NIM 151910101087

Pembimbing:

Dosen Pembimbing Utama : Ir. Sumarji, S.T., M.T.

Dosen Pembimbing Anggota : Ir. Mahros Darsin S.T., M.Sc., Ph.D

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “*Pengaruh Fraksi Berat SiC dan Cu Terhadap Karakteristik Komposit Al6061*” telah diuji dan disahkan pada:

Hari, Tanggal : Senin, 20 Januari 2020

Tempat : Ruang Ujian II Fakultas Teknik Universitas Jember

Pembimbing,

Pembimbing I,

Pembimbing II,

Ir. Sumarji, S.T., M.T.
NIP 19680202199702 1 001

Ir. Mahros Darsin S.T., M.Sc., Ph.D
NIP 19700322199501 1 001

Penguji,

Penguji I,

Penguji II,

Dr. Ir. Agus Triono, S.T., M.T.
NIP 19700807200212 1 001

Ir. Robertus Sidartawan, S.T., M.T.
NIP 19700310199702 1 001

Mengesahkan,
Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember

Dr. Ir. Triwahju Hardianto, S.T., M.T.
NIP 19700826199702 1 001

RINGKASAN

Pengaruh Fraksi Berat SiC dan Cu Terhadap Karakteristik Komposit Al6061;

Danny Febriansyah, 151910101087; 2020; 60 Halaman; Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Jember.

Seiring dengan kemajuan teknologi yang sedang terjadi dibutuhkan material yang tidak hanya memiliki sifat mekanis yang baik, tetapi juga memiliki keunggulan lain yakni murah dan ringan sehingga didapatkan kualitas kerja yang maksimal. Sifat seperti ini dapat diperoleh dengan mengkombinasikan beberapa jenis material, sehingga dikembangkanlah material komposit. *Metal Matrix Composites* (MMC) merupakan salah satu jenis komposit yang mempunyai matriks logam. Pemilihan material dalam membuat *Metal Matrix Composites* (MMC) merupakan hal terpenting. Dalam penelitian ini akan menggunakan paduan Al6061.

Untuk meningkatkan karakteristik dari paduan aluminium, ditambahkan pula unsur paduan. Unsur paduan yang ditambahkan pada Al6061 ini adalah *Silicon Carbide* (SiC) dan Tembaga (Cu). Dalam proses pembuatan dan pengujian spesimen Al6061 dengan penambahan fraksi berat (1 %, 3 %, dan 5 %) SiC dan (5% dan 8%) Cu. Metode pada penelitian ini menggunakan metode *Stir Casting*. Pengujian spesimen dilakukan pada setiap variasi yang sudah ditentukan. Pengujian spesimen meliputi pengujian kekerasan, pengujian tarik, pengamatan struktur mikro, dan pengamatan dengan *Scanning Electron Microscopy* (SEM).

Hasil penelitian ini, dengan ditambahkan *Silicon Carbide* (SiC) dan tembaga (Cu) pada paduan aluminium 6061 dapat mempengaruhi nilai kekerasan komposit tersebut. Nilai kekerasan tertinggi diperoleh pada paduan dengan penambahan SiC dan Cu terbesar yaitu Al6061 penambahan 5% SiC dengan nilai 80,46 HRB (5% Cu) dan 109,37 HRB (8% Cu). Penambahan *Silicon Carbide* (SiC) dan tembaga (Cu) pada paduan aluminium 6061 mempengaruhi nilai kekuatan tarik maksimum (*Ultimate Tensile Strength / UTS*) dan nilai elongasi. Nilai kekuatan

tarik maksimum tertinggi diperoleh pada paduan dengan penambahan SiC dan Cu terbesar yaitu Al6061 penambahan 5% SiC dengan nilai 202,48 MPa (5% Cu) dan 211,80 MPa (8% Cu). Sedangkan nilai elongasi terendah diperoleh pada paduan dengan penambahan SiC dan Cu terbesar yaitu Al6061 penambahan 5% SiC dengan nilai 3,167 % (5% Cu) dan 2,8 % (8% Cu). Dari hasil pengamatan uji mikro, penambahan unsur *Silicon Carbide* (SiC) dan tembaga (Cu) dimana terjadi pembentukan butir kolumnar dan mengalami perpecahan ukuran butir. Pembentukan butir kolumnar dan perpecahan butir terjadi semakin banyak seiring dengan ditambahkan kadar *Silicon Carbide* (SiC) dan tembaga (Cu). Dari hasil pengamatan *Scanning Electron Microscopy* (SEM), penambahan unsur *Silicon Carbide* (SiC) dan tembaga (Cu) membentuk beberapa fasa baru. Fasa yang terbentuk adalah AlZnMgCu, α (Al) + AlZnMgCu, Al₂Cu, Al₂CuMg dan SiC.

Penelitian ini membuktikan bahwa penambahan *Silicon Carbide* (SiC) dan tembaga (Cu) dapat meningkatkan kekerasan dan kekuatan tarik maksimum pada Al6061. Namun semakin banyaknya penambahan *Silicon Carbide* (SiC) dan tembaga (Cu) dapat mengurangi nilai elongasi pada Al6061. Dari struktur mikro membuktikan bahwa dengan semakin banyak penambahan *Silicon Carbide* (SiC) dan tembaga (Cu) dapat memperkecil butiran. Semakin banyak butiran-butiran yang mengecil, maka spesimen tersebut nilai kekerasannya meningkat dan kekuatan tarik maksimum yang semakin tinggi. Dengan penambahan unsur *Silicon Carbide* (SiC) dan tembaga (Cu) juga membentuk fasa baru yang dapat memperbaiki sifat dari Al6061.

SUMMARY

Effect of Weight fraction of SiC and Cu on Composite Characteristics of Al6061;
Danny Febriansyah, 151910101087; 2020; 60 pages; Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Jember.

Along with advances in technology is happening takes material that not only has good mechanical properties, but also has another advantage that is cheaper and lighter so we get the maximum quality of work. These properties can be obtained by combining several types of materials, so that composite materials are developed. Metal Matrix Composites (MMC) is a type of composite that has a metal matrix. Selection of materials in making Metal Matrix Composites (MMC) is the most important thing. This research will use Al6061 alloy.

To improve the characteristics of aluminum alloys, also added alloying elements. Alloying element is added to this Al6061 is Silicon Carbide (SiC) and copper (Cu). In the process of manufacture and testing of specimens Al6061 with the addition of the heavy fraction (1%, 3% and 5%) SiC and (5% and 8%) Cu. The method in this study using methods Stir Casting. Tests performed on each variety of specimens that have been determined. Specimen testing includes hardness testing, tensile testing, microstructure observation, and observation with Scanning Electron Microscopy (SEM).

The results of this study, with the addition of Silicon Carbide (SiC) and copper (Cu) to the 6061 aluminum alloy can affect the hardness of the composite. The highest hardness value was obtained in the alloy with the largest addition of SiC and Cu, namely Al6061 adding 5% SiC with a value of 80.46 HRB (5% Cu) and 109.37 HRB (8% Cu). The addition of Silicon Carbide (SiC) and copper (Cu) to aluminum alloy 6061 affects the value of maximum tensile strength (Ultimate Tensile Strength / UTS) and elongation values. The highest maximum tensile strength value is obtained in the alloy with the largest addition of SiC and Cu, namely Al6061 adding 5% SiC with a value of 202.48 MPa (5% Cu) and 211.80

MPa (8% Cu). While the lowest elongation value was obtained in alloys with the largest addition of SiC and Cu, namely Al6061 adding 5% SiC with a value of 3.167% (5% Cu) and 2.8% (8% Cu). From the results of observations of micro tests, the addition of elements of Silicon Carbide (SiC) and copper (Cu) where columnar grains occur and have split grain sizes. The formation of columnar grains and grain splits occur more and more along with the addition of levels of Silicon Carbide (SiC) and copper (Cu). From the observation of Scanning Electron Microscopy (SEM), the addition of elements of Silicon Carbide (SiC) and copper (Cu) forms several new phases. The phases formed are AlZnMgCu, α (Al) + AlZnMgCu, Al₂Cu, Al₂CuMg and SiC.

This research proves that the addition of Silicon Carbide (SiC) and copper (Cu) can increase the maximum hardness and tensile strength in Al6061. However, the increasing number of Silicon Carbide (SiC) and copper (Cu) can reduce the elongation value in Al6061. Microstructure shows that with the addition of Silicon Carbide (SiC) and copper (Cu), it can reduce grain. The more the granules are smaller, then the specimen increased hardness and tensile strength that the higher maximum. With the addition of elements of Silicon Carbide (SiC) and copper (Cu) also formed a new phase which can improve the properties of Al6061.

PRAKATA

Puji dan syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul *“Pengaruh Fraksi Berat SiC dan Cu Terhadap Karakteristik Komposit Al6061”*. Skripsi ini disusun guna memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) di Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember.

Dalam proses penelitian dan penyusunan skripsi ini tidak lepas dari dukungan dan bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu penulis mengucapkan terimakasih kepada :

1. Bapak Dr. Ir. Triwahyu Hardianto, S.T., M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember;
2. Bapak Ir. Hari Arbiantara, S.T, M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember;
3. Bapak Dr. Ir. Salahuddin Yunus, S.T, M.T., selaku Ketua Program Studi S1 Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember;
4. Bapak Ir. Sumarji, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Utama;
5. Bapak Ir. Mahros Darsin S.T., M.s.c., Ph.D, selaku Dosen Pembimbing Anggota;
6. Bapak Dr. Ir. Agus Triono S.T., M.T., selaku Dosen Penguji Utama;
7. Bapak Ir. Robertus Sidartawan, S.T., M.T., selaku Dosen Penguji Anggota;
8. Bapak Ir. Dwi Djumhariyanto, M.T., selaku Dosen Pembimbing Akademik;
9. Ayah, Ibu, kakak dan keluarga yang telah mendo'akan dan memberikan dukungan selama kuliah di Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin Universitas Jember;
10. Civitas akademika Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember;
11. Bella Nurfadhilah yang telah membantu dan mensupport segala aspek;
12. Visarlizzaki, Tohirun Tian Mada, dan Ahmad Wafi yang telah menjadi kelompok yang sangat profesional;

13. Terima kasih kepada angkatan Jurusan Teknik Mesin 2015 (M17) yang menemani selama berproses dan menimbah ilmu di Universitas Jember.

Jember, 20 Januari 2020

Penulis



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	ii
PERSEMBAHAN.....	iii
MOTTO	iv
PENYATAAN.....	v
HALAMAN PEMBIMBING.....	vi
HALAMAN PENGESAHAN	vii
RINGKASAN	viii
<i>SUMMARY</i>	x
PRAKATA.....	xii
DAFTAR ISI.....	xiv
DAFTAR TABEL.....	xvii
DAFTAR GAMBAR.....	xviii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan dan Manfaat	3
1.3.1 Tujuan	3
1.3.2 Manfaat	4
1.4 Batasan Masalah	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Komposit.....	5
2.1.1 Fiber (Serat)	6
2.1.2 Resin (Matriks)	7
2.2 Jenis Komposit	7
2.2.1 Komposit Matriks Keramik	8

2.2.2 Komposit Matriks Polimer.....	8
2.2.3 Komposit Matriks Logam.....	9
2.3 Alumunium.....	10
2.3.1 Paduan Alumunium.....	11
2.4 Unsur Paduan.....	13
2.4.1 <i>Silicon Carbide</i> (SiC).....	13
2.4.2 Tembaga (Cu).....	16
2.5 <i>Stir Casting</i>.....	17
2.5.1 Dapur Krusibel (<i>Crusible</i>).....	19
2.6 Karakteristik Sifat Material Bahan Logam.....	21
2.7 Pengujian Spesimen.....	21
2.7.1 Uji Kekerasan.....	21
2.7.2 Uji Tarik.....	23
2.7.3 Uji Mikrografi.....	25
2.7.4 Uji <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM).....	27
2.8 Hipotesis.....	29
2.9 Diagram <i>Fishbone</i>.....	30
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN.....	32
3.1 Metode Penelitian.....	32
3.2 Waktu dan Tempat.....	32
3.3 Alat dan Bahan.....	32
3.4 Variabel Penelitian.....	33
3.4.1 Variabel Bebas.....	33
3.4.2 Variabel Terikat.....	33
3.4.3 Variabel Kontrol.....	34
3.5 Proses Pembuatan Spesimen.....	34
3.6 Proses Pengujian Spesimen.....	35
3.6.1 Pengujian Tarik.....	35
3.6.2 Pengujian Kekerasan.....	36

3.6.3 Pengamatan Struktur Mikro.....	37
3.6.4 Pengujian SEM	37
3.7 Diagram Alir Penelitian	39
BAB 4. PEMBAHASAN	40
4.1 Pengujian Kekerasan.....	40
4.2 Pengujian Tarik	42
4.2.1 Nilai Kekuatan Tarik Maksimum	42
4.2.2 Nilai Elongasi	45
4.2.3 Pengamatan Morfologi Makro.....	47
4.3 Pengamatan Struktur Mikro	51
4.4 Pengamatan Dengan <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM).....	55
BAB 5. PENUTUP.....	59
5.1 Kesimpulan.....	59
5.2 Saran	60
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Sifat Serat Unggul (Surdia dan Saito, 1999).....	6
Tabel 2.2 Sifat Fisik Aluminium (Surdia dan Saito, 1999).....	10
Tabel 2.3 Sifat Mekanik Aluminium (Surdia dan Saito, 1999)	11
Tabel 2.4 Jenis paduan Aluminium (Gitter, 2008).....	11
Tabel 2.5 Spesifikasi bahan paduan Aluminium (Reddy dan Zitoun, 2010)	12
Tabel 2.6 Komposisi paduan Al6061 (Haque dkk., 2013).....	12
Tabel 2.7 Analisis komparatif dari berbagai teknik yang digunakan untuk fabrikasi komposit (Wahab dkk., 2009)	18
Tabel 3.1 Jadwal kegiatan.....	32
Tabel 3.2 Toleransi ukuran hasil dari pengujian Brinell Hardness (Sumber: ASTM E 10)	36
Tabel 4.1 Hasil Rata-rata Uji Kekerasan.....	40
Tabel 4.2 Nilai UTS dengan 5% Cu.....	43
Tabel 4.3 Nilai UTS dengan 8% Cu.....	43
Tabel 4.4 Nilai elongasi penambahan Cu 5%	45
Tabel 4.5 Nilai elongasi penambahan Cu 8%	46
Tabel 4.6 Fasa yang Terbentuk Al6061 6061 + 5% SiC dengan penambahan 5% Cu dan 8% Cu.....	56
Tabel 4.7 Fasa yang Terbentuk (Liu dkk., 2013).....	57
Tabel 4.8 Fasa yang Terbentuk (Xu dkk., 2017).....	57

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Komposisi komposit (Dantes dan Aprianto, 2017).....	5
Gambar 2.2 Diagram fasa paduan Al 6061	13
Gambar 2.3 Scanning Electron Microscopy (SEM) pada SiC serbuk ukuran 13 µm (Madeira, dkk., 2015)	14
Gambar 2.4 Scanning Electron Microscopy (SEM) pada SiC serbuk ukuran 38,8 µm (Madeira, dkk., 2015)	14
Gambar 2.5 Scanning Electron Microscopy (SEM) pada SiC serbuk ukuran 118 µm (Madeira, dkk., 2015)	14
Gambar 2.6 Perbandingan pengaruh SiC terhadap nilai kekerasan (Agnihotri dan Dagar, 2017).....	15
Gambar 2.7 Perbandingan pengaruh SiC terhadap nilai keausan (Agnihotri dan Dagar, 2017).....	15
Gambar 2.8 Pengaruh penambahan Cu pada komposit (Mittal dan Muni, 2013)..	17
Gambar 2.9 Tungku Stir Casting (Suyanto dkk., 2014).....	19
Gambar 2.10 Jenis Dapur Krusibel (Groover, 2010)	20
Gambar 2.11 Pengujian kekerasan brinell (Dantes dan Aprianto, 2017).....	22
Gambar 2.12 Alat Uji Tarik (Purnomo, 2017).....	23
Gambar 2.13 Spesimen Uji Tarik (Davis, 2004).....	24
Gambar 2.14 Kurva hasil uji tarik (Davis, 2004).....	24
Gambar 2.15 Pengaruh Etsa pada Permukaan Spesimen (Herman, 2009)	27
Gambar 2.16 Pantulan Sinar pada Pengamatan Metalografi (Herman, 2009)	27
Gambar 2.17 Perbandingan hasil gambar mikroskop dengan Scanning Electron Microscopy (SEM) (Dantes dan Aprianto, 2017)	28
Gambar 2.18 Kompone alat Scanning Electron Microscopy (SEM) (Sujatno dkk., 2015).....	28

Gambar 2.19 Hasil pengujian Scanning Electron Microscopy (SEM) pada Al6061 + 4% Cu + 5% SiC (Haque, dkk., 2014).....	29
Gambar 2.20 Diagram fishbone dari penelitian	31
Gambar 3.1 Dimensi standar ASTM B 557M sebagai sampel uji tarik (ASTM B 557M)	35
Gambar 3.2 Prinsip kerja metode Brinell Hardness (Sumber: ASTM E 10).....	36
Gambar 3.3 Alat pengujian SEM.....	38
Gambar 3.4 Diagram alir penelitian.....	39
Gambar 4.1 Hasil uji nilai kekerasan	40
Gambar 4.2 Hasil uji nilai kekuatan tarik	44
Gambar 4.3 Hasil uji nilai elongasi.....	47
Gambar 4.4 Sampel patahan uji tarik Al6061	48
Gambar 4.5 Sampel patahan uji tarik Al6061+1% SiC+5% Cu.....	48
Gambar 4.6 Sampel patahan uji tarik Al6061+3% SiC+5% Cu.....	49
Gambar 4.7 Sampel patahan uji tarik Al6061+5% SiC+5% Cu.....	49
Gambar 4.8 Sampel patahan uji tarik Al6061+1% SiC+8% Cu.....	50
Gambar 4.9 Sampel patahan uji tarik Al6061+3% SiC+8% Cu.....	50
Gambar 4.10 Sampel patahan uji tarik Al6061+5% SiC+8% Cu.....	50
Gambar 4.11 Struktur mikro Al6061	51
Gambar 4.12 Struktur mikro Al6061 dengan tambahan 5% Cu	53
Gambar 4.13 Struktur mikro Al6061 dengan tambahan 8% Cu	53
Gambar 4.14 Struktur mikro Al-Zn-Mg-Cu (Kai dkk, 2017)	54
Gambar 4.15 Pengamatan SEM paduan aluminium 6061 + 5% SiC + 5% Cu	55
Gambar 4.16 Pengamatan SEM paduan aluminium 6061 + 5% SiC + 8% Cu	55
Gambar 4.17 Pengamatan SEM (Liu dkk., 2013).....	56
Gambar 4.18 Pengamatan SEM (Xu dkk., 2017).....	57
Gambar 4.19 Pengamatan SEM (Zainuri dkk., 2008).....	58

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring dengan kemajuan teknologi yang sedang terjadi dibutuhkan material yang tidak hanya memiliki sifat mekanis yang baik, tetapi juga memiliki keunggulan lain yakni murah dan ringan sehingga didapatkan kualitas kerja yang maksimal. Sifat seperti ini dapat diperoleh dengan mengkombinasikan beberapa jenis material, sehingga dikembangkanlah material komposit. Komposit adalah bahan dimana sifat yang diinginkan dari bahan yang terpisah digabungkan dengan mekanis atau *metallurgically* mengikat mereka bersama-sama. Masing-masing komponen mempertahankan struktur dan karakteristik, tetapi komposit umumnya memiliki sifat yang lebih baik (Agnihotri dan Dagar, 2017). Ketertarikan yang cukup besar pada komposit telah dihasilkan di masa lalu karena banyak dari sifat-sifatnya dapat digambarkan dengan kombinasi sifat-sifat individual dari fase-fase konstituen dan fraksi berat dalam campuran. Bahan komposit mendapatkan penerimaan luas karena karakteristik perilakunya dengan rasio kekuatan dan berat yang tinggi (Reddy dan Zitoun, 2010).

Metal Matrix Composites (MMCs) adalah bahan yang menjanjikan untuk tingkat lanjut struktural, penerbangan, kedirgantaraan, kelautan, aplikasi pertahanan, otomotif dan sektor terkait lainnya karena kombinasi sifat fisik yang sangat baik (Prasanna dkk., 2016). Beberapa peneliti telah melakukan penelitian mengenai *metal matrix composite* (MMC) menggunakan campuran Al-SiC. Aluminium mempunyai kelebihan diantaranya ringan, tahan korosi, dan mampu tuang yang baik. Reddy dan Zitoun (2009) berhasil meneliti karakteristik dari Al6061, Al6063 dan Al7072 dengan hasil titik luluh dan kekuatan tarik Al6061 lebih unggul dibanding Al6063 dan Al7072. Dari penelitian tersebut membuktikan pemilihan aluminium merupakan hal yang penting dalam penentuan karakteristik suatu bahan. Bahan komposit Al-SiC juga diaplikasikan dalam berbagai bidang seperti pesawat luar angkasa, pesawat terbang, kapal selam, mobil, substrat dalam elektronik, stik golf, baling-baling turbin, kampas rem (Sijo dan Jayadevan, 2016).

Di sisi lain aluminium kurang mendukung untuk aplikasi tertentu yang membutuhkan kekuatan dan kekerasan, karena mempunyai kekerasan, kekuatan, dan kekakuan yang rendah (ASM Handbook Vol 2, 1990). Maka dari itu, peneliti menambahkan SiC sebagai campuran *metal matrix composite* (MMC). SiC merupakan material yang paling umum menjadi campuran dari Al6061. SiC mempunyai keunggulan dalam kekuatan, kekerasan, kekakuan, ketahanan aus dan korosi. Aluminium MMC yang diperkuat dengan partikel *Silicon Carbide* (SiC) memiliki peningkatan hingga 20% dalam kekuatan luluh, koefisien ekspansi termal yang lebih rendah, modulus elastisitas yang lebih tinggi dan ketahanan aus yang lebih tinggi daripada sistem paduan matriks yang tidak diperkuat (Jayashree dkk., 2013). Selain itu, SiC juga mudah dicari dan harganya ekonomis (Agnihotri dan Dagar, 2017).

Penambahan Cu dalam paduan Al juga menghasilkan peningkatan substansial dalam sifat mekanik dan mikro (Mittal dan Muni, 2013). Cu memiliki sifat mekanik yang sangat baik sehingga dapat digunakan untuk berbagai aplikasi dan juga AMC. Cu murni sangat lunak dan sangat sulit dikerjakan dengan mesin sehingga banyak digunakan untuk paduan dan MMC (Kumar dan Singh, 2017). Dengan penambahan unsur tembaga pada paduan aluminium silikon kekerasannya akan meningkat, daya tahan korosi turun dan berat jenisnya akan meningkat sesuai dengan jumlah kandungan tembaga. Menurut Rana dkk., (2012) tembaga memiliki pengaruh terbesar pada kekuatan dan kekerasan paduan pengecoran aluminium, baik yang diberi perlakuan panas maupun tidak, dan pada suhu lingkungan sekitar dan suhu layanan yang tinggi.

Metode manufaktur dalam pembuatan komposit mempunyai beberapa jenis yaitu metode metalurgi serbuk, metode *stir casting* dan *spray*. Diantara metode lain metode *stir casting* menghasilkan dispersi penguatan yang seragam (Sijo dan Jayadevan, 2016). *Stir casting* umumnya diterima sebagai rute yang menjanjikan karena biaya rendah, sedikit kerusakan pada penguatan dan komponen aduk cor tidak dibatasi oleh ukuran dan bentuknya (Hashim dkk., 1999). Kelebihan dari *stir casting* adalah proses manufaktur yang sederhana, fleksibilitas, dan murah dalam produksi massal (Annigeri dan Kumar, 2017).

Berdasarkan latar belakang tersebut dapat disimpulkan bahwa masih dibutuhkan penelitian mengenai pengaruh berat berat dari SiC terhadap komposit Al6061-SiC. Penelitian yang akan dilakukan adalah pembuatan komposit Al6061-SiC dengan metode *stir casting*. Variasi fraksi berat yang digunakan adalah (1 %, 3 %, dan 5 %) SiC dan (5% dan 8%) Cu.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

- a. Bagaimana pengaruh fraksi berat SiC dan Cu terhadap kekuatan uji kekerasan pada komposit Al6061?
- b. Bagaimana pengaruh fraksi berat SiC dan Cu terhadap kekuatan uji tarik pada komposit Al6061?
- c. Bagaimana pengaruh fraksi berat SiC dan Cu terhadap struktur mikro pada komposit Al6061?
- d. Bagaimana pengaruh fraksi berat SiC dan Cu terhadap uji *Scanning Electron Microscopy* (SEM) untuk melihat morfologi dan ukuran partikel yang dihasilkan pada komposit Al6061?

1.3 Tujuan dan Manfaat

1.3.1 Tujuan

Adapun tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah:

- a. Mengetahui pengaruh fraksi berat SiC dan Cu terhadap nilai kekerasan komposit Al6061;
- b. Mengetahui pengaruh fraksi berat SiC dan Cu terhadap nilai kekuatan tarik komposit Al6061;
- c. Mengetahui pengaruh fraksi berat SiC dan Cu terhadap struktur mikro pada komposit Al6061;
- d. Mengetahui pengaruh fraksi berat SiC dan Cu terhadap uji *Scanning Electron Microscopy* (SEM) untuk melihat morfologi dan ukuran partikel yang dihasilkan pada komposit Al6061.

1.3.2 Manfaat

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah :

- a. Memberi pemahaman tentang pembuatan *Metal Matrix Composite* (MMC) dengan metode *stir casting*;
- b. Memberikan informasi pengaruh fraksi berat SiC dan Cu terhadap kekuatan uji kekerasan komposit Al6061;
- c. Memberikan informasi pengaruh fraksi berat SiC dan Cu terhadap kekuatan uji tarik komposit Al6061;
- d. Memberikan informasi pengaruh fraksi berat SiC dan Cu terhadap struktur mikro pada komposit Al6061;
- e. Memberikan informasi pengaruh fraksi berat SiC dan Cu terhadap uji *Scanning Electron Microscopy* (SEM) komposit Al6061.

1.4 Batasan Masalah

Untuk mencapai tujuan yang diinginkan maka penelitian ini akan batasan masalah sebagai berikut:

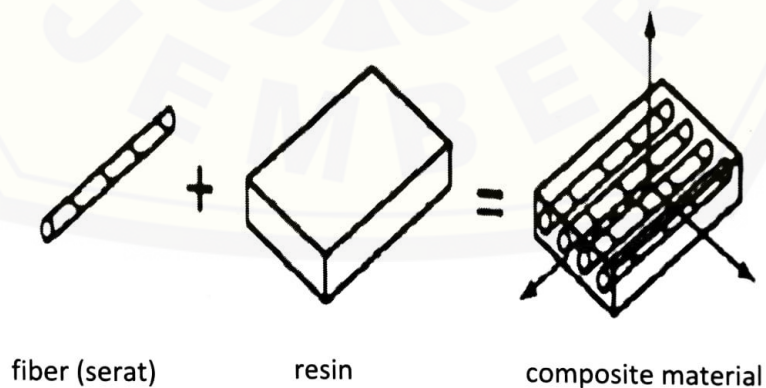
- a. Pemaduan pada spesimen dianggap homogen;
- b. Tidak ada reaksi antara logam terisolasi dengan cetakan;
- c. Temperatur peleburan dianggap homogen;
- d. Tidak menghitung pengaruh kecepatan pembekuan logam cair;
- e. Tidak menghitung berat penyusutan logam cair;
- f. Data alat pengujian yang digunakan dianggap valid;

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Komposit

Komposit merupakan suatu struktur yang tersusun atas beberapa bahan yang digabungkan menjadi struktur baru dengan sifat yang lebih baik dibandingkan dengan bahan pembentuknya (Hartono dkk., 2016). Komposit adalah material di mana sifat-sifat yang diinginkan dari material yang terpisah digabungkan dengan mengikatnya secara mekanis atau metalurgi. Setiap komponen mempertahankan struktur dan karakteristiknya, tetapi komposit umumnya memiliki sifat yang lebih baik. Bahan komposit menawarkan sifat superior untuk paduan konvensional untuk berbagai aplikasi karena mereka memiliki kekakuan tinggi, kekuatan dan ketahanan aus (Agnihotri dan Dagar, 2017).

Komposit dapat berupa penggabungan logam dengan logam, logam dengan bahan keramik, logam dengan polimer atau polimer dengan keramik (Surappa dan Rohatgi, 1981). Komposit merupakan penggabungan dari bahan pengikat atau resin dan bahan struktur penguat atau serat. Dalam penggabungan tersebut salah satu bertindak sebagai bahan pengikat dan yang lain bertindak sebagai bahan struktur penguat (Mulyanti, 2011). Seperti Gambar 2.1 menunjukkan salah satu contoh dari komposit.



Gambar 2.1 Komposisi komposit (Dantes dan Aprianto, 2017)

Material komposit mempunyai beberapa keuntungan diantaranya ialah bobotnya ringan, mempunyai kekuatan dan kekakuan yang baik, biaya produksi murah dan tahan korosi (Schwartz, 1997). Komposit mempunyai densitas yang lebih rendah dibanding bahan konvensional. Hal ini yang mengakibatkan komposit akan memiliki kekuatan dan kekakuan lebih tinggi dibanding bahan konvensional (Sari, 2018).

2.1.1 Fiber (Serat)

Dalam modern teknik material, nama komposit biasanya mengacu pada "matriks" bahan yang diperkuat dengan serat. Misalnya, istilahnya "FRP" (*Fiber Reinforced Plastic*) biasanya menunjukkan matriks poliester termoset yang mengandung serat kaca. Bahan komposit merupakan bahan heterogen menggabungkan aspek terbaik yang konstituen telah digunakan oleh alam selama jutaan tahun. Seperti terlihat pada Tabel 2.1 serat yang digunakan dalam modern komposit memiliki kekuatan dan kekakuan yang jauh di atas bahan curah tradisional. Kekuatan tinggi dari serat gelas disebabkan oleh pemrosesan yang menghindari cacat internal atau permukaan yang biasanya melemahkan gelas, dan kekuatan dan kekakuan serat aramid polimer adalah konsekuensi dari yang hampir sempurna keselarasan rantai molekul dengan sumbu serat (Mahajan dan Aher, 2012).

Tabel 2.1 Sifat Serat Unggul

Serat	Kekuatan Tarik (GN m ²)	Perpajangan Patah (%)	Massa jenis (g/cm ³)	Modulus Young (GN m ²)	Modulus Jenis (MJ/kg)
Karbon (dasar rayon viskus)	2,0	0,6	1,66	350	210
Karbon (dasar PAN)	1,8	0,5	1,99	400	200
Gelas (jenis E)	3,2	2,3	2,54	75	30
Baja	3,5	2,0	7,80	200	26
Kevlar	3,2	6,5	1,44	57	40
Nilon 66	0,9	14,0	1,14	7	6
Poliester	1,1	9,0	1,38	15	12

(Surdia dan Saito, 1999)

2.1.2 Resin (Matriks)

Tentu saja, bahan-bahan pada Tabel 2.1 umumnya tidak dapat digunakan sebagai serat sendiri, dan biasanya mereka diresapi oleh bahan matriks. Matriks adalah fasa dalam komposit yang mempunyai bagian atau fraksi berat terbesar (dominan). Matriks melarutkan sifat sampai tingkat tertentu, tetapi menambahkan sifat spesifik dari bahan. Berikut adalah kegunaan matriks dalam komposit, yaitu:

- a. Matriks yang bertindak untuk mentransfer beban ke serat;
- b. Membentuk ikatan koheren antara permukaan matriks dan serat;
- c. Melindungi serat dari abrasi dan serangan lingkungan;
- d. Memisahkan serat;
- e. Melepas ikatan;
- f. Tetap stabil setelah proses manufaktur.

2.2 Jenis Komposit

Komposit memiliki berbagai macam jenis yang dapat kita klasifikasikan. Perbedaan jenis ini berdasarkan bahan baku (serat maupun resin) yang digunakan dalam membuat suatu komposit. Perbedaan yang ada dikarenakan tersedianya alternatif-alternatif bahan baku komposit yang kini berkembang. Jenis komposit terbagi 3 yaitu komposit matriks keramik, komposit matriks polimer, dan komposit matriks logam.

2.2.1 Komposit Matriks Keramik (*Ceramic Matrix Composites, CMC*)

Komposit matriks keramik (*Ceramic Matrix Composites, CMC*) merupakan material dengan dua fasa yaitu satu fasa berfungsi sebagai *reinforcement* dan satu fasa yang lain sebagai matriks, dimana matriksnya terbuat dari keramik. *Reinforcement* yang umum digunakan pada komposit matriks keramik (*Ceramic Matrix Composites, CMC*) adalah oksida, carbide, dan nitrid. Untuk matriks pada komposit matriks keramik (*Ceramic Matrix Composites, CMC*) umumnya menggunakan gelas anorganik, keramik gelas, alumina dan silicon nitride.

Salah satu proses pembuatan dari Komposit matriks keramik (*Ceramic Matrix Composites, CMC*) yaitu dengan proses DIMOX, yaitu proses pembentukan

komposit dengan reaksi oksidasi leburan logam untuk pertumbuhan matriks keramik disekeliling daerah filler (penguat). Berikut adalah keuntungan dari komposit matriks keramik (*Ceramic Matrix Composites, CMC*), yaitu:

- a. Dimensinya stabil bahkan lebih stabil daripada logam;
- b. Sangat tangguh , bahkan hampir sama dengan ketangguhan dari *cast iron*;
- c. Mempunyai karakteristik permukaan yang tahan aus;
- d. Unsur kimianya stabil pada temperature tinggi;
- e. Tahan pada temperatur tinggi;
- f. Kekuatan & ketangguhan tinggi, dan ketahanan korosi tinggi.

2.2.2 Komposit Matriks Polimer (*Polymer Matrix Composites, PMC*)

Komposit matriks polimer (*Polymer Matrix Composites, PMC*) memiliki matriks termoplastik atau termoseting polimer, biasanya serat gelas tersedia dalam bentuk bahan tenun yang tertanam dalam poliester. Jenis polimer yang digunakan dalam komposit matriks polimer (*Polymer Matrix Composites, PMC*) biasanya adalah *thermoplastic* dan *thermoset*. *Thermoplastic* adalah plastik yang dapat dilunakkan berulang kali (*recycle*) dengan menggunakan panas. *Thermoplastic* merupakan polimer yang akan menjadi keras apabila didinginkan. Contoh dari *thermoplastic* yaitu Poliester, Nylon 66, PP, PTFE, PET, Polieter sulfon, PES, dan Polieter eterketon (PEEK). *Thermoset* tidak dapat mengikuti perubahan suhu (*irreversibel*). Bila sekali pengerasan telah terjadi maka bahan tidak dapat dilunakkan kembali. Contoh dari *thermoset* yaitu Epoksida, Bismaleimida (BMI), dan Poli-imida (PI). Aplikasi dari Komposit Matriks Polimer (*Polymer Matrix Composites, PMC*) pada suhu tidak lebih dari 200 °C adalah aplikasi komersial, industri, dan transportasi, termasuk pipa tahan kimia, katup, bejana tekan, dan reactor (Mahajan dan Aher, 2012).

Komposit ini mempunyai sifat sebagai berikut :

- a. Biaya pembuatan lebih rendah
- b. Dapat dibuat dengan produksi massal
- c. Ketangguhan baik
- d. Tahan simpan

- e. Siklus pabrikan dapat dipersingkat
- f. Kemampuan mengikuti bentuk
- g. Lebih ringan.

Keuntungan dari Komposit Matriks Polimer (*Polymer Matrix Composites, PMC*):

- a. Ringan
- b. Specific stiffness tinggi
- c. Specific strength tinggi
- d. Anisotropy

2.2.3 Komposit Matriks Logam (*Metal Matrix Composites, MMC*)

Metal Matrix Composites (MMC) adalah salah satu jenis komposit yang mempunyai matriks logam. Material *Metal Matrix Composites (MMC)* dikembangkan sejak tahun 1996 (Dantes dan Aprianto, 2017). *Metal Matrix Composites (MMCs)* adalah bahan yang menjanjikan untuk tingkat lanjut struktural, penerbangan, kedirgantaraan, kelautan, aplikasi pertahanan, otomotif dan sektor terkait lainnya karena kombinasi sifat fisik yang sangat baik (Prasanna dkk., 2016). Komposit matriks logam (*Metal Matrix Composites, MMC*) mempunyai keuletan yang tinggi, mempunyai titik lebur yang rendah dan mempunyai densitas yang rendah. Pada kesempatan ini peneliti menggunakan komposit matriks logam (*Metal Matrix Composites, MMC*).

Berikut adalah kelebihan *Metal Matrix Composites (MMC)* yaitu (Dantes dan Aprianto, 2017):

- a. Transfer tegangan dan regangan yang sangat baik
- b. Ketahanan terhadap temperatur tinggi
- c. Tidak menyerap kelembapan
- d. Tidak mudah terbakar
- e. Kekuatan tekan dan geser yang baik
- f. Ketahanan aus dan muai termal yang baik

2.3 Aluminium

Pemilihan material dalam membuat *Metal Matrix Composites (MMC)* merupakan hal terpenting. Karena pemilihan material ini memegang peranan penting dalam menentukan sifat mekanik dari komposit. Salah satu yang rutin digunakan untuk aplikasi dari *Metal Matrix Composites (MMC)* adalah aluminium. Aluminium salah satu logam yang banyak digunakan dalam industri. *Aluminium Matrix Composite (AMC)* telah menemukan aplikasi luas dalam kehidupan kita sehari-hari (Rahman dan Rashed, 2014).

Aluminium merupakan logam ringan yang memiliki kekuatan yang relatif rendah namun memiliki ketahanan korosi dan hantaran hantaran listrik yang baik. Lambang aluminium ialah Al dengan nomor atomnya 13 dan memiliki massa jenis 2.7 g/cm^3 . Aluminium dianggap mempunyai kelebihan diantaranya yaitu ringan, tahan korosi, dan mampu tuang yang baik. Aluminium komposit memiliki sejumlah fitur positif, seperti: kepadatan kecil, konduktivitas termal yang baik dan ketahanan terhadap korosi (Stojanovic dkk., 2013). Sifat fisik aluminium akan dijelaskan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Sifat Fisik Aluminium

Sifat-sifat	Kemurnian Al (%)	
	99,9996	>99,0
Massa jenis (20 °C)	2,6989	2,71
Titik cair	660,2	653-667
Panas jenis (cal/g. °C) (100 °C)	0,2226	0,2297
Hantaran listrik (%)	64,94	59
Tahanan listrik koefisien temperature (/°C)	0,00429	0,0115
Koefisien pemuaian (20-100 °C)	$23,86 \times 10^{-6}$	$23,5 \times 10^{-6}$
Jenis Kristal, konstanta kisi	FCC, a = 4,013 kX	FCC, a = 4,04 kX

(Surdia dan Saito, 1999)

Keutamaan aluminium dalam bidang teknik yaitu sifatnya yang unik dan menarik seperti dapat ditempa menjadi lembaran, ditarik menjadi kawat dan diekstrusi menjadi batangan dengan bermacam-macam penampang. Sifat mekanik aluminium dijelaskan pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Sifat Mekanik Aluminium

Sifat-sifat	Kemurnian Al			
	99,9996		>99,0	
	Dianil	75 % Dirol Dingin	Dianil	H18
Kekuatan Tarik (kg/mm ²)	4,9	11,6	9,3	16,9
Kekuatan mulur (kg/mm ²)	1,3	11,0	3,5	14,8
Perpajangan (%)	48,8	5,5	35	5
Kekerasan Brinell	17	27	23	44

(Surdia dan Saito, 1999)

2.3.1 Paduan Aluminium

Aluminium kurang mendukung untuk aplikasi tertentu yang membutuhkan kekuatan dan kekerasan, karena mempunyai kekerasan, kekuatan, dan kekakuan yang rendah (ASM Handbook Vol 2, 1990). Maka dari itu, dibutuhkan unsur tambahan pada aluminium. Unsur-unsur paduan yang digunakan untuk meningkatkan sifat mekanik aluminium adalah tembaga, silikon, mangan, magnesium, zinc dan unsur-unsur lainnya (Surdia dan Saito, 1999). Paduan aluminium diwakili oleh 1XXX, 2XXX, 3XXX hingga 8XXX. Penunjukan seri 1xxx berkaitan dengan bahan aluminium yang tidak murni yang dibedakan menurut tingkat kemurniannya. Penunjukan seri 8xxx adalah untuk jenis campuran lainnya (paduan Fe) yang tidak dapat dikelompokkan dalam paduan lain (Jayashree dkk., 2013). Digit pertama memberikan informasi dasar tentang elemen-elemen paduan utama seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Jenis paduan Aluminium

Paduan Aluminium	Keterangan
1XXX	99 % murni Aluminium
2XXX	Cu merupakan paduan utama
3XXX	Mn merupakan paduan utama
4XXX	Si merupakan paduan utama
5XXX	Mg merupakan paduan utama
6XXX	Mg dan Si merupakan paduan utama
7XXX	Zn merupakan paduan utama
8XXX	Paduan lain

(Gitter, 2008)

Diantara paduan aluminium di atas, penelitian ini akan menggunakan paduan Al6061. Paduan Al6061 sangat tahan korosi, sifatnya *extricable* dan menunjukkan kekuatan sedang. Ini menemukan aplikasi yang luas di bidang konstruksi, otomotif dan bidang kelautan (Jayashree dkk., 2013). Reddy dan Zitoun (2009) berhasil meneliti karakteristik dari Al6061, Al6063 dan Al7072 dengan hasil titik luluh dan kekuatan tarik Al6061 lebih unggul dibanding Al6063 dan Al7072. Tabel 2.5 berikut adalah perbandingan spesifikasi bahan paduan Aluminium.

Tabel 2.5 Spesifikasi bahan paduan Aluminium

Matrix Material	Density (g/cc)	Modulus of Elasticity (GPa)	Ultimate Tensile Strength (MPa)	Elongation (%)
Al6061	2.7	68.9	241	22
Al6063	2.7	68.9	172	22
Al7072	2.72	68.0	168	15

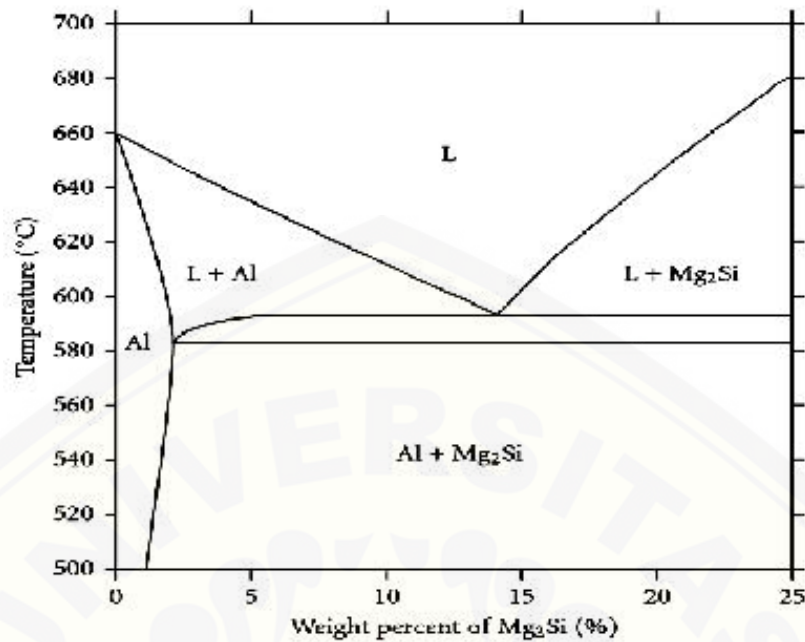
(Reddy dan Zitoun, 2010)

Dari tabel diatas menunjukkan nilai densitas, modulus elastisitas, kekuatan tarik dan elongasi dari Al6061, Al6063 dan Al7072. Setelah dilakukan pengujian, Al6061 memiliki tegangan luluh, tegangan maksimum dan keuletan tertinggi dibanding Al6063 dan Al7072 (Reddy dan Zitoun, 2010). Dari penelitian tersebut membuktikan pemilihan aluminium merupakan hal yang penting dalam penentuan karakteristik suatu bahan. Maka dari itu, pada penelitian ini menggunakan paduan aluminium 6061. Komposisi paduan Al6061 disajikan pada Tabel 2.6 dan diagram fasa Al 6061 disajikan pada Gambar 2.2.

Tabel 2.6 Komposisi paduan Al6061

Mg	Si	Fe	Cu	Ti	Cr	Zn	Mn	Al
0.90	0.60	0.25	0.22	0.06	0.10	0.05	0.04	Bal

(Haque dkk., 2013)



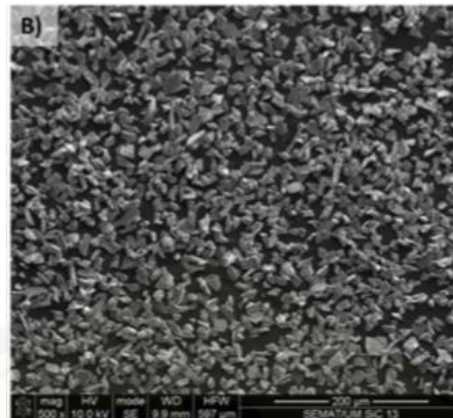
Gambar 2.2 Diagram fasa paduan Al 6061.

2.4 Unsur Paduan

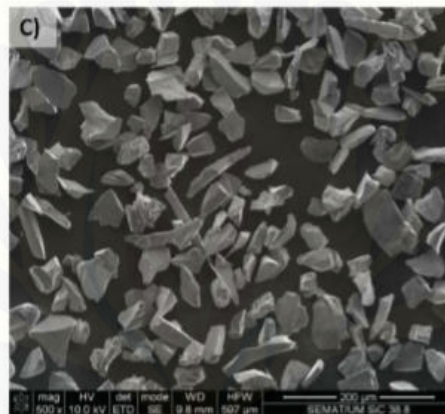
Untuk meningkatkan karakteristik dari paduan aluminium, ditambahkan pula unsur paduan. Unsur paduan yang ditambahkan pada Al6061 ini adalah *Silicon Carbide* (SiC) dan Tembaga (Cu).

2.4.1 *Silicon Carbide* (SiC)

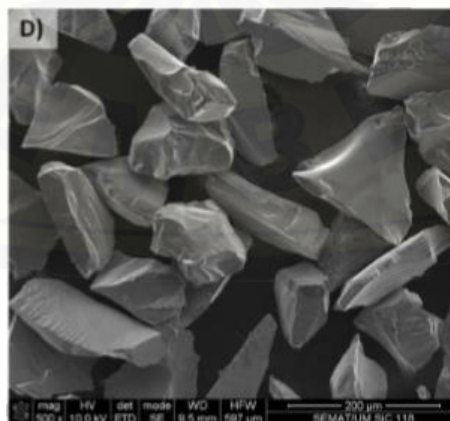
Silicon Carbide (SiC) berfungsi sebagai penguat dalam bentuk partikulat, kumis atau serat untuk meningkatkan sifat dari komposit. *Silicon Carbide* (SiC) dapat meningkatkan kekuatan keseluruhan komposit bersama dengan ketahanan terhadap korosi dan aus. Aluminium MMC yang diperkuat dengan partikel *Silicon Carbide* (SiC) memiliki peningkatan hingga 20% dalam kekuatan luluh, koefisien ekspansi termal yang lebih rendah, modulus elastisitas yang lebih tinggi dan ketahanan aus yang lebih tinggi daripada sistem paduan matriks yang tidak diperkuat (Jayashree dkk., 2013). Berikut ini adalah hasil pengujian *Scanning Electron Microscopy* (SEM) pada SiC serbuk dilihat pada Gambar 2.3 – 2.5.



Gambar 2.3 *Scanning Electron Microscopy* (SEM) pada SiC serbuk ukuran 13 μm
(Madeira dkk., 2015)

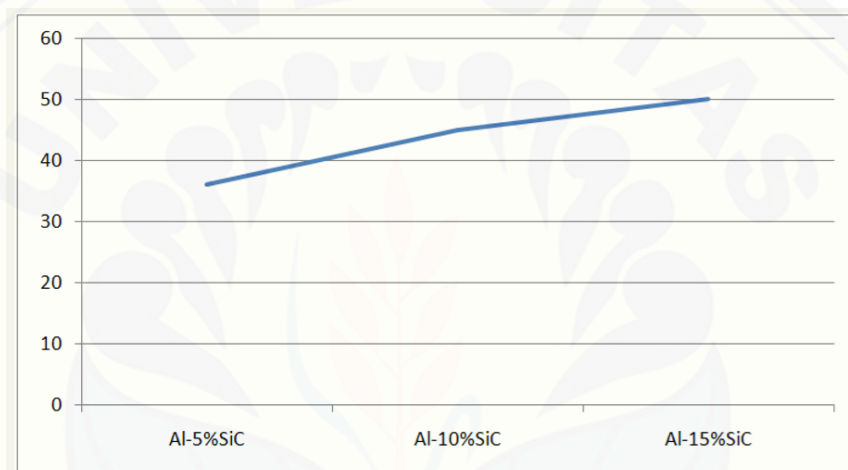


Gambar 2.4 *Scanning Electron Microscopy* (SEM) pada SiC serbuk ukuran 38,8 μm
(Madeira dkk., 2015)

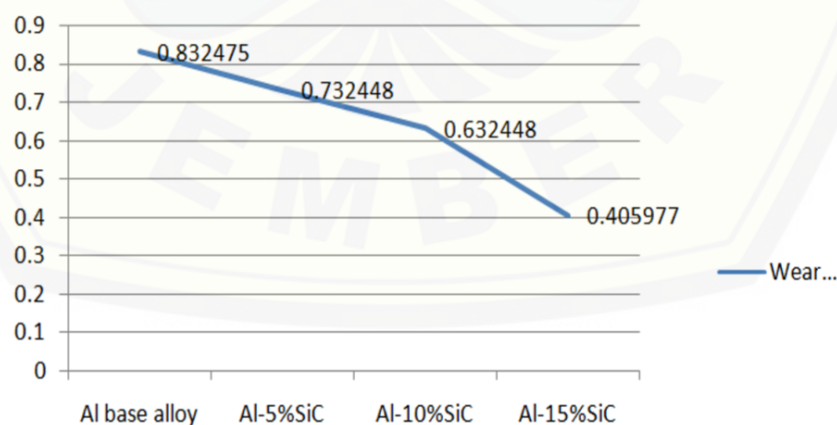


Gambar 2.5 *Scanning Electron Microscopy* (SEM) pada SiC serbuk ukuran 118 μm
(Madeira dkk., 2015)

SiC merupakan material yang paling umum menjadi campuran dari aluminium paduan. Penambahan *Silicon Carbide* (SiC) berhubungan dengan nilai modulus elastisitas komposit Al/SiC yang cenderung meningkat terhadap variabel fraksi berat penguat *Silicon Carbide* (SiC) dibandingkan komposit tanpa menggunakan pelapis metal oksida (Zainuri dkk., 2008). *Silicon Carbide* (SiC) juga mudah dicari dan harganya ekonomis (Agnihotri dan Dagar, 2017). Gambar 2.6 dan Gambar 2.7 menjelaskan pengaruh penambahan *Silicon Carbide* (SiC) terhadap nilai kekerasan dan nilai keausan.



Gambar 2.6 Perbandingan pengaruh SiC terhadap nilai kekerasan (Agnihotri dan Dagar, 2017)



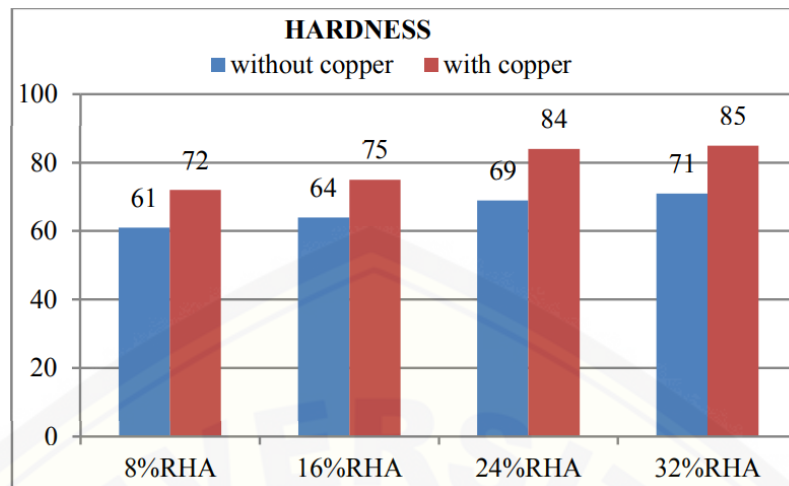
Gambar 2.7 Perbandingan pengaruh SiC terhadap nilai keausan (Agnihotri dan Dagar, 2017)

Dari Gambar 2.6 dan Gambar 2.7 dapat dilihat bahwa dengan penambahan *Silicon Carbide* (SiC) dapat meningkatkan nilai kekerasan dan mengurangi nilai keausan. Hasil tersebut juga didukung oleh penelitian yang dilakukan oleh Tekmen dan Cocen (2003) disimpulkan bahwa penambahan partikel *Silicon Carbide* (SiC) dapat meningkatkan kekerasan pada bahan komposit *Aluminum Metal Matrix Composite* (AMMC).

2.4.2 Tembaga (Cu)

Sama halnya dengan penambahan *Silicon Carbide* (SiC) pada campuran Al6061, penambahan tembaga (Cu) juga berfungsi untuk meningkatkan karakteristik dari Al6061. Tembaga (Cu) merupakan salah satu logam yang paling penting di dunia dan diolah dalam keadaan murni, dalam bentuk campuran-campuran dan sebagai elemen tambahan untuk mengubah sifat dari logam yang lain. Menurut Amstead dkk., (1997) tembaga sebagai unsur paduan aluminium dalam jumlah tertentu akan menambah kekuatan dan kekerasannya. Tembaga (Cu) juga dapat berguna dalam memperbaiki hasil coran pada paduan Al-Cu (Wahyudi, 1997).

Dengan penambahan unsur tembaga pada paduan aluminium silikon kekerasannya akan meningkat, daya tahan korosi turun dan berat jenisnya akan meningkat sesuai dengan jumlah kandungan tembaga. Penambahan tembaga pada paduan aluminium silikon juga akan membuat paduan ini memiliki respon yang baik terhadap perlakuan panas. Makin tinggi penambahan tembaga (Cu), tingkat kekerasan paduan aluminium silikon (Al-Cu) makin tinggi (Setyawan, 2006). Gambar 2.8 menjelaskan pengaruh penambahan Cu pada komposit.



Gambar 2.8 Pengaruh penambahan Cu pada komposit (Mittal dan Muni, 2013)

Pada Gambar 2.8 menjelaskan bahwa penambahan Cu dapat menaikkan kekerasan pada komposit. Penelitian tersebut juga didukung oleh Rana dkk., (2012) tembaga memiliki pengaruh terbesar pada kekuatan dan kekerasan paduan pengecoran aluminium, baik yang diberi perlakuan panas maupun tidak, dan pada suhu lingkungan sekitar dan suhu layanan yang tinggi. Tembaga juga meningkatkan *machinability* dari paduan dengan meningkatkan kekerasan matriks.

2.5 *Stir Casting*

Metode manufaktur dalam pembuatan komposit mempunyai beberapa jenis yaitu metode metalurgi serbuk, metode *stir casting* dan *spray*. Metalurgi serbuk adalah metode yang dapat mencapai bentuk komponen akhir dengan mencampurkan serbuk secara bersamaan dan dikompaksi dalam cetakan, dan selanjutnya disinter di dalam *furnace* (tungku pemanas). *Stir casting* adalah proses pengecoran dengan cara menambahkan suatu logam murni (biasanya aluminium) dengan suatu unsur penguat, dengan cara melebur logam murni tersebut kemudian logam murni yang sudah mencair tersebut diaduk-aduk secara terus menerus hingga terbentuk sebuah pusran, kemudian unsur penguat (berupa serbuk) tersebut dicampurkan sedikit demi sedikit melalui tepi dari pusran yang telah terbentuk itu.

Di antara berbagai metode manufaktur, *stir casting* umumnya diterima sebagai rute yang menjanjikan karena biaya rendah, sedikit kerusakan pada

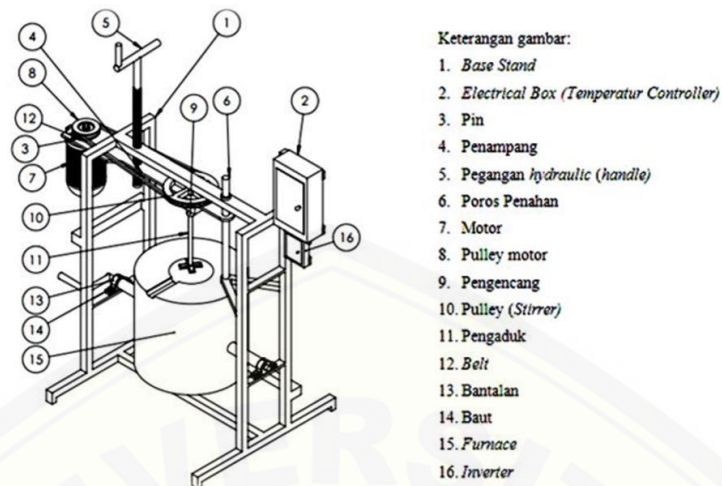
penguatan dan komponen aduk cor tidak dibatasi oleh ukuran dan bentuknya (Hashim dkk., 1999). Beberapa metode yang digunakan untuk fabrikasi dapat dilihat pada (Tabel 2.7).

Tabel 2.7 Analisis komparatif dari berbagai teknik yang digunakan untuk fabrikasi komposit

Metode	Bentuk dan Ukuran	Fraksi Berat	Kerusakan pada Penguatan	Biaya
<i>Stir casting</i>	Berbagai macam bentuk; Ukuran lebih besar; mencapai 500 kg	≤ 0.3	Tidak ada kerusakan	Murah
<i>Squeeze casting</i>	Bentuk terbatas; tinggi maksimu 2 cm	≤ 0.5	Kerusakan parah	Sedang
Metalurgi serbuk	Berbagai macam bentuk; ukuran terbatas		Ada kerusakan	Mahal
<i>Spray casting</i>	Bentuk terbatas; ukuran besar	0.3 – 0.7		Mahal

(Wahab dkk., 2009)

Pada Tabel 2.7 terlihat bahwa *stir casting* dapat menghasilkan bentuk yang lebih besar, dapat digunakan untuk produksi massal dan murah. Metode *stir casting* juga menghasilkan dispersi penguatan yang seragam (Sijo dan Jayadevan, 2016). Kelebihan dari *stir casting* adalah proses manufaktur yang sederhana, fleksibilitas, dan murah dalam produksi masal (Annigeri dan Kumar, 2017). Melihat kelebihan yang menjajikan dari *stir casting*, *stir casting* dipilih sebagai proses yang akan dilakukan pada penelitian ini. Gambar 2.9 menjelaskan komponen tungku *stir casting*.



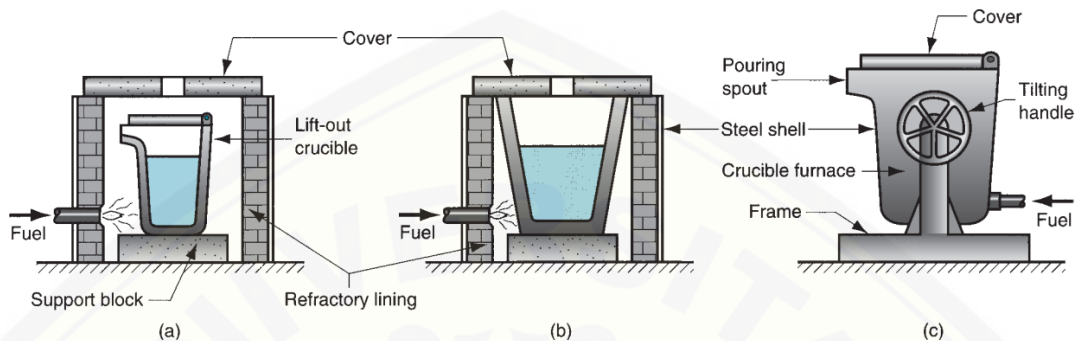
Gambar 2.9 Tungku *Stir Casting* (Suyanto dkk., 2014)

Hasil stir casting melakukan 2 tahap proses pencampuran yang menghasilkan dispersi penguatan seragam dalam *Metal Matrix Composites (MMC)* (Sijo dan Jayadevan, 2016). Kemampuan untuk memecah lapisan gas di sekitar permukaan partikel menghasilkan efektivitas metode pemrosesan 2 tahap. Langkah pertama dalam *stir casting*, bahan matriks dipanaskan hingga di atas suhu *liquidus*nya sehingga logam benar-benar meleleh. Lelehan tersebut kemudian didinginkan hingga suhu antara titik *liquidus* dan *solidus* lalu disimpan dalam keadaan semi-padat. Pada tahap ini, partikel yang dipanaskan ditambahkan dan dicampur. Bubur tersebut kembali dipanaskan hingga berbentuk cair sepenuhnya dan dicampur dengan seksama (Saravanan dkk., 2015). Distribusi akhir partikel dalam padatan tergantung pada sifat material dan parameter proses seperti kondisi pembasahan partikel saat leleh, kekuatan pencampuran, kerapatan relatif, dan laju pematatan (Sijo dan Jayadevan, 2016).

2.5.1 Dapur Krusibel (*Crusible*)

Tungku peleburan adalah alat utama pada proses pengecoran sebagai pelarutan bahan coran agar menjadi logam cair. Diantara beberapa jenis dapur peleburan, dapur krusibel dipilih untuk menjalan penelitian ini. Dapur krusibel merupakan tungku pengecoran dengan cara meleburkan logam tanpa berhubungan langsung dengan bahan pembakaran. Dapur krusibel biasa digunakan untuk

peleburan logam non-besi seperti aluminium, perunggu, kuningan, tembaga, dan seng dengan kapasitas dapur terbatas sekitar hanya beberapa puluh kilogram saja. Gambar 2.10 berikut adalah jenis-jenis dapur krusibel.



Gambar 2.10 Jenis dapur krusibel (a) lift-out crucible, (b) stationary pot, (c) tilting-pot furnace (Groover, 2010)

Dapur krusibel mempunyai beberapa jenis, antara lain.

a. Krusibel angkat (*lift out*)

Merupakan tipe tungku dimana krusibel ditempatkan didalam dapur dan dipanaskan hingga logam mencair dan menggunakan bahan bakar minyak, gas atau serbuk batu bara. Bila logam sudah mencair krusibel diangkat dari dapur menggunakan jepitan khusus dan sekaligus krusibel tersebut digunakan sebagai ladle penuangan logam cair.

b. Krusibel tetap (*stationery pot*)

Pada tungku tipe ini berbeda dengan tungku lain, dimana krusibel tidak dapat dipindahkan, untuk penuangan logam cair dibantu dengan ladle kemudian dituangkan ke cetakan.

c. Krusibel tukik (*tilting pot*)

Merupakan krusibel yang tidak bisa dipindahkan sama seperti prinsip krusibel tetap, namun cara penuangan logam dilakukan dengan cara mendekati cetakan tepat dibawah sejajar dengan corong dapur tukik agar logam cair bisa dimasukan kedalam cetakan ketika tungku ditukikkan.

2.6 Karakteristik Sifat Material Bahan Logam

Secara umum sifat atau karakteristik bahan atau material dapat dikelompokkan menjadi empat, yaitu: sifat mekanik, sifat fisik, sifat teknologi, dan sifat kimia. Sifat mekanik adalah kemampuan dan perilaku dari suatu bahan ketika menerima suatu pola pembebanan tertentu. Sifat material yang termasuk dalam kelompok sifat mekanik adalah, kekuatan tarik, kekuatan luluh, kekerasan, keuletan, ketangguhan, ketahanan aus, ketahanan creep, ketahanan terhadap rambatan retak, ketahanan pada temperatur tinggi. Dalam aplikasinya, sifat yang dimiliki oleh suatu bahan tidaklah harus unggul seluruhnya. Namun, cukup beberapa sifat saja, dan sifat tersebut memang relevan dengan persyaratan aplikasinya. Sifat yang harus dipenuhi tentu saja didasarkan pada optimasi sifat-sifat yang dimiliki dan kondisi aplikasinya. Beberapa sifat mekanik bahan menunjukkan adanya kecenderungan dengan perilaku yang saling berlawanan. Ketika suatu bahan harus memiliki keuletan tinggi, maka bahan tersebut cenderung memiliki kekuatan yang relative rendah. Begitupun sebaliknya, kekuatan bahan yang tinggi cenderung diikuti oleh keuletan yang relatif rendah. Dengan demikian, pemilihan suatu bahan akan menjadi optimasi antara beberapa sifat yang dimiliki dengan pola pembebanannya. Dalam penelitian ini yang digunakan hanya sifat mekanik untuk mengetahui nilai kekerasan dan nilai tarik.

2.7 Pengujian Spesimen

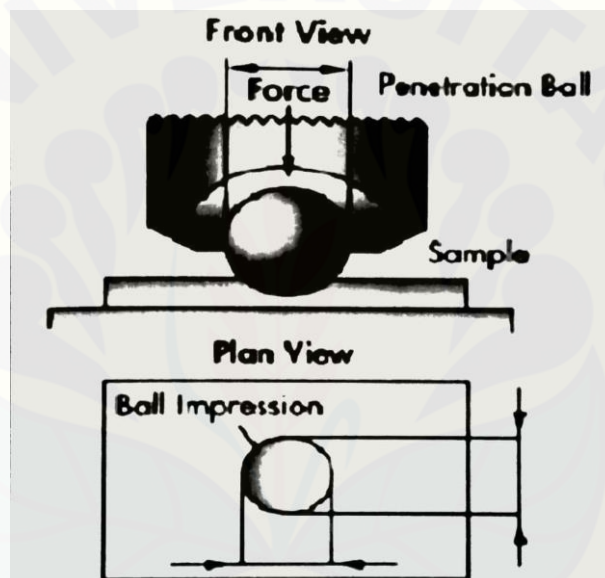
Komposit yang telah dibuat kemudian dilakukan pengujian untuk mengetahui karakteristik dan kekuatan dari komposit tersebut. Adapun pengujian yang dilakukan pada penelitian ini adalah uji kekerasan, uji tarik dan uji *Scanning Electron Microscopy* (SEM).

2.7.1 Uji Kekerasan

Kekerasan merupakan salah satu sifat mekanik dari suatu material. Kekerasan didefinisikan sebagai kemampuan material untuk menahan beban indentasi atau penetrasi atau penekanan (Purnomo, 2017). Terdapat beberapa metode dalam pengujian kekerasan antara lain uji kekerasan *rockwell*, uji kekerasan *brinell*,

uji kekerasan *vickers*, dan uji kekerasan knop. Dalam penelitian ini uji kekerasan yang digunakan adalah uji kekerasan *brinell*.

Uji kekerasan *brinell* untuk menentukan kekerasan suatu material dalam bentuk daya tahan terhadap bola baja atau indenter yang ditekan pada permukaan material uji atau spesimen (Purnomo, 2017). Dalam pengujian *brinell*, ketebalan spesimen harus diperhatikan dan penempatan alat uji harus tepat di tengah atau tidak di pinggir. Berikut adalah ilustrasi pengujian kekerasan *brinell* yang dijelaskan pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11 Pengujian kekerasan *Brinell* (Dantes dan Aprianto, 2017)

Keuntungan dari pengujian kekerasan *brinell* adalah pengujian tidak dipengaruhi oleh permukaan material yang kasar dan bekas indenter yang cukup besar dapat diamati. Selain mempunyai keuntungan, pengujian kekerasan *brinell* mempunyai kerugian yaitu tidak dapat digunakan untuk material yang tipis dan kecil maupun material yang sangat lunak maupun keras (Sari, 2018). Pengujian kekerasan *brinell* baiknya digunakan untuk material yang kasar dan mempunyai kekuatan 500 – 3000 kgf (Purnomo, 2017). Standar pengujian kekerasan *brinell* menggunakan ASTM E10 atau ISO 6506. Untuk mendapat nilai kekerasan *brinell*, kita dapat menggunakan rumus sebagai berikut.

$$HB = \frac{2F}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - Di^2})} \dots\dots\dots(2.1)$$

Di mana, HB adalah harga kekerasan *Brinell* (N/mm²), F adalah beban (kgf), D adalah diameter bola baja (mm) dan Di adalah diameter hasil penekanan (mm).

2.7.2 Uji Tarik

Uji tarik merupakan salah satu uji mekanik untuk mengetahui kekuatan bahan terhadap gaya tarik. Dalam pengujiannya, bahan uji ditarik hingga bahan tersebut putus. Sehingga dapat dianalisis ketahanan tarik suatu benda. Adapun standardisasinya Amerika dengan ASTM E8 dan Jepang dengan JIS 2241 (Dantes dan Aprianto, 2017). Gambar 2.12 berikut adalah menjelaskan alat uji tarik.



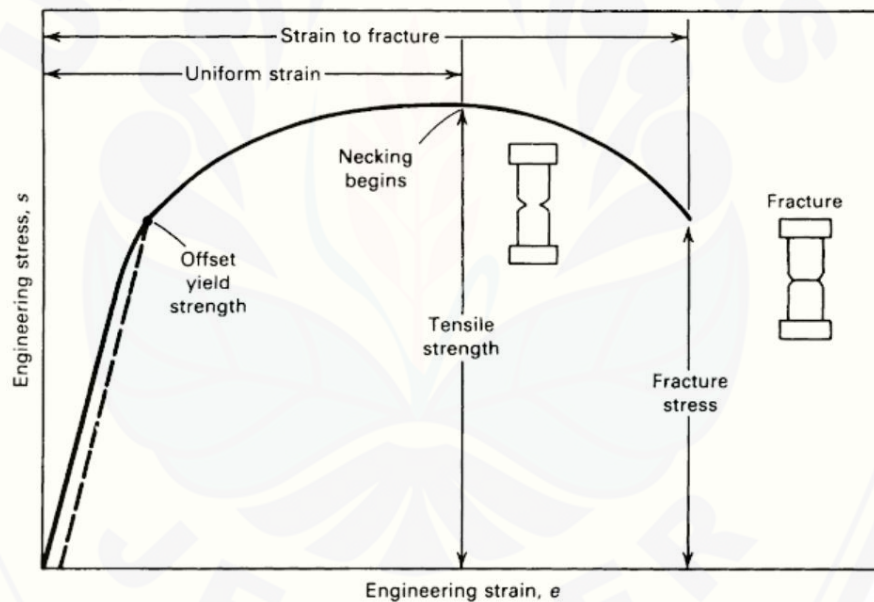
Gambar 2.12 Alat uji tarik (Purnomo, 2017)

Gambar 2.12 diatas merupakan gambar alat uji tarik. Alat eksperimen untuk uji tarik ini harus memiliki cengkaman (*grip*) yang kuat dan kekakuan yang tinggi (*highly stiff*). Dalam pengujian tarik ini membutuhkan bentuk spesimen yang berbeda. Spesimen pengujian tarik ditunjukkan pada Gambar 2.13. Spesimen

ditarik sampai spesimen tersebut putus dan menghasilkan sebuah kurva yang ditunjukkan pada Gambar 2.14.



Gambar 2.13 Spesimen uji tarik (Davis, 2004)



Gambar 2.14 Kurva hasil uji tarik (Davis, 2004)

Kurva di atas menunjukkan hubungan antara gaya tarikan dan perubahan panjang. Pada garis *tensile strength* atau biasa disebut *ultimate tensile strength (UTS)* merupakan tegangan tarik maksimum. Pada titik tersebut spesimen mencapai tetangan tarik maksimum yang menghasilkan spesimen mulai mengalami patah. Setelah mengalami patah, spesimen mencapai garis *fracture stress* atau disebut titik putus. Pada titik tersebut, spesimen mengalami putus karena diberi tarikan diatas kemampuan maksimum spesimen tersebut.

Pengujian tarik dilakukan untuk mendapatkan nilai tegangan, regangan dan modulus elastisitas. Tegangan adalah beban per satuan luas. Dimana dapat dicari menggunakan rumus sebagai berikut.

$$\sigma = \frac{P}{A_0} \dots\dots\dots(2.2)$$

Di mana σ adalah tegangan, P adalah beban yang bekerja dan A_0 adalah luas penampang spesimen. Untuk mencari regangan dapat menggunakan rumus 2.3. Regangan didefinisikan perubahan panjang per satuan panjang.

$$\varepsilon = \frac{l-l_0}{l_0} \dots\dots\dots(2.3)$$

Di mana ε adalah regangan, l_0 adalah panjang awal spesimen, dan l adalah panjang akhir spesimen. Setelah mengetahui nilai tegangan dan regangan, kita dapat mencari nilai modulus elastisitas. Modulus elastisitas merupakan perbandingan antara tegangan dan regangan. Atau dapat modulus elastisitas dapat dapat dijelaskan sebagai berikut.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \dots\dots\dots(2.4)$$

Di mana E adalah besar modulus elastisitas, σ adalah tegangan, dan ε adalah regangan.

2.7.3 Uji Mikrografi

Pengujian mikrografi ini digunakan untuk mengetahui bentuk struktur mikro dari spesimen yang akan diuji. Bentuk serta ukuran kristal logam, kerusakan logam akibat deformasi, proses perlakuan panas dan perbedaan komposisi dapat diamati melalui uji mikrografi ini. 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 pada proses metalografi secara garis besar adalah sebagai berikut:

a. Pemotongan (*Sectioning*)

Proses pemotongan merupakan proses material dari sampel yang besar menjadi spesimen dengan ukuran kecil.

b. Pembedakan (*Mounting*)

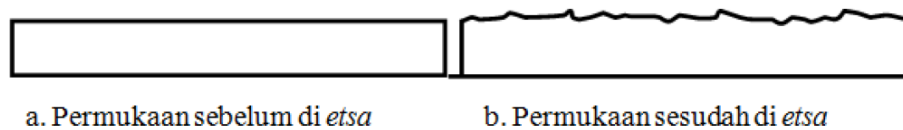
Pembedakan berguna untuk memudahkan dalam memegang spesimen pada proses pengamplasan dan pemolesan. Biasanya dilakukan dengan penambahan resin pada spesimen.

c. Penggrindaan, Pengamplasan, Pemolesan

Tahap penggrindaan, pengamplasan dan pemolesan ini bertujuan untuk membentuk permukaan spesimen agar benar-benar rata. Pengamplasan dilakukan dengan cara menggosok spesimen pada mesin *hand grinding* yang diberi kertas gosok dengan ukuran grid yang paling kasar sampai yang paling halus. Sedangkan pemolesan sendiri dilakukan dengan menggosokkan spesimen diatas *polishing machine* yang dilengkapi dengan kain wool yang diberi serbuk alumina dengan kehalusan 1-0,05 mikron. Penambahan serbuk alumina ini bertujuan untuk lebih menghaluskan permukaan spesimen sehingga akan lebih mudah melakukan metalografi.

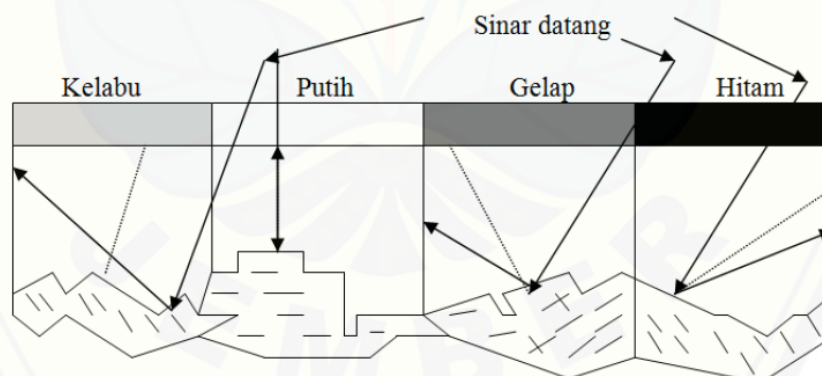
d. Pengetsaan (*Etching*)

Proses etsa adalah proses korosi atau mengkorosikan permukaan spesimen yang telah rata karena proses *grinding* dan *polishing* menjadi tidak rata lagi. Ketidakrataan permukaan spesimen ini dikarenakan mikrostruktur yang berbeda akan dilarutkan dengan kecepatan yang berbeda, sehingga meninggalkan bekas permukaan dengan orientasi sudut yang berbeda pula. Pada pelaksanaannya, proses etsa ini dilakukan dengan cara mencelupkan spesimen pada cairan etsa dimana tiap jenis logam mempunyai cairan etsa (*etching reagent*) sendiri-sendiri. Gambar 2.15 menunjukkan pengaruh efek proses etsa pada permukaan spesimen yang telah mengalami proses pengamplasan dan pemolesan.



Gambar 2.15 Pengaruh etsa pada permukaan spesimen (Herman, 2009)

Setelah permukaan spesimen di etsa, maka spesimen tersebut siap untuk diamati di bawah mikroskop dan pengambilan foto metalografi. Proses pengamatan metalografi adalah melihat perbedaan intensitas sinar pantul permukaan logam yang dimasukkan ke dalam mikroskop sehingga terjadi gambar yang berbeda (gelap, agak terang, terang). Dengan demikian apabila seberkas sinar di kenakan pada permukaan spesimen maka sinar tersebut akan dipantulkan sesuai dengan orientasi sudut permukaan bidang yang terkena sinar. Semakin tidak rata permukaan, maka semakin sedikit intensitas sinar yang terpantul ke dalam mikroskop. Akibatnya, warna yang tampak pada mikroskop adalah warna hitam. Sedangkan permukaan yang sedikit terkorosi akan tampak berwarna terang (putih) sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.16 berikut

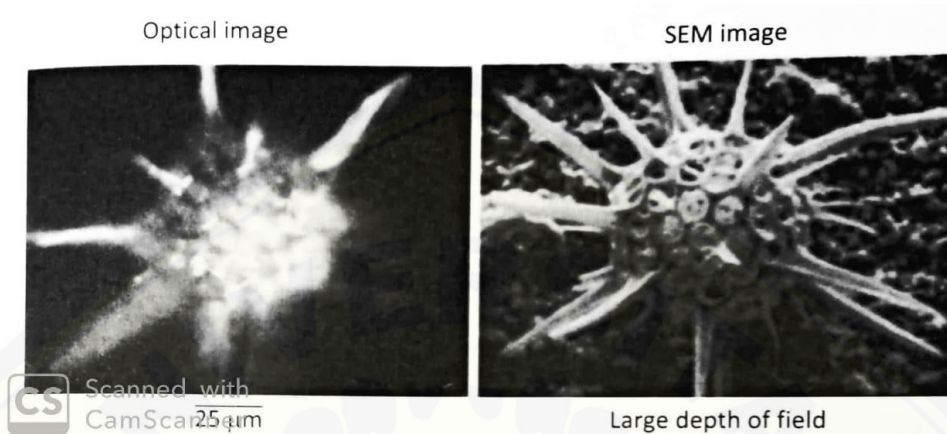


Gambar 2.16 Pantulan sinar pada pengamatan metalografi (Herman, 2009)

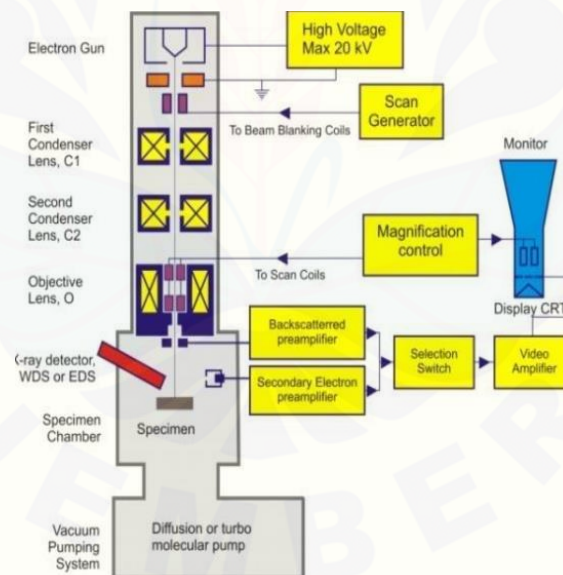
2.7.4 Uji *Scanning Electron Microscopy* (SEM)

Elektron memiliki resolusi yang lebih tinggi daripada cahaya. Cahaya hanya mampu mencapai 200 nm sedangkan elektron bisa mencapai resolusi sampai 0,1 – 0,2 nm. Gambar 2.17 berikut adalah perbandingan hasil gambar mikroskop cahaya

dengan elektron, dan Gambar 2.18 merupakan komponen alat *Scanning Electron Microscopy* (SEM).



Gambar 2.17 Perbandingan hasil gambar mikroskop dengan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) (Dantes dan Aprianto, 2017)



Gambar 2.18 Komponen alat *Scanning Electron Microscopy* (SEM) (Sujatno dkk., 2015)

Komponen utama alat SEM ini pertama adalah tiga pasang lensa-lensa elektromagnetik yang berfungsi memfokuskan berkas elektron menjadi sebuah titik kecil, dan dua pasang scan coil discan-kan dengan frekuensi variabel pada permukaan sampel. Yang kedua adalah sumber elektron, biasanya berupa filamen dari bahan kawat tungsten atau berupa jarum dari paduan Lantanum Hexaboride

LaB6 atau Cerium Hexaboride CeB6, yang dapat menyediakan berkas elektron yang teoretis memiliki energi tunggal (monokromatik), dan ketiga adalah imaging detector, yang berfungsi mengubah sinyal elektron menjadi gambar/image (Sujatno dkk., 2015). Komponen dari alat *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dapat dilihat pada (Gambar 2.18).

Haque dkk., (2014) melakukan penelitian pengaruh kecepatan pengadukan dalam pembuatan komposit Al6061 + 4% Cu + 5% SiC. Pada kecepatan pengadukan 400 rpm menghasilkan pencampuran yang homogen. Hasil pengujian *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dapat dilihat pada (Gambar 2.19).



Gambar 2.19 Hasil pengujian *Scanning Electron Microscopy* (SEM) pada Al6061 + 4% Cu + 5% SiC (Haque dkk., 2014).

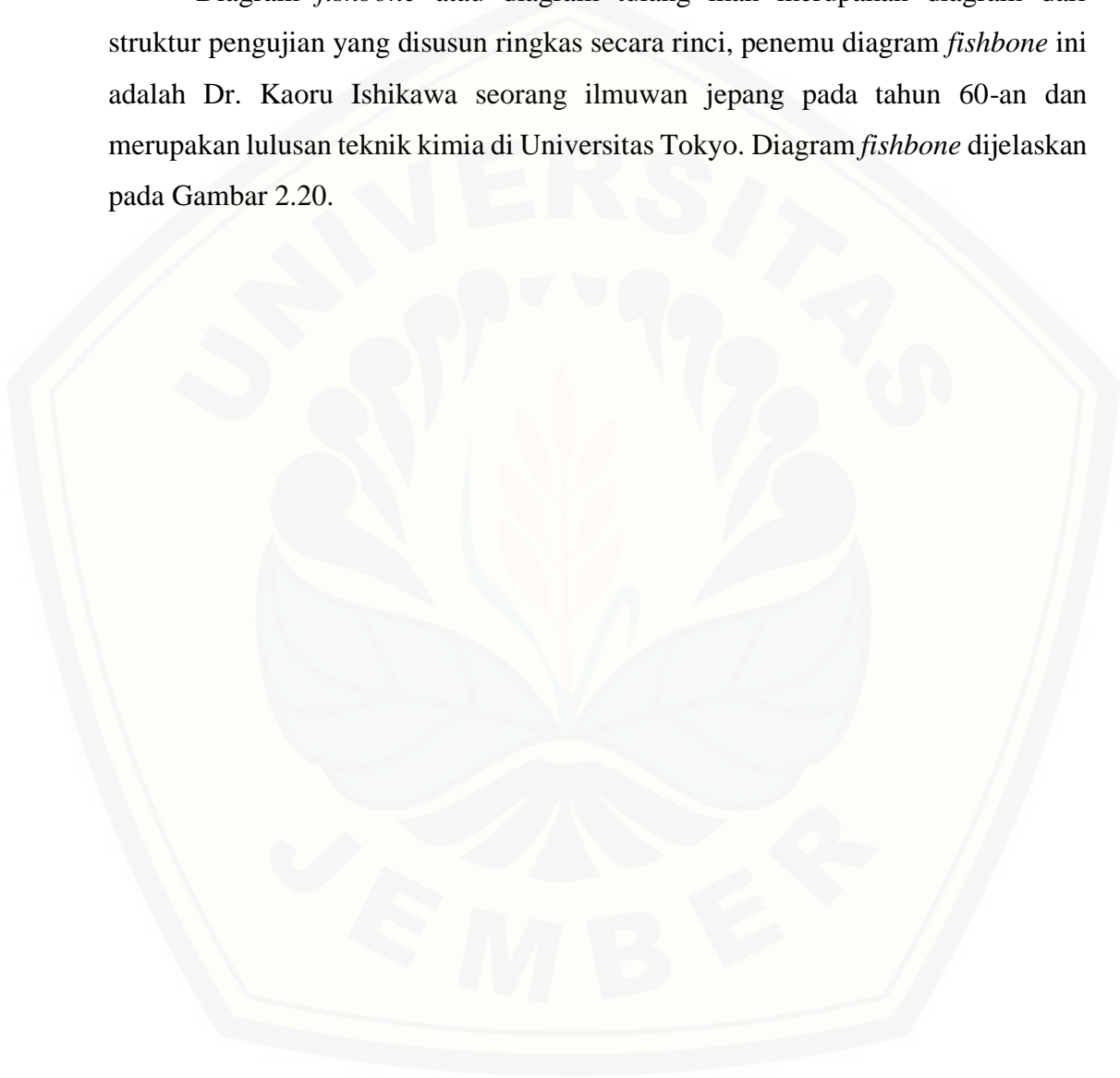
2.8 Hipotesis

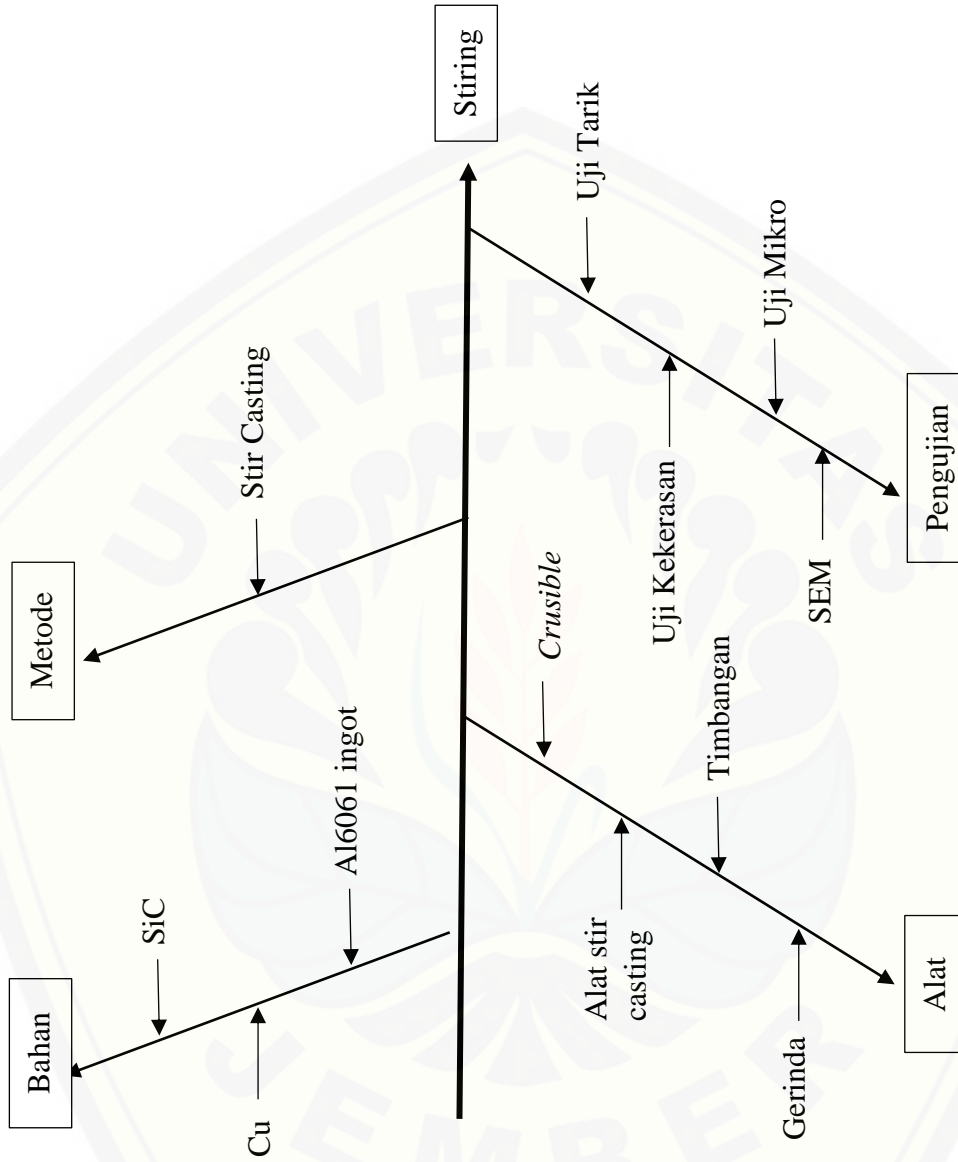
Berdasarkan tinjauan pustaka di atas dapat diambil hipotesis penelitian ini adalah dengan penambahan unsur *silicon carbide* (SiC) dan tembaga (Cu) pada aluminium 6061 akan meningkatkan kekuatan sifat mekanis dan memperbaiki karakteristik dari aluminium paduan. Karena penambahan *silicon carbide* (SiC) yang mana melalui proses *preheating*, *Silicon Carbide* (SiC) akan mengalami oksidasi membentuk lapisan *Silicon Dioxide* (SiO₂). Lapisan *Silicon Dioxide* (SiO₂) dapat menambah kekerasan dari komposit aluminium. Penambahan tembaga (Cu) berfungsi untuk meningkatkan *wettability* dan memperkecil batas butir.

Mengecilnya batas butir tersebut diduga dapat menambah kekerasan dan ketahanan aus dari aluminium paduan tersebut.

2.9 Diagram *Fishbone*

Diagram *fishbone* atau diagram tulang ikan merupakan diagram dari struktur pengujian yang disusun ringkas secara rinci, penemu diagram *fishbone* ini adalah Dr. Kaoru Ishikawa seorang ilmuwan jepang pada tahun 60-an dan merupakan lulusan teknik kimia di Universitas Tokyo. Diagram *fishbone* dijelaskan pada Gambar 2.20.





Gambar 2.20 Diagram fishbone dari penelitian

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental, yaitu metode pengamatan secara langsung. Metode ini dilakukan dalam proses pembuatan dan pengujian spesimen Al6061 – SiC dengan fraksi berat (1 %, 3 %, dan 5 %) SiC dan (5% dan 8%) Cu. Penelitian ini mulai dari studi literatur, pembuatan spesimen dan pengujian spesimen.

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Terapan Universitas Jember tepatnya di Jalan Slamet Riyadi No 36 Patrang Jember. Penelitian dilakukan selama dua bulan yaitu dari bulan Juni hingga Agustus. Berikut rincian kegiatan pada penelitian dapat dilihat di Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Jadwal kegiatan

Kegiatan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sept	Okt	Nov	Des	Jan
Studi literatur												
Persiapan alat dan bahan												
Pembuatan spesimen												
Pengujian spesimen												
Analisa hasil uji												
Sidang dan revisi												

3.3 Alat dan Bahan

Penelitian ini melakukan dua proses, yaitu pembuatan spesimen dan pengujian spesimen. Berikut adalah alat dan bahan yang digunakan.

- a. Alat yang digunakan:
 - 1) *Stir casting*;
 - 2) Gerinda;
 - 3) Timbangan digital;

- 4) Cetakan spesimen;
 - 5) Mesin bubut;
 - 6) *Crusible*;
 - 7) Alat uji tarik *leeb hardness tester* TH120;
 - 8) Alat uji kekerasan Zwick/Roell Z100;
 - 9) Alat uji mikrostruktur *Microscopi Olympus BX41M*;
 - 10) Alat uji *Scanning Electron Microscope (SEM) Phenom™ G2 Pro*.
- b. Bahan yang digunakan:
- 1) Aluminium 6061;
 - 2) *Silicon Carbide (SiC)*;
 - 3) *Cooper (Cu)*;
 - 4) Larutan *etsa*;
 - 5) Resin dan amplas;
 - 6) Gas Argon.

3.4 Variabel Penelitian

Ada beberapa variabel dalam penelitian, yaitu variabel bebas, terikat dan kontrol. Berikut adalah variabel yang ada pada penelitian ini.

3.4.1 Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang mempengaruhi atau yang menjadi sebab perubahan dan timbulnya variabel terikat. Variabel bebas pada penelitian ini adalah fraksi berat SiC (1%, 3%, dan 5%) pada campuran Al6061 dan Cu (5% dan 8%).

3.4.2 Variabel Terikat

Variabel terikat merupakan variabel *output* atau variabel yang dapat diukur nilainya yang dipengaruhi karena adanya variabel bebas. Variabel terikat pada penelitian ini adalah:

- a. Nilai kekerasan;
- b. Nilai keuletan;
- c. Struktur mikro.

3.4.3 Variabel Kontrol

Variabel kontrol merupakan variable yang digunakan untuk menyamakan persepsi mengenai penelitian ini. Variabel kontrol yang dipilih yaitu fluida kerja yang digunakan adalah:

- a. Proses pembuatan spesimen menggunakan metode *stir casting*;
- b. Kecepatan pada proses pengadukan 400 rpm;
- c. Lama proses pengadukan 30 detik;
- d. Suhu pada proses pencairan Al6061 dan Cu 800 °C;
- e. Suhu pada proses *preheating* SiC 500 °C selama 2 jam.

3.5 Proses Pembuatan Spesimen

Tahap pertama pada penelitian ini adalah tahap pembuatan spesimen. Dalam proses pembuatan paduan Al6061+SiC+Cu dilakukan penimbangan bahan Al6061, SiC sesuai dengan variabel bebas sebesar (1%, 3%, dan 5%) dan Cu (5% dan 8%) yang kemudian dilakukan proses pengecoran dengan metode *stir casting*. Langkah-langkah untuk proses pembuatan sampel paduan Al6061+SiC+Cu sebagai berikut:

- a. Menimbang massa Aluminium 6061;
- b. Menimbang massa SiC sesuai dengan variasi yang ditentukan;
- c. Menimbang massa Cu sesuai dengan yang ditentukan;
- d. Lakukan *coating* pada kowi dan *crucible* dengan mortar;
- e. Menyalakan tungku peleburan dengan dipanaskan terlebih dahulu agar kandungan air hilang dan kemudian disetting sesuai kebutuhan suhu 800° C untuk proses peleburan;
- f. Ketika aluminium 6061 dan Cu telah melebur dilakukan penambahan SiC;
- g. Setelah penambahan SiC dilakukan *melting* dengan penahanan suhu selama 30 menit;
- h. Masukkan blander hingga dasar krusibel dengan mengalirkan gas argon selama 45-60 detik kemudian angkat blander dari tungku pengecoran;
- i. Aduk leburan menggunakan *stir* dengan kecepatan 400 rpm selama 30 detik kemudian angkat *stir*;

- j. Setelah itu buang slag pada leburan;
- k. Panaskan cetakan permanen sampai suhu 200°C dengan *torch* pemanas;
- l. Sebelum penuangan sembur bagian atas leburan dengan gas argon dan tuangkan logam paduan kedalam cetakan;
- m. Buka cetakan ketika logam sudah membeku;
- n. Sampel siap diuji.

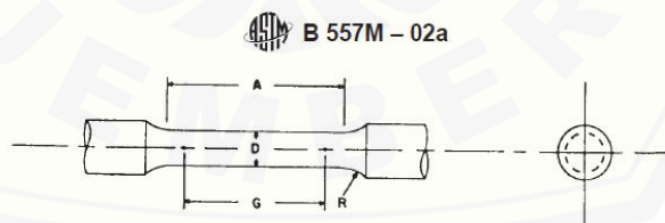
3.6 Proses Pengujian Spesimen

Tahap selanjutnya setelah tahap pembuatan spesimen yaitu tahap pengujian spesimen. Ada 4 cara yang dilakukan dalam pengujian paduan aluminium 6061+SiC+Cu pada penelitian ini, yaitu:

3.6.1 Pengujian Tarik

Pada proses pengujian tarik paduan aluminium 6061+SiC+Cu ini menggunakan standart ASTM B 557M dan memiliki tahapan-tahapan pengujian antara lain, yaitu:

- a. Preparasi sampel sesuai standart ASTM B 557M seperti pada Gambar 3.1.
- b. Pasang sampel pada alat uji untuk dilakukan pengujian tarik.
- c. Lakukan pengujian tarik dan mengamati pengecilan diameter pada sampel uji tarik dengan menggunakan jangka sorong.
- d. Dan mencatat hasil yang keluar pada mesin uji tarik sampai sampel putus.



Nominal Diameter	Dimensions, mm			
	Standard Specimen	Small-Size Specimens Proportional to Standard		
		12.5	9	6
G—Gage length	62.50 ± 0.10	45.00 ± 0.09	30.00 ± 0.06	20.00 ± 0.04
D—Diameter (Note 1)	12.50 ± 0.25	9.00 ± 0.10	6.00 ± 0.10	4.00 ± 0.05
R—Radius of fillet, min	9	8	6	4
A—Length of reduced section, min (Note 2) 75		54	36	24

Gambar 3.1 Dimensi standar ASTM B 557M sebagai sampel uji tarik (ASTM B 557M)

3.6.2 Pengujian Kekerasan

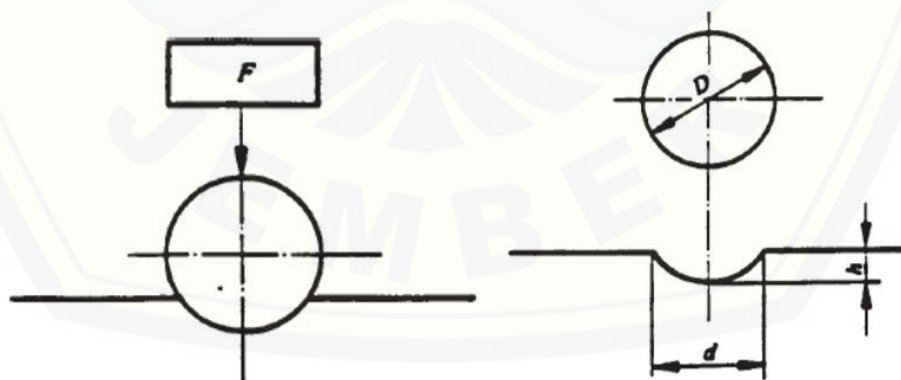
Pada proses pengujian kekerasan paduan aluminium 6061+SiC+Cu ini menggunakan standart ASTM E 10 serta menggunakan alat *Hardness Tester* THI20B dengan metode pengujian *Brinell Hardness*. Tabel 3.1 dan Gambar 3.2 menjelaskan tentang ilustrasi pengujian pada metode *Brinell Hardness*. Tahapan-tahapan pengujian antara lain, yaitu:

- Persiapkan sampel dengan mengacu pada standart ASTM E 10.
- Setting alat pengujian pada nilai Brinell Hardness dan disesuaikan dengan material yang akan diuji.
- Setelah itu lakukan pengujian dengan meletakkan alat pada spesimen agar indenter dapat bersentuhan pada spesimen.
- Catat angka kekerasan yang muncul pada alat *Hardness Tester* THI20B.

Tabel 3.2 Toleransi ukuran hasil dari pengujian Brinell Hardness

Ball diameter, mm	Tolerance, mm
10	±0.005
5	±0.004
2,5	±0.003
2	±0.003
1	±0.003

(Sumber: ASTM E 10)



Gambar 3.2 Prinsip kerja metode *Brinell Hardness* (Sumber: ASTM E 10)

Pada pengujian *Brinell Hardness* memiliki toleransi ukuran bola pengujian yang dijelaskan pada tabel 3.1 dan Gambar 3.2 menjelaskan tentang ilustrasi pengujian pada metode *Brinell Hardness*.

3.6.3 Pengamatan Struktur Mikro

Pada proses pengamatan struktur mikro paduan aluminium 6061+SiC+Cu ini menggunakan standart ASTM E 407 - 07 serta menggunakan alat *Microscope Olympus BX41M* dan memiliki tahapan-tahapan pengujian antara lain, yaitu:

- a. Preparasi sampel dengan memberi cetakan resin pada sampel agar mudah dalam pemegangannya.
- b. Mengamplas permukaan sampel menggunakan mesin amplas dengan kakasaran 500 Cw, 1000 Cw, 1500 Cw, 2000 Cw.
- c. Gosok permukaan sampel menggunakan autosol sampai mengkilap.
- d. Buat campuran etsa dengan masukan campuran HF, HNO₃, dan HCL ke dalam gelas beaker dengan berat dan 95 ml air.
- e. Aduk campuran HF, HNO₃, HCL dan air menggunakan pengaduk sampai tercampur rata.
- f. Etsa sampel dengan meneteskan satu tetes campuran HF, HNO₃, HCL dan air ke permukaan sampel selama 17 detik.
- g. Komputer yang sudah terinstal aplikasi mikroskop optik hubungkan dengan mikroskop optik. Letakan sampel di tempat sampel uji mikroskop optik dengan benar yaitu di bawah cahaya mikroskop optik.
- h. Atur perbesaran mikroskop sampai struktur mikro terlihat dengan jelas di komputer (perbesaran 200X dan 500X).
- i. Simpan hasil uji struktur mikro di dalam komputer.

3.6.4 Pengujian SEM

Pada proses pengamatan dengan SEM pada paduan aluminium 6061+SiC+Cu ini menggunakan alat *SEM Phenom™ G2 Pro* dan memiliki tahapan-tahapan pengujian antara lain, yaitu:

- a. Siapkan Alat pengujian *SEM Phenom™ G2 Pro* seperti yang ditampilkan pada Gambar 3.3 (a).
- b. Etsa sampel dengan mencelupkan sampel kedalam campuran HF, HNO₃, HCL dan air ke permukaan sampel selama 17 detik.
- c. Setelah itu keringkan sampel dengan menggunakan tissue.

- d. Taruh sampel yang sudah siap diuji pada stage seperti Gambar 3.3 (b).
- e. Masukkan stage kedalam alat *SEM Phenom™ G2 Pro*.
- f. Kemudian sampel siap diuji dengan pembesaran yang diinginkan dan gambar ditampilkan pada layar monitor.



a

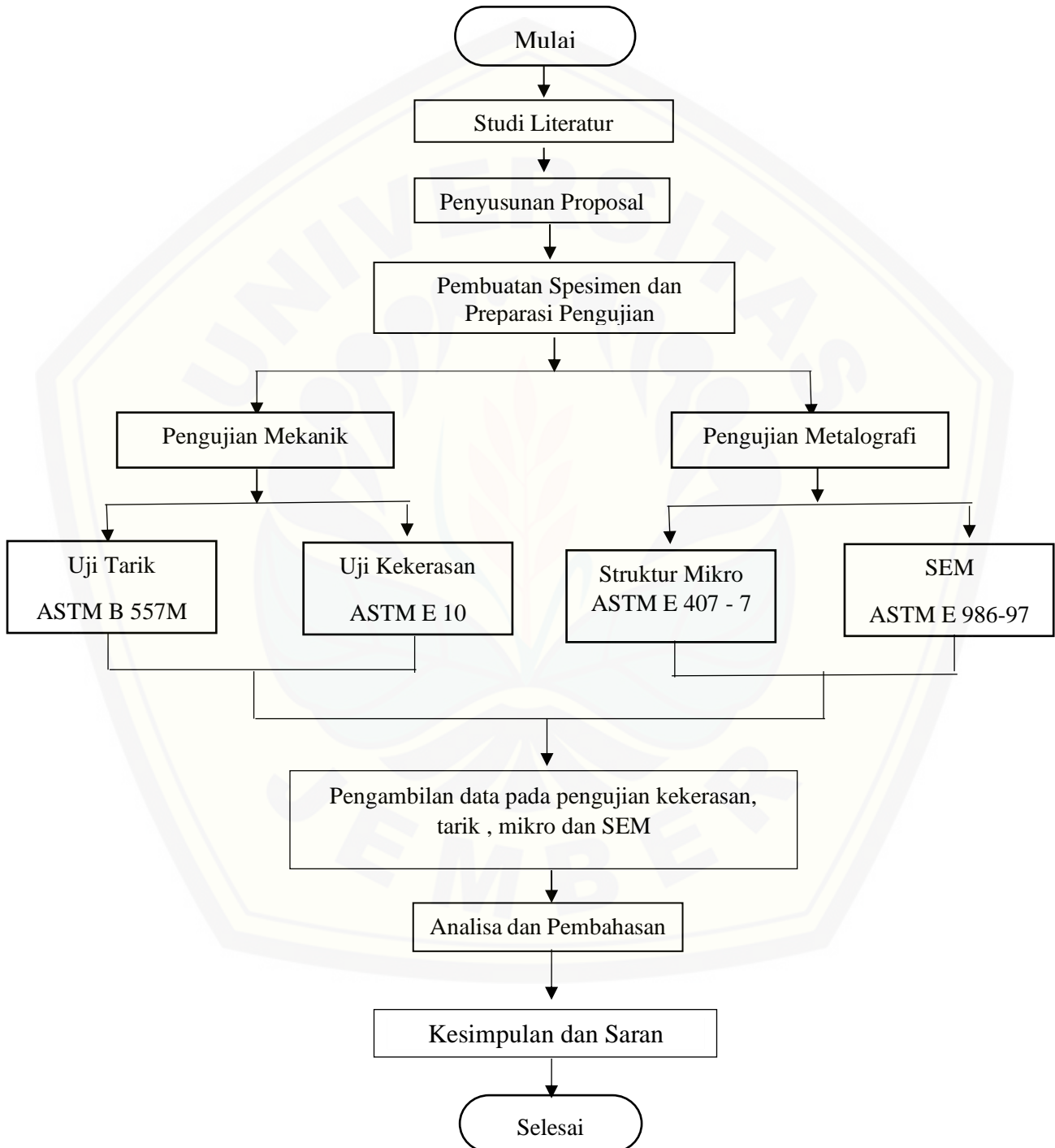


b

Gambar 3.3 Alat pengujian SEM a) SEM Phenom™ G2 Pro b) Stage

3.7 Diagram Alir Penelitian

Pada penelitian ini memiliki langkah-langkah yang telah dilakukan oleh peneliti yang disajikan pada Gambar 3.4 di bawah ini.



Gambar 3.4 Diagram alir penelitian

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

- a. Penambahan *Silicon Carbide* (SiC) dan tembaga (Cu) pada paduan aluminium 6061 mempengaruhi nilai kekerasan komposit tersebut. Nilai kekerasan tertinggi diperoleh pada paduan dengan penambahan SiC dan Cu terbesar yaitu Al6061 penambahan 5% SiC dengan nilai 80,46 HRB (5% Cu) dan 109,37 HRB (8% Cu).
- b. Penambahan *Silicon Carbide* (SiC) dan tembaga (Cu) pada paduan aluminium 6061 mempengaruhi nilai kekuatan tarik maksimum (*Ultimate Tensile Strength / UTS*) dan nilai elongasi. Nilai kekuatan tarik maksimum tertinggi diperoleh pada paduan dengan penambahan SiC dan Cu terbesar yaitu Al6061 penambahan 5% SiC dengan nilai 202,48 MPa (5% Cu) dan 211,80 MPa (8% Cu). Sedangkan nilai elongasi terendah diperoleh pada paduan dengan penambahan SiC dan Cu terbesar yaitu Al6061 penambahan 5% SiC dengan nilai 3,167 % (5% Cu) dan 2,8 % (8% Cu).
- c. Dari hasil pengamatan uji mikro, penambahan unsur *Silicon Carbide* (SiC) dan tembaga (Cu) dimana terjadi pembentukan butir kolumnar dan mengalami perpecahan ukuran butir. Pembentukan butir kolumnar dan perpecahan butir terjadi semakin banyak seiring dengan ditambahkannya kadar *Silicon Carbide* (SiC) dan tembaga (Cu).
- d. Dari hasil pengamatan hasil *Scanning Electron Microscopy* (SEM), penambahan unsur *Silicon Carbide* (SiC) dan tembaga (Cu) membentuk beberapa fasa baru. Fasa yang terbentuk adalah AlZnMgCu, α (Al) + AlZnMgCu, Al₂Cu, Al₂CuMg dan SiC.

5.2 Saran

Saran yang dapat disampaikan untuk penelitian selanjutnya yaitu penambahan unsur lain dapat dilakukan guna mengembangkan hasil produk paduan aluminium yang lebih baik lagi.



DAFTAR PUSTAKA

- Adisetiaji, Syamsul Sigit, dan Sulardjaka. 2016. Pengaruh Persentase Berat Serbuk Sic Terhadap Kekuatan Tarik Dan Ketangguhan Impak Pada Komposit AlSiMgTiB-SiC Produk HPDC. *Jurnal Teknik Mesin Universitas Diponegoro S-1*, 4(1): 89-98.
- Agnihotri, R. dan Dagar, S. 2017. Mechanical properties of Al-SiC metal matrix composites fabricated by stir casting route. *Research in Medical & Engineering Sciences*, 2(5): 1-6.
- Amstead, B.H., Ostwald, P.F., dan Begeman, M.L. 1997. *Teknologi Mekanik Jilid 1*. Jakarta: Erlangga.
- Annigeri, U.K. dan Kumar, U.K.G. 2017. Method of stir casting of aluminum metal matrix composites: A review. *Material Today:Proceeding*, 4(2): 1140-1146.
- Ardi, Pandhu Madyantoro., dan Bayuseno, Athanasius Priharyoto. 2016. Pengaruh Penambahan Unsur Tembaga (Cu) Terhadap Sifat Fisis Dan Mekanis Material *Chassis* Berbahan Dasar Limbah Aluminium Hasil Pengecoran HPDC Yang Disertai Perlakuan Panas (*Heat Treatment*). *Jurnal Teknik Mesin S-1*, 4(1): 42-47.
- ASM Handbook Vol 2. 1990. *Properties and Selection Nonferrous Alloy and Special Purpose Materials*. ASM International.
- Dantes, K.R. dan Aprianto, G. 2017. *Composites Manufacturing and Testing*. Depok: PT Rajagrafindo Persada.
- Davis, J.R. 2004. *Tensile Testing, 2nd Edition*. United State of America: ASM International.
- Gitter, R. 2008. Design of Aluminium structures: Selection of Structural Alloys. *Paper presented at the workshop in Brussels: EUROCODES-Background and Applications*. 1-29.

- Groover, M.P. 2010. *Fundamentals of Modern Manufacturing (Materials Processes and Systems)*. Fourth Edition. United States of America: Hon Wiley & Sons, Inc.
- Hartono., Rifai, M., Subawi, H. 2016. *Pengenalan Teknik Komposit*. Yogyakarta: Deepublish.
- Hadjadj, L. dan R. Amira. 2009. The effect of Cu addition on the precipitation and redissolution in Al-Zn-Mg alloy by the differential dilatometry. *Journal of Alloys AND Compound* 484: 891-895.
- Hashim, J., Looney, L., dan Hashmi, M.S.J. 1999. Metal matrix composites: Production by the stir casting method. *Journal of Material Processing and Technology* 92: 1-7.
- Haque, S., Bharti, P.K., dan Ansari, A.H. 2013. Mechanical and machining properties analysis of Al6061 – Cu - reinforced SiC_p metal matrix composite. *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering*, 2: 54-60.
- Haque, S., Ansari, A.H., dan Bharti, P.K. 2014. Effect of process parameters on wear rate of Al 6061-Cu reinforced SiC_p metal matrix composites. *J. Mater. Environ. Sci.*, 5 (5): 1485-1489.
- Jayashree, P.K., Shankar, G.M.C., Kini, A., Sharma, S.S., dan Shetty, R. 2013. Review on effect of silicon carbide (SiC) on stir cast aluminium metal matrix composites. *International Journal of Current Engineering and Technology*, 3(3): 1061-1071.
- Kai, Wen., Baiqing, Xiong., Yongan, Zhang., Guojun, Wang., Xiwu, Li., Zhihui, Li., Shuhui, Huang., dan Hongwei, Liu. 2017. Microstructure Evolution of a High Zinc Containing Al-Zn-Mg-Cu Alloy during Homogenization. *Rare Metal Materials and Engineering*, 46(4): 0928-0934.
- Kumar, V., dan Singh, S. 2017. Fabrication and evaluation of mechanical properties of Al6061 - 4%B₄C - 4%Cu based composite experimentally. *International Journal of Advance Research, Ideas and Innovations in Technology*, 3(6): 54-59.

- Liu, Yan., Jiang, Daming., Xie, Wenlong., Hu, Jie., dan Ma, Boran. 2014. Solidification phases and their evolution during homogenization of a DC cast Al-8.35Zn-2.5Mg-2.25Cu alloy. *Materials Characterization*, (93): 173-183.
- Madeira, S., Miranda, G., Carneiro, V.H., Soares, D., Silva, F.S., dan Carvalho, O. 2015. The effect of SiCp size on high temperature damping capacity and dynamic young's modulus of hot-pressed AlSi-SiCp MMCs. *Materials & Design*, 93: 1-24.
- Mahajan, G.V., dan Aher, V.S. 2012. Composite material: A review over current development and automotive application. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 2(11): 1-5.
- Mittal, A. dan Muni, R. 2013. Fabrication and characterization of mechanical properties of Al-RHA-Cu hybrid metal matrix composites. *International Journal of Current Engineering and Technology*, 3(5): 1779-1783.
- Mulyanti, J. 2011. Pengaruh temperatur proses aging terhadap karakteristik material komposit logam Al-SiC hasil stircasting. *Jurnal Kompetensi Teknik*, 2(2): 95-104.
- Negoro, Akbar Noto. 2015. *Analisa pengaruh fraksi massa dengan penguat pasir silika (SiO₂) terhadap kekerasan dan densitasnya pada komposit alumunium menggunakan metode stir casting*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret Surakarta.
- Prasanna, S.C., Ramesh, C., Manivel, R., dan Manikandan, A. 2016. Preparation of Al6061-SiC with neem leaf ash in ammc's by using stir casting method and evaluation of mechanical, wear properties and investigation on microstructures. *Applied Mechanics and Materials*, 864: 115-120.
- Purnomo. 2017. *Material Teknik*. Malang: Seribu Bintang.
- Rahman, Md.H. dan Rashed, H.M.M. 2014. Characterization of silicon carbide reinforced aluminum matrix composites. *Procedia Engineering*, 90: 103 – 109.
- Rana, R.S., Purohit, R., dan Das, S. 2012. Reviews on the influences of alloying elements on the microstructure and mechanical properties of aluminum alloys and aluminum alloy composites. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 2(6): 1-7.

- Reddy, C. dan Zitoun, E. 2009. Matrix al-alloys for alumina particle reinforced metal matrix composites. *Indian Foundry Journal*, 55(1): 21-24.
- Reddy, C. dan Zitoun, E. 2010. Matrix Al-alloys for silicon carbide particle reinforced metal matrix composites. *Indian Journal of Science and Technology*, 3(12):1184-1187.
- Saravanan, C., Subramanian, K., Sivakumar, D.B., Sathyanandhan, M., dan Narayanan, R.S. 2015. Fabrication of aluminium metal matrix composite – A review. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Sciences*, 7: 82-87.
- Sari, N.H. 2018. *Material Teknik*. Yogyakarta: Deepublish.
- Schwartz, M.M. 1997. *Composite Materials: Processing, Fabrication, and Applications*. Jerman: Springer.
- Setyawan, S. 2006. *Pengaruh Variasi Penambahan Tembaga (Cu) Dan Jenis Cetakan Pada Proses Pengecoran Terhadap Tingkat Kekerasan Paduan Aluminium Silikon (Al-Si)*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- Sigit, Felix. 2006. *Pengaruh Kadar Tembaga Terhadap Sifat Fisis Dan Mekanis Paduan Al – Si*. Yogyakarta: Universitas Sanata Dharma.
- Sijo, M.T. dan Jayadevan, K.R. 2016. Analysis of stir cast aluminium silicon carbide metal matrix composite: A comprehensive review. *Procedia Technology*, 24: 379 – 385.
- Stojanovic, B. dan Mitrovic, S. 2013. Tribological characteristics of aluminium hybrid composites reinforced with silicon carbide and graphite. A review. *Journal of the Balkan Tribological Association*, 19(1): 83-96.
- Sujatno, A., Salam, R., dan Dimiyati, A. 2015. Studi scanning electron microscopy (SEM) untuk karakterisasi proses oxidase paduan zirconium. *Jurnal Forum Nuklir*, 9(2): 44-50.
- Surdia, T. dan Saito, S. 1999. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Jakarta: PT Pradnya Paramita.

- Surappa, M.K. dan Rohatgi, P.K. 1981. Preparation and Properties of Cast Aluminium Ceramic Particle Composite. *Jurnal of Material Science*, 16: 983-993.
- Suyanto., Sulardjaka., dan Nugroho, S. 2014. Pengaruh komposisi Mg dan SiC terhadap sifat kekerasan komposit AlSi-SiC yang dibuat dengan proses semi solid stir casting. *Prosiding SNATIF*, 1: 165-172.
- Tekmen, C. dan Cocen, U. 2003. The effect of Si and Mg on age hardening behavior of Al-SiC_p composites. *Journal of Composite Materials*, 37(20): 1791-1800.
- Wahab, M.N., Daud, A.R., dan Ghazali, M.J. 2009. Preparation and characterization of stir cast-aluminum nitride reinforced aluminum metal matrix composites. *International Journal of Mechanical and Materials Engineering*, 4(2): 115-117.
- Wahyudi. 1997. *Sifat Kuat Tarik Paduan Al-Cu-Si Dengan Cetakan Permanen (Logam) Dan Cetakan Pasir*. Bandung: BULETIN IPT.
- Xu, Da., Li, Zhihui., Wang, Guojun., Li, Xiwu., Lv, Xinyu., Zhang, Yong'an., Fan, Yunqiang., Xiong, Baiqing. 2017. Phase transformation and microstructure evolution of an ultrahigh strength Al-Zn-Mg-Cu alloy during homogenization. *Materials Characterization*, (131): 285-297.
- Zainuri, M., Siradj, E.S., Priadi, D., Zulfia, A., dan Darminto. 2008. Pengaruh pelapisan permukaan partikel sic dengan oksida metal terhadap modulus elastisitas komposit Al/SiC. *Makara, Sains*, 12(2): 126-133.

LAMPIRAN

Lampiran A.1 Data Hasil Pengujian

Tabel A.1 Data Hasil Uji Kekerasan (5% Cu)

Percobaan	Al6061 (HRB)	Al6061 + 1% SiC (HRB)	Al6061 + 3% SiC (HRB)	Al6061 + 5% SiC (HRB)
1	74	81,2	75	76,7
2	75,4	81,4	75,4	79
3	72,1	80,1	71,1	76
4	74,6	73	79,6	76,7
5	75,2	72,8	92	87,1
6	73,4	84,1	83,4	80,1
7	74,1	76	81,7	82,9
8	73	76,4	78,5	81
9	72,6	72,3	75,9	80,7
10	72,4	72,5	75,6	84,4
Rata-rata	73,68	76,98	78,82	80,46

Tabel A.2 Data Hasil Uji Kekerasan (8% Cu)

Percobaan	Al6061 (HRB)	Al6061 + 1% SiC (HRB)	Al6061 + 3% SiC (HRB)	Al6061 + 5% SiC (HRB)
1	74	95,2	98,9	108
2	75,4	97,4	107	110,7
3	72,1	94,5	100	105,2
4	74,6	93,4	109,2	113,4
5	75,2	94,7	103,5	113,5
6	73,4	96,6	103	103,7
7	74,1	90,6	105	111,2
8	73	92,5	104,3	108
9	72,6	96,2	103,4	113,5
10	72,4	87,9	96,5	106,5
Rata-rata	73,68	93,9	103,08	109,37

Tabel A.3 Data Hasil Uji Tarik (5% Cu)

	Percobaan	D (mm)	A	Max	Max F	UTS	Rata2	Elongasi	Rata2
			(mm ²)	F (kg)	(N)	(MPa)	UTS	(%)	elongasi
Al6061	1	6,5	33,166	472	4628,904	139,567		8	
	2	5,5	23,746	378	3707,046	156,111	146,363	3,6	6,8
	3	6,5	33,166	485	4756,395	143,411		8,8	
Al6061 + 1% SiC	1	6	28,260	531	5207,517	184,272		3,2	
	2	6	28,260	589	5776,323	204,399	187,973	4,7	3,733
	3	6	28,260	505	4952,535	175,249		3,3	
Al6061 + 3% SiC	1	6	28,260	553	5423,271	191,906		3,7	
	2	5,5	23,746	523	5129,061	215,995	197,044	4,2	3,567
	3	6	28,260	528	5178,096	183,231		2,8	
Al6061 + 5% SiC	1	5,9	27,326	597	5854,779	214,258		3,6	
	2	6	28,260	549	5384,043	190,518	202,480	2,9	3,167
	3	6	28,260	584	5727,288	202,664		3	

Tabel A.4 Data Hasil Uji Tarik (8% Cu)

	Percobaan	D (mm)	A	Max	Max F	UTS	Rata2	Elongasi	Rata2
			(mm ²)	F (kg)	(N)	(MPa)	UTS	(%)	elongasi
Al6061 + 1% SiC	1	6	28,260	557	5462,499	193,294		2,7	
	2	6	28,260	550	5393,85	190,865	199,425	3	3,067
	3	6	28,260	617	6050,919	214,116		3,5	
Al6061 + 3%	1	6	28,260	507	4972,149	175,943		2,7	
	2	6	28,260	628	6158,796	217,933	200,813	2,7	2,933
	3	6	28,260	601	5894,007	208,564		3,4	
Al6061 + 5% SiC	1	6	28,260	591	5795,937	205,093		2,4	
	2	6	28,260	634	6217,638	220,015	211,803	3	2,8
	3	6	28,260	606	5943,042	210,299		3	

Lampiran B. Dokumentasi



Gambar lampiran B.1 *Stir Casting*



Gambar lampiran B.2 Gerinda



Gambar lampiran B.3 Timbangan digital



Gambar lampiran B.4 Mesin bubut



Gambar lampiran B.5 *Crusible*



Gambar lampiran B.6 Alat uji kekerasan



Gambar lampiran B.7 Alat uji tarik



Gambar lampiran B.8 Alat uji mikro



Gambar lampiran B.9 Alat uji SEM



Gambar lampiran B.10 Resin



Gambar lampiran B.11 Amplas



Gambar lampiran B.12 Gas argon



Gambar lampiran B.13 Penimbangan aluminium 6061



Gambar lampiran B.14 Penimbangan tembaga



Gambar lampiran B.15 Penimbangan silikon karbida



Gambar lampiran B.16 Hasil pengecoran



Gambar lampiran B.17 Spesimen uji tarik



Gambar lampiran B.18 Spesimen setelah melakukan uji tarik



Gambar lampiran B.19 Spesimen uji kekerasan dan SEM

