



**EFEK PERLAKUAN PANAS T6 TERHADAP
KARAKTERISASI MATERIAL KOMPOSIT AL6061/SIC/MG**

SKRIPSI

Oleh:

Azmi Alifian

NIM 151910101010

PROGRAM STUDI S1 TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2020



**EFEK PERLAKUAN PANAS T6 TERHADAP
KARAKTERISASI MATERIAL KOMPOSIT AL6061/SIC/MG**

SKRIPSI

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

Oleh:

Azmi Alifian

NIM 151910101010

PROGRAM STUDI S1 TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2020

PERSEMBAHAN

Dengan mengucap syukur kehadiran Allah SWT, skripsi ini peneliti persembahkan untuk :

1. Ayahanda Alm. Arifin Ichsan dan Ibu Chusnul Chotidjah yang telah memberikan dukungan doa dan kasih sayang serta dukungan lain secara materil maupun non materil yang tidak akan terbalaskan;
2. Guru-guruku dari TK Aisyiyah, SD Muhammadiyah 5 Porong, SMPN 1 Porong, SMAN 1 Krembung;
3. Almamater Fakultas Teknik Universitas Jember dan seluruh bapak/ibu dosen yang telah memberikan ilmu dan bimbingan selama ini;
4. Teman-teman angkatan 2015 yang telah memberikan dukungan dan motivasi penyusunan skripsi ini;
5. Sahabat saya Ayuning, Visar, Wafi dan Mukhlis yang senantiasa mendoakan dan memberikan dukungan hingga skripsi ini dapat terselesaikan;
6. Teman-teman saya se-DPU maupun DPA yang selalu membantu saya ketika saya dalam kesulitan selama menempuh skripsi ini.

MOTTO

Maka sesungguhnya bersama kesulitan itu ada kemudahan. Sesungguhnya
bersama kesulitan itu ada kemudahan

(Qs. Al Insyirah 5-6)

Wahai orang-orang beriman, Mohonlah pertolongan kepada Allah dengan shalat
dan sabar. Sungguh Allah bersama orang-orang yang sabar

(Qs As Syam ayat 9-10)

*) Departemen Agama. 2009. Al-Quran dan Terjemahan. Bandung: Syamil Quran

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Azmi Alifian

NIM : 151910101010

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Efek Perlakuan Panas T6 terhadap Karakterisasi Material Komposit Al6061/Mg/SiC” yang saya tulis adalah benar-benar hasil karya sendiri serta bukan karya plagiat, kecuali dalam pengutipan substansi sumber yang saya tulis, dan belum pernah diajukan pada instansi manapun. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang saya junjung tinggi. Apabila kemudian hari dapat dibuktikan bahwa karya ilmiah saya adalah hasil plagiat, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapatkan sanksi akademik jika kemudian hari tidak benar.

Jember, Juli 2020

Yang menyatakan,

Azmi Alifian

NIM. 151910101010

SKRIPSI

**EFEK PERLAKUAN PANAS T6 TERHADAP
KARAKTERISASI MATERIAL KOMPOSIT AL6061/SIC/MG**

oleh
Azmi Alifian
NIM 151910101010

Pembimbing

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

Dosen Pembimbing Anggota : Ir. Robertus Sidartawan, S.T., M.T

PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul “Efek Perlakuan Panas T6 terhadap Karakterisasi Material Komposit Al6061/Mg/SiC ” karya Azmi Alifian telah diuji dan disahkan oleh Program Studi S1 Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember pada:

Hari, tanggal : Juli 2020

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Mengetahui,

Dosen Pembimbing Utama

Dosen Pembimbing Anggota

Ir. Sumarji, S.T., M.T.

NIP 196802021997021001

Penguji I

Ir. Robertus Sidartawan, S.T., M.T

NIP. 197003101997021001

Penguji II

Hary Sutjahjono, S.T., M.T.

NIP 196812051997021002

Dr. Mochamad Asrofi, S.T

NIP. 760019035

Mengesahkan,
Dekan Fakultas Teknik
Universitas Jember

Dr. Tri Wahjuhardianto, S.T., M.T.

NIP 197008261997021001

RINGKASAN

EFEK PERLAKUAN PANAS T6 TERHADAP KARAKTERISASI

MATERIAL KOMPOSIT AL6061/SiC/Mg, Azmi Alifian, 151910101010,

2020; 86 halaman; Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember

Seiring berkembangnya teknologi industri, permintaan akan material baru terus meningkat. Hal ini dibuktikan semakin banyaknya permintaan akan kendaraan bermotor, komponen material, dan bidang lainnya. Pemilihan material komposit dikarenakan mudah di fabrikasi, biaya yang murah, dan kualitasnya yang baik. *Metal Matrix Composites* merupakan salah satu jenis material dengan menggabungkan dua atau lebih material yang berbeda, sehingga terbentuk material baru yang memiliki sifat lebih unggul dibanding dengan material penyusunnya.

Penggunaan alumunium sebagai matriks dikarenakan alumunium memiliki sifat mudah di fabrikasi, tahan terhadap korosi, sebagai penghantar panas dan listrik yang baik. Peningkatan sifat mekanik dari alumunium dapat dilakukan dengan penambahan partikel penguat SiC. Pemilihan SiC sebagai penguat dikarenakan memiliki sifat memiliki konduktivitas termal yang sangat baik, biaya yang murah, kemampuan *machinability*, dan kemampuan kerja yang baik terhadap komposit Al-SiC. Penambahan Mg diperlukan diperlukan penambahan magnesium sebagai media pembasah. Magnesium dipercaya mampu meningkatkan *wettability* antara partikel penguat dengan matriks. Proses pembuatan komposit dilakukan dengan menggunakan metode *stir casting* mampu mendistribusi partikel secara merata saat pengadukan. Perlakuan panas T6 ditambahkan dengan tujuan untuk membandingkan sifat mekanik material tanpa perlakuan panas dengan diberi perlakuan panas.

Berdasarkan hasil penelitian nilai uji kekerasan terendah komposit Al6061/SiC/Mg tanpa perlakuan panas diperoleh sebesar 35,16 HRB sedangkan nilai maksimal diperoleh komposit dengan diberi perlakuan panas T6 pada suhu 160 °C selama 4jam, sebesar 51,44 HRB. Nilai kekuatan tarik terendah

didapatkan material komposit Al6061/SiC/Mg sebesar 130,67 MPa dan nilai tertinggi diperoleh material komposit Al6061/SiC/Mg dengan perlakuan panas 160 °C selama 4 jam sebesar 189,91 MPa. Kenaikan dan penurunan sifat mekanik dikarenakan beberapa faktor, yaitu pengerasan presipitat (endapan) yang terbentuk, penyebaran partikel, porositas, dan hubungan antarmuka partikel penguat dengan matriks.



SUMMARY

As the development of industrial technology, the demand for new materials continues to increase. This is evidenced by the increasing demand for motor vehicles, material components, and other fields. The choice of composite material is easy to fabricate, low cost, and good quality. Metal Matrix Composites is one type of material by combining two or more different materials, so that new materials are formed which have superior properties compared to the constituent materials.

The use of aluminum as a matrix is because aluminum has fabrication, corrosion resistance, as a good conductor of heat and electricity. Improved mechanical properties of aluminum can be done by adding SiC reinforcing particles. The choice of SiC as an amplifier is due to its excellent thermal conductivity, low cost, good machinability, and good workability on Al-SiC composites. Addition of Mg is needed required the addition of magnesium as a wetting medium. Magnesium is believed to be able to increase the wettability between the reinforcing particles and the matrix. The process of making composites is done using the stir casting method capable of distributing particles evenly when stirring. The T6 heat treatment was added in order to compare the mechanical properties of the material without heat treatment with heat treatment.

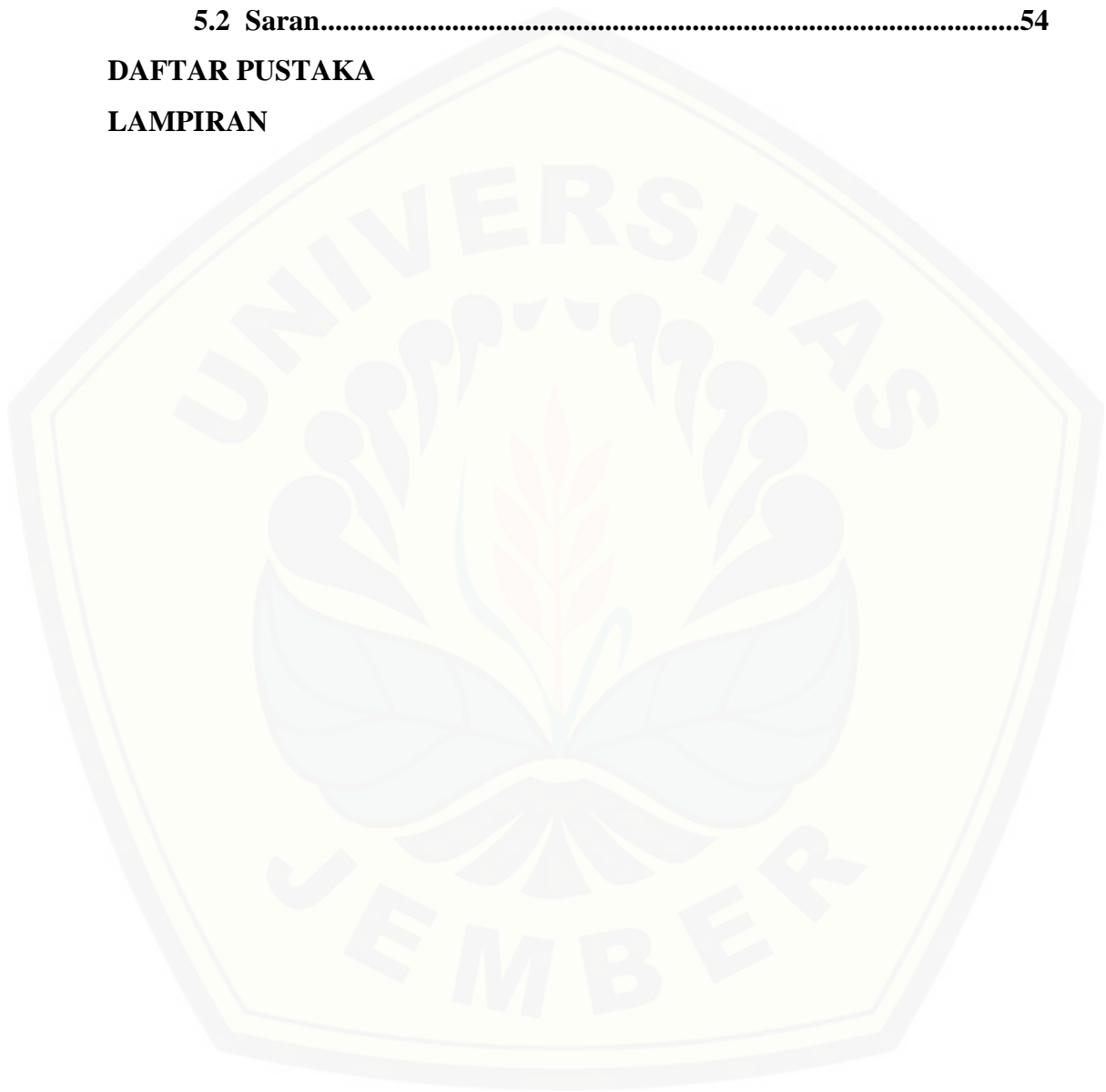
Based on the results of the study, the lowest hardness test value of Al6061 / SiC / Mg composite without heat treatment was 35,16 HRB, while the maximum value was obtained by composite treated with heat treatment T6 at 160 ° C for 4 hours, amounting to 51.44 HRB. The lowest tensile strength value obtained by Al6061 / SiC / Mg composite material was 130,67 MPa and the highest value was obtained by Al6061 / SiC / Mg composite material with heat treatment of 160 ° C for 4 hours, amounting to 189,91 MPa. The increase and decrease in mechanical properties due to several factors, namely hardening of precipitates formed, particle dispersion, porosity, and the interface between the reinforcing particle and the matrix.

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL.....	i
HALAMAN JUDUL.	ii
PERSEMBAHAN.....	iii
MOTTO.	iv
PERNYATAAN.....	v
LEMBAR PEMBIMBING.	vi
HALAMAN PENGESAHAN.....	vii
RINGKASAN	viii
SUMMARY	x
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xv
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
1.5 Hipotesis	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Komposit	5
2.2 Jenis-Jenis Komposit.....	5
2.2.1 <i>Polymer Matrix Composites</i>	5
2.2.2 <i>Ceramic Matrix Composites</i>	6
2.2.3 <i>Metal Matrix Composites</i>	7
2.3 Alumunium	8
2.3.1 Paduan Alumunium.....	9
2.4. Alumunium 6061	10

2.5 Unsur Paduan	12
2.5.1 <i>Silicone Carbide</i> (SiC)	12
2.5.2 <i>Magnesium</i> (Mg)	13
2.6 Stir Casting	14
2.7 Perlakuan Panas	16
2.8 Pengujian Spesimen	21
2.8.1 Uji Tarik	21
2.8.2 Uji Kekerasan	23
2.8.3 Uji Mikro	26
2.8.4 Pengamatan SEM	27
2.9 Aplikasi.....	28
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	29
3.1 Metode Penelitian.....	29
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian	29
3.3 Alat dan Bahan	29
3.4 Variabel Penelitian.....	32
3.4.1 Variabel Bebas	32
3.4.2 Variabel Terikat.....	32
3.4.3 Variabel Kontrol.....	33
3.5 Proses Pembuatan Spesimen	33
3.6 Proses Perlakuan Panas.....	34
3.7 Proses Pengujian Spesimen	35
3.7.1 Pengujian Tarik	35
3.7.2 Pengujian Kekerasan	35
3.7.3 Pengujian Struktur Mikro	36
3.7.4 Pengujian <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM).....	37
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	40
4.1 Persiapan spesimen	40
4.2 Pengujian Kekerasan	40
4.3 Pengujian Tarik.....	44
4.4 Uji Metalografi	48

4.3.1	Observasi Mikro	48
4.3.2	Observasi SEM.....	52
BAB 5. PENUTUP		54
5.1	Kesimpulan	54
5.2	Saran.....	54
DAFTAR PUSTAKA		
LAMPIRAN		



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Sifat-sifat fisik alumunium (Surdia dan Saito, 1999)	9
Tabel 2.2 Sifat-sifat mekanik aluminium (Surdia dan Saito, 1999).....	9
Tabel 2.3 Klasifikasi paduan aluminium (Surdia dan Saito, 1999)	10
Tabel 2.4 Komposisi kimia paduan aluminium 6061 (Ezatpour dkk., 2013)	11
Tabel 2.5 Sifat mekanik dari bahan matriks (Reddy dan Zitoun, 2013).....	11
Tabel 2.6 Analisis komparatif dari berbagai teknik yang digunakan untuk fabrikasi komposit (Hashim, 1999)	16
Tabel 2.7 Standar penggunaan elemen paduan utama dan proses perlakuan panas (Shankar, 2013)	17
Tabel 2.8 Nilai kekerasan Brinell dari komposit Al6061-SiC dengan perlakuan T6 (Rajasekaran, 2012).....	19
Tabel 2.9 Skala kekerasan dalam metode <i>Rockwell</i>	26
Tabel 3.1 Jadwal penelitian.....	37
Tabel 3.2 Pengambilan Data	38
Tabel 4.1 Data hasil uji kekerasan	41
Tabel 4.2 Data hasil uji tarik	44

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Komposisi komposit (Dantes dan Aprianto, 2017).....5

Gambar 2.2 Diagram fasa alumunium 6061 (Munits dkk., 1979)11

Gambar 2.3 Morfologi SiC 40 μ m (Kumar dkk., 2000)12

Gambar 2.4 Pengaruh volume fraksi SiC terhadap nilai kekerasan (Singla dkk., 2009)13

Gambar 2.5 Al-Mg (ASM Handbook, 1992).....14

Gambar 2.6 Tungku *stir casting* (Shankar dkk., 2013).....15

Gambar 2.7 Diagram proses perlakuan panas (Taner dkk., 2018).....18

Gambar 2.8 Nilai kekerasan maksimal dengan variasi temperature (Rajasekaran dkk., 2012)20

Gambar 2.9 *Scanning Electron Microscopy* (SEM) a) komposit ketika di cor
b) komposit penuaan selama 5 jam (Reddy dan Kotiveerachari, 2011)20

Gambar 2.10 Alat uji tarik (Purnomo, 2017)21

Gambar 2.11 Spesimen uji tarik (Davis, 2004).....21

Gambar 2.12 Kurva hasil uji tarik (Davis, 2004).....22

Gambar 2.13 Alat uji kekerasan *Rockwell* (Sudjana, 2008).....24

Gambar 2.14 *Ball Indentor* pada posisi siap menekan (Sudjana, 2008)25

Gambar 2.15 *Diamond Indentor* pada posisi siap menekan (Sudjana, 2008).....25

Gambar 2.16 Alat uji mikrografi.....27

Gambar 2.17 Komponen alat *Scanning Electron Microscopy* (SEM) (Sujatno dkk., 2015)28

Gambar 3.1 Dimensi standart ASTM B 557M sebagai sampel uji tarik (ASTM B 557M)35

Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian39

Gambar 4.1 Spesimen setelah uji kekerasan41

Gambar 4.2 Grafik uji kekerasan42

Gambar 4.3 Grafik uji tarik.....45

Gambar 4.4 Grafik elongation.....45

Gambar 4.5 Grafik modulus elastisitas	46
Gambar 4.6 Struktur mikro komposit Al6061/SiC/Mg dengan perbesaran 200x (a) Tanpa perlakuan, (b) Suhu 160° selama 4 jam, (c) Suhu 160° selama 5 jam, (d) Suhu 180° selama 4 jam, (e) Suhu 180° selama 5 jam, (f) Suhu 200° selama 4 jam, (g) Suhu 200° selama 5 jam	48
Gambar 4.7 Porositas pada struktur mikro (a) Suhu 160° selama 5 jam, (b) Suhu 180° selama 4 jam, (c) Suhu 180° selama 4 jam, (d) Suhu 200° selama 4 jam.....	50
Gambar 4.8 Hasil pengamatan <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM) (a) Tanpa perlakuan panas (b) Dengan perlakuan panas 160° selama 4 jam	52

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring berkembangnya teknologi industri, pengembangan jenis material baru untuk berbagai aplikasi teknik terus meningkat. Hal ini dapat diketahui dari permintaan masyarakat akan kebutuhan kendaraan bermotor, komponen permesinan, dan bidang lainnya (Assidiq dkk., 2014). Komposit merupakan material yang sering digunakan di bidang industri (ASTM Standards, 1999). Hal ini dikarenakan komposit memiliki biaya produksi murah, kualitas baik, dan banyak diaplikasikan di bidang industri (Surappa, 2003).

Metal Matrix Composite (MMC) merupakan penggabungan dua material atau lebih yang memiliki sifat berbeda. Proses penggabungan tersebut akan menghasilkan material baru yang memiliki sifat lebih baik dari material pembentuknya. Komposit terbentuk dari dua komponen, yaitu matrik logam aluminium dan penguat (Sulardjaka dkk., 2011). Pemilihan aluminium sebagai matrik karena ketersediaannya yang mudah (Taha 2001). Akan tetapi, aluminium memiliki tingkat kekerasan yang lebih rendah dibanding dengan baja. Peningkatan sifat mekanik aluminium dapat dilakukan dengan menambahkan unsur penguat dan perlakuan yang tepat (Bhandare dkk., 2013). Material keramik silikon karbida (SiC) sesuai untuk digunakan sebagai bahan penguat aluminium atau paduannya. Hal ini karena memiliki kelebihan seperti konduktivitas termal, kepadatan, dan ketahanan korosi yang baik (Das dkk., 2007). Penambahan Magnesium juga diperlukan untuk meningkat daya basah (*wettability*). Namun, jika penambahan diatas 1wt% dapat meningkatkan viskositas leburan dan menyebabkan distribusi partikel seragam menjadi sulit (Saheb, 2011).

Proses pembuatan komposit memiliki beberapa metode, salah satunya adalah *stir casting*. *Stir casting* adalah proses pembuatan produk komposit dengan cara pengadukan material penguat yang dicampur di dalam cairan logam. Dibanding dengan metode lain, metode *stir casting* memiliki banyak kelebihan, yaitu lebih sederhana, biaya yang murah, ikatan partikel matrik lebih baik, dan melibatkan proses peleburan keramik sebagai penguat pada saat pengadukan.

Proses pengadukan tersebut berfungsi agar penguat Silikon Karbida (SiC) terdistribusi secara merata pada matriks sehingga campuran logam menjadi homogen. Setelah dilakukan proses *stir casting*, komposit Al-SiC dapat diberi beberapa perlakuan untuk meningkatkan kekuatan mekanik (Kok, 2005).

El-Sabbagh dkk., (2012) menyatakan bahwa, pengembangan matriks komposit logam aluminium telah banyak dilakukan. Salah satunya dengan cara memberikan perlakuan panas pada produk komposit. Mulyanti (2011) telah melakukan penelitian tentang karakteristik komposit Al-SiC sebelum dan sesudah diberi perlakuan panas. Hasil dari penelitian tersebut menyatakan bahwa adanya peningkatan hasil dari uji tarik, uji kekerasan, dan nilai keausan setelah diberi perlakuan panas. Variasi temperatur aging memiliki peran dalam peningkatan karakteristik komposit tersebut. Komposit dengan campuran Al-SiC memiliki kelebihan dalam ketahanan aus dan meningkatkan resistansi terhadap suhu tinggi. Pengaplikasian komposit Al-SiC banyak digunakan dalam bidang otomotif, seperti *gear*, *disc brake*, *piston*, dan komponen lainnya (Khairil 2005).

Appendino dan Badini., (1991) telah melakukan penelitian tentang komposit Al6061-SiC yang telah diberi perlakuan panas T6. Proses perlakuan panas tersebut dilakukan pada suhu *solution* 529 °C dan 557 °C selama 2 jam, *temperature aging* (T6) 180 °C, dan *holding time* selama 0,5 jam, 1 jam, 2 jam, 3 jam, 4 jam, 5 jam, 6 jam, 8 jam, 10 jam, 20 jam, 30 jam, 50 jam. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa nilai puncak terjadi pada waktu 4 jam dan terjadi penurunan setelahnya.

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan diatas maka dapat disimpulkan bahwa masih diperlukan penelitian mengenai *Heat Treatment* dengan material *Metal Matrix Composite (MMC)*. Penelitian yang akan dilakukan adalah pengaruh proses *heat treatment* terhadap karakterisasi material komposit Al6061/SiC/Mg menggunakan metode *stir casting* dengan suhu *solution* 500 °C, *temperature aging* (T6) 160 °C, 180 °C, 200 °C, dan *holding time* selama 4 jam dan 5 jam.

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang yang telah disampaikan diatas maka dapat diperoleh rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana efek *temperature aging* dan *holding time* terhadap kekerasan pada komposit Al6061/SiC/Mg ?
2. Bagaimana efek *temperature aging* dan *holding time* terhadap kekuatan tarik pada komposit Al6061/SiC/Mg ?
3. Bagaimana efek *temperature aging* dan *holding time* terhadap struktur mikro pada komposit Al6061/SiC/Mg ?
4. Bagaimana efek *temperature aging* dan *holding time* terhadap morfologi (distribusi/ikatan) pada komposit Al6061/SiC/Mg ?

1.3 Tujuan dan Manfaat

1.3.1 Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Untuk mengetahui efek *temperature aging* (160 °C, 180 °C, 200 °C) dan *holding time* (4 jam dan 5 jam) terhadap kekerasan pada komposit Al6061/SiC/Mg.
2. Untuk mengetahui efek *temperature aging* (160 °C, 180 °C, 200 °C) dan *holding time* (4 jam dan 5 jam) terhadap kekuatan tarik pada komposit Al6061/SiC/Mg.
3. Untuk mengetahui efek *temperature aging* (160 °C, 180 °C, 200 °C) dan *holding time* (4 jam dan 5 jam) terhadap struktur mikro pada komposit Al6061/SiC/Mg.
4. Untuk mengetahui efek *temperature aging* (160 °C, 180 °C, 200 °C) dan *holding time* (4 jam dan 5 jam) terhadap morfologi (distribusi/ikatan) pada komposit Al6061/SiC/Mg.

1.3.2 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Memberikan informasi tentang pembuatan *Metal Matrix Composites* menggunakan metode *stir casting*.
2. Memberikan informasi tentang pembuatan komposit Al6061/SiC/Mg dengan perlakuan panas dan tanpa perlakuan panas.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini adalah :

1. Paduan pada spesimen dianggap homogen.
2. Temperatur peleburan dianggap homogen.
3. Proses peleburan paduan logam terisolasi dari udara bebas.
4. Tidak ada reaksi antara paduan logam dengan cetakan.
5. Tidak menghitung volume penyusutan logam cair.
6. Tidak menghitung pengaruh kecepatan pembekuan logam cair.
7. Data alat pengujian yang digunakan dianggap valid.

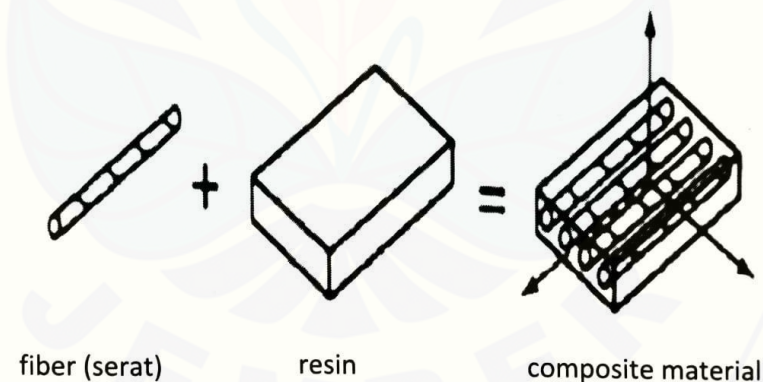
1.5 Hipotesa

Berdasarkan penjelasan tinjauan pustaka diatas maka dapat diambil hipotesis penelitian, bahwa dengan diberi perlakuan panas maka terjadi peningkatan sifat mekanik dari komposit Al6061/SiC/Mg. Peningkatan sifat mekanik tersebut terjadi karena adanya perubahan fasa atau struktur akibat dari pengaruh temperatur dan waktu tahan.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Komposit

Komposit adalah penggabungan dua atau lebih material penyusun yang berbeda, kemudian menjadi material baru yang memiliki sifat lebih baik dari material penyusunnya. Jenis material penyusun komposit pada umumnya adalah polimer, logam, dan keramik. Material penyusun tersebut berperan sebagai matrik (*matrix*) dan penguat (*reinforcement*) (Zamheri, 2011). Sifat-sifat lain yang dapat ditingkatkan dalam komposit adalah ketangguhan, keuletan, kestabilan dimensi, dan kekuatan terhadap temperature yang tinggi (Junus dkk., 2014). Hal yang perlu diperhatikan untuk mempengaruhi sifat mekanik dari komposit adalah pemilihan ukuran, bentuk, orientasi serta distribusi dari penguat (*filler*) dan ciri-ciri dari matriks (Mathew dkk., 1994). Penggunaan material komposit memiliki beberapa keuntungan, antara lain tahan terhadap korosi, biaya produksi murah, bobot yang ringan, serta mempunyai kekuatan dan kekakuan yang baik (Schwartz, 1997). Komposisi komposit dapat dilihat pada gambar 2.1



Gambar 2.1 Komposisi komposit (Dantes dan Aprianto, 2017)

2.2 Jenis-Jenis Komposit

2.2.1 Polymer Matrix Composites

Polymer Matrix Composites merupakan komposit berjenis polimer yang yang berpenguat berupa berbagai jenis *filler* diantaranya adalah serat. Hal ini dilakukan untuk pengaplikasian struktur yang memerlukan kekuatan dan ketegaran sehingga diperlukan adanya perbaikan sifat mekanik polimer sesuai

dengan apa yang diinginkan (Feldman dkk., 1995). Penyusun bahan komposit secara umum terdapat dua kategori material yaitu matriks dan penguat. Matriks dibagi menjadi dua, yaitu termoplastik dan termoset. Jenis matrik polimer termoset adalah *polyester, epoxy, phenolics, dan polyamids*, sedangkan jenis matrik polimer termoplastik adalah polyethylene, polypropylene, nilon, polycarbonate, dan polyether-ether keton (Maryanti dkk., 2011). Polimer berjenis termoset merupakan bahan yang sering digunakan dalam pembuatan komposit. Bahan polimer termoset dipilih karena tahan terhadap suhu dan bahan kimia atau pelarut, disebabkan karena wujudnya yang cair dan viskositas tidak terlalu tinggi sehingga mampu membasahi permukaan serat (Wibowo dkk., 1999).

Sifat- sifat yang dimiliki adalah :

- a. Biaya produksi rendah.
- b. Tahan simpan
- c. Ketangguhan baik.
- d. Siklus fabrikasi dapat dipersingkat.
- e. Kemampuan memiliki bentuk.
- f. Cocok untuk di produksi secara massal.

Keuntungan penggunaan PMC adalah :

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

2.2.2 *Ceramic Matrix Composites*

Ceramics Matrix Composites terdiri dari serat keramik (terutama serat yang mengandung karbon atau SiC yang pada umumnya disusun dalam bentuk banyak arah) yang terkandung di dalam matriks SiC. CMC dianggap mampu menggantikan komposit karbon dalam pengaplikasian jangka panjang pada temperature yang tinggi ketika teroksidasi (Christin dkk., 1979). Adanya perkembangan teoritis yang mengungkapkan bahwa CMC menunjukkan sifat tidak rapuh apabila pencampuran ikatan serat matriks dirasa sudah cukup (Naslain

dkk., 1998). CMC memiliki sifat tahan terhadap kerusakan yang merupakan keunggulan dari sifat keramik. CMC cocok digunakan sebagai bahan struktural temperatur tinggi untuk pengaplikasian pada keadaan korosi (Naslain, 2005).

Keuntungan penggunaan CMC adalah :

- a. Kestabilan dimensi yang lebih baik dibanding logam.
- b. Memiliki ketangguhan yang hampir sama dengan *cast iron*.
- c. Memiliki karakteristik permukaan yang tahan aus.
- d. Kekuatan, ketangguhan, dan ketahanan korosi yang tinggi.
- e. Unsur kimia yang stabil pada temperatur tinggi.

Kekurangan penggunaan CMC adalah :

- a. Sulit diproduksi dalam jumlah besar.
- b. Relatif mahal dan *non-cot effective*.
- c. Hanya untuk aplikasi tertentu.

2.2.3 *Metal Matrix Composites*

Metal Matrix Composites merupakan pencampuran minimal dua material yang berbeda, yaitu logam berfungsi sebagai matriks dan keramik berfungsi sebagai penguat. Aluminium lebih sering digunakan sebagai matriks karena ringan, harga relatif murah dan mudah untuk di fabrikasi. Aluminium memiliki sifat mekanik yang lebih rendah dibandingkan dengan baja, besi tuang, dan tembaga sehingga diperlukan pencampuran dengan material keramik untuk mendapatkan sifat fisis dan mekanis sesuai dengan yang diinginkan (Mulyanti, 2011).

Penambahan partikel penguat dapat meningkatkan sifat mekanik komposit dibandingkan dengan paduan tanpa penguat, seperti kekuatan kekakuan, dan ketahanan aus. *Metal Matrix Composites* biasa diperkuat fase keramik dalam bentuk partikel, partikulat, serabut, serat pendek, dan serat panjang. Komposit ini telah di aplikasikan di berbagai bidang seperti, produk luar angkasa, kelautan, piston, liner silinder, rem cakram / drum (Weinert, 1993).

Kelebihan penggunaan MMC adalah :

- a. Tahan terhadap temperatur tinggi.

- b. Tidak mudah terbakar.
- c. Tidak menyerap kelembapan.
- d. Transfer tegangan dan regangan yang baik.
- e. Memiliki kekuatan tekan dan geser yang baik.
- f. Memiliki ketahanan aus dan muai termal yang lebih baik.

Kekurangan penggunaan MMC adalah :

- a. Biaya produksi mahal.
- b. Standarisasi material dan proses yang sedikit.

2.3 Alumunium

Alumunium adalah suatu material yang sangat ringan dibandingkan dengan material yang lainnya. Dalam pengaplikasiannya di bidang teknik, material alumunium tidak mempunyai kekuatan yang cukup (Sulardjaka dkk., 2011). Aluminium memiliki sifat mudah di fabrikasi, tahan terhadap korosi, sebagai penghantar panas dan listrik yang baik. Peningkatan dari sifat mekanik alumunium dapat dilakukan dengan cara proses perlakuan panas dan proses perlakuan dingin (Benjamin dkk., 1989). Pada tabel 2.1 menjelaskan tentang sifat-sifat fisik alumunium dan tabel 2.2 menjelaskan tentang sifat-sifat mekanik alumunium.

Tabel 2.1 Sifat-sifat fisik aluminium

Sifat-sifat	Kemurnian Al (%)	
	99,996	>99,0
Masa jenis (20 °C)	2,698	2,71
Titik cair	660,2	653-657
Panas jenis (cal/g.°C) (100 °C)	0,222	0,229
Hantaran listrik (%)	64,94	59 (dianil)
Tahanan listrik koefisien temperatur (°C)	0,004	0,011
Koefisien pemuaian (200°-100 °C)	23,86 x 10 ⁻⁶	23,5 x 10 ⁻⁶
Jenis Kristal, konstanta kisi	Fcc, a = 4,013 kX	Fcc, a = 4,04 kX

Catatan : fcc : face centered cubic = kubus berpusat muka
(Sumber : Surdia dan Saito, 1999)

Tabel 2.2 Sifat-sifat mekanik aluminium

Sifat-sifat	Kemurnian Al (%)			
	99,996		>99,0	
	Dianil	75% dirol dingin	Dianil	H18
Kekuatan tarik (kg/mm ²)	4,9	11,6	9,3	16,9
Kekuatan mulur (0,2%) (kg/mm ²)	1,3	11,0	3,5	14,8
Perpanjangan (%)	48,8	5,5	35	5
Kekerasan Brinell	17	27	23	44

(Sumber : Surdia dan Saito, 1999)

2.3.1 Paduan Aluminium

Paduan aluminium saat ini masih menjadi subjek penelitian yang diminati, karena memiliki tingkat kepadatan yang rendah dan memiliki keuntungan dalam beberapa pengaplikasian. Paduan ini telah menggantikan besi cor dan perunggu yang memiliki ketahanan aus rendah (Santana dkk., 2006). Penambahan Cu, Mg, Si, Mn, Zn, Ni, dan unsur-unsur lainnya dapat meningkatkan kekuatan mekanik, ketahanan korosi, koefisien pemuaian rendah dan ketahanan aus. Klasifikasi standar aluminium yang sempurna pada saat ini mengacu pada standar *Aluminium Association* di Amerika (AA). Penandaan standar AA menggunakan 4 angka, yaitu kelompok aluminium ditunjukkan pada angka pertama, perubahan dari paduan aslinya ditunjukkan pada angka kedua, dan kemurnian aluminium ditunjukkan pada 2 angka terakhir (Surdia dan Saito, 1999). Tabel 2.3 menjelaskan tentang klasifikasi paduan aluminium.

Tabel 2.3 Klasifikasi paduan aluminium

Standar AA	Keterangan
1001	Al murni 99,5% atau di atasnya
1100	Al murni 99,0% atau di atasnya
2010-2029	Cu merupakan unsur paduan utama
3003-3009	Mn merupakan unsur paduan utama
4030-4039	Si merupakan unsur paduan utama
5050-5086	Mg merupakan unsur paduan utama
6061-6069	Mg ₂ Si merupakan unsur paduan utama
7070-7079	Zn merupakan unsur paduan utama

(Sumber : Surdia dan Saito, 1999)

Alumunium dengan seri 2xxx, 6xxx, dan 7xxx adalah paduan yang dapat diberi perlakuan panas dengan meningkatkan nilai kekuatan paduan dengan cara pengerasan presipitasi sebagai mekanisme utama. Alumunium dengan seri 6061 dipilih karena tahan terhadap korosi, sifat *extricable* dan memiliki kekuatan yang cukup (Jayashree dkk., 2013).

2.4 Aluminium 6061

Alumunium 6061 adalah jenis paduan alumunium yang mengandung magnesium dan silikon sebagai elemen paduan utama. Paduan ini memiliki sifat mekanik yang baik dan menunjukkan kemampuan las yang baik (Robert, 2001). Dalam pengaplikasiannya paduan ini memiliki sifat mekanik yang kurang maksimal, sehingga diperlukan penambahan penguat. Logam yang diperkuat dengan penguat berupa partikel mampu menyempurnakan sifat mekanik, seperti ; kekerasan, kekuatan luluh, kekuatan tarik maksimum (Vencl dkk., 2010). Adanya penambahan unsur penguat sering kali mengakibatkan penurunan nilai keuletan (Ezatzpour dkk., 2013). Jenis alumunium ini dapat di aplikasikan secara luas di bidang konstruksi, otomotif, dirgantara, dan bidang kelautan (Shankar dkk., 2013). Komposisi kimia paduan alumunium 6061 dapat di lihat pada tabel 2.4.

Tabel 2.4 Komposisi kimia paduan aluminium 6061

Alloy	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
6061	0,65	0,7	0,25	0,15	0,9	0,07	0,25	0,15	Reminder

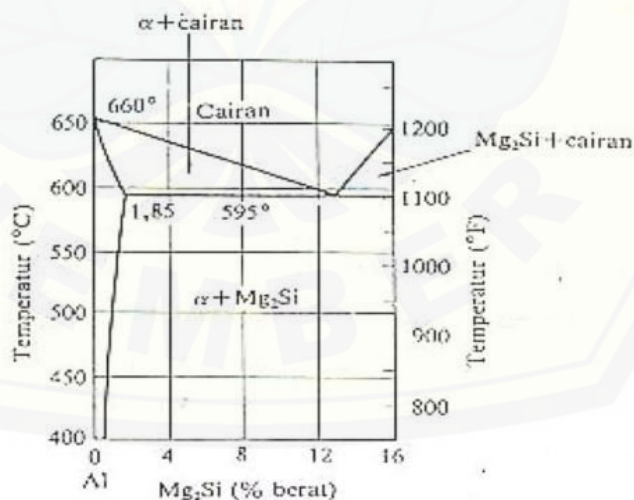
(Sumber : Ezatpour dkk., 2013)

Reddy dan Zitoun (2013) menyatakan bahwa penggunaan paduan Al 6061, Al 6063, dan Al 7072 sebagai matriks logam komposit dengan diperkuat partikulat silikon karbida, mempengaruhi sifat mekanik dari suatu komposit. Paduan Al 6061 memiliki kekuatan luluh, kekuatan maksimum, dan keuletan yang baik dibandingkan dengan paduan Al 6063 dan Al 7072. Pada tabel 2.5 menjelaskan tentang sifat mekanik dari aluminium 6061 dan gambar 2.2 menjelaskan tentang diagram fasa aluminium 6061.

Tabel 2.5 Sifat mekanik dari bahan matriks

Matrix Material	Density (g/cc)	Modulus of elasticity (GPa)	Ultimate tensile strength (MPa)	Elongation (%)
Al 6061	2,7	68,9	241	22
Al 6063	2,7	68,9	172	22
Al 7072	2,7	68,9	168	15

(Sumber : Reddy dan Zitoun., 2013)



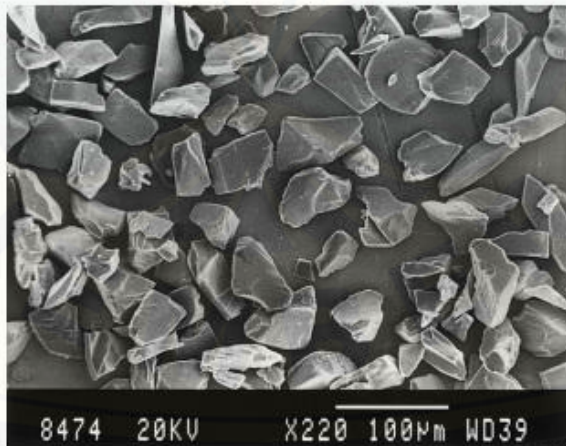
Gambar 2.2 Diagram fasa aluminium 6061 (Munits dkk., 1979)

2.5 Unsur Paduan

2.5.1 Silicon Carbide (SiC)

Silicon Carbide (SiC) merupakan penguat yang paling sering digunakan. Hal ini dikarenakan *silicon carbide* (SiC) memiliki keunggulan dibandingkan dengan penguat keramik lainnya (Das, 2007). SiC memiliki konduktivitas termal yang sangat baik, biaya yang murah, kemampuan *machinability*, dan kemampuan kerja yang baik terhadap komposit Al-SiC. Selain itu, *silicon carbide* (SiC) memiliki pergerakan yang baik secara kimia dan mampu membentuk ikatan yang baik dengan matriks (Nair dkk., 1985).

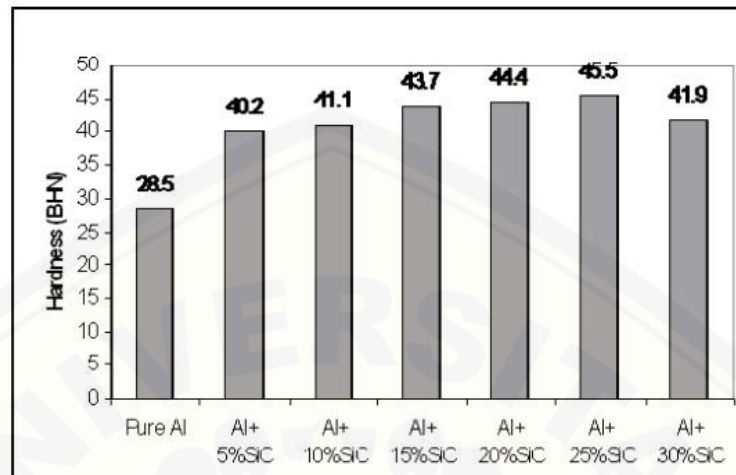
Metal matrix composite yang diperkuat partikel SiC memiliki peningkatan 20% kekuatan luluh, koefisien termal yang lebih rendah, modulus elastisitas tinggi, ketahanan korosi yang baik, dan ketahanan aus yang lebih tinggi dibanding paduan matriks yang tidak diberi unsur penguat. komposit aluminium yang diperkuat SiC banyak diaplikasikan pada rem cakram, frame sepeda, aerospace, dan industri otomotif (Vasudevan dkk., 1995). Gambar 2.3 menunjukkan morfologi dari *silicon carbide* (SiC) dengan perbesaran 40 μ m.



Gambar 2.3 Morfologi SiC 40 μ m (Kumar dkk., 2000)

Pada gambar 2.4 menyatakan adanya peningkatan nilai kekerasan mencapai titik maksimal pada saat penambahan fraksi SiC sebesar 25% dan nilai kekerasan akan menurun pada penambahan 30% SiC. Hal ini terjadi, karena

partikel SiC mengalami pengendapan dan densitas partikel SiC dalam lelehan mulai berkurang, sehingga menurunkan nilai kekerasan (Singla dkk., 2009).



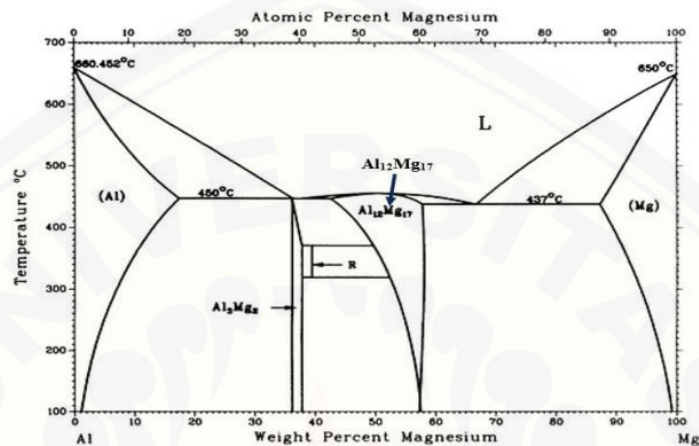
Gambar 2.4 Pengaruh volume fraksi SiC terhadap nilai kekerasan (Singla dkk., 2009)

2.5.2 Magnesium (Mg)

Teknik pengecoran dengan menggunakan material *metal matrix composite* memiliki kekurangan dalam penyebaran partikel penguat pada matriks. Dalam mengatasi kekurangan tersebut diperlukan penambahan magnesium sebagai media pembasah. Magnesium dipercaya mampu meningkatkan *wettability* antara partikel penguat dengan matriks, sehingga distribusi partikel dalam matriks menjadi merata. *Wettability* merupakan kemampuan distribusi cairan untuk membasahi permukaan material yang padat. Pencampuran sempurna antar partikel keramik solid dengan matriks hasil pengecoran membuktikan bahwa cairan mampu membasahi fasa padat pada partikel penguat. *Wettability* partikel dapat ditingkatkan dengan cara melakukan pelapisan atau oksidasi partikel keramik, perlakuan *pre-heat* pada partikel, dan pembersihan partikel (Suyanto dkk., 2014).

Liu dkk., (2010) telah melakukan penelitian tentang pengaruh penambahan magnesium (Mg) terhadap penyebaran partikel penguat pada komposit matriks aluminium. Hasil penelitian tersebut menyatakan bahwa partikel penguat terdistribusi secara seragam pada saat penambahan 0.6% Mg. Namun, pengendapan partikel penguat pada matriks terlihat pada saat penambahan lebih

dari 1% Mg. Penambahan volume fraksi magnesium yang tepat mampu meningkatkan sifat mekanik komposit matriks aluminium dan pengurangan koefisien gesekan akibat penyebaran partikel penguat yang merata. Gambar 2.5 merupakan diagram fasa Al-Mg.



Gambar 2.5 Al-Mg (ASM Handbook, 1992)

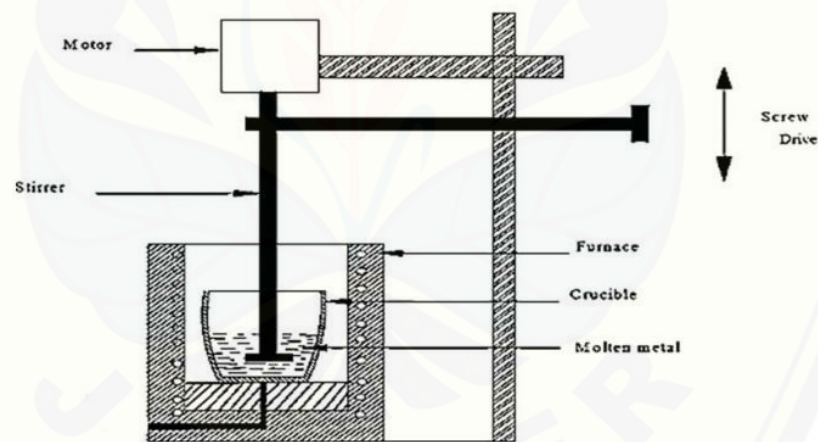
2.6 Stir Casting

Metode fabrikasi komposit dapat dikategorikan menjadi tiga proses, yaitu metode keadaan padat, semi padat, dan cair. Stir casting adalah metode pembuatan komposit dalam keadaan cair, dimana penguat dan matrik logam cair tercampur merata melalui pengadukan mekanik. Dibandingkan dengan metode keadaan padat, proses ini melibatkan pengadukan partikel keramik pada saat peleburan. Hal ini memiliki beberapa keuntungan penting, yaitu ikatan matrik dan penguat lebih baik, kontrol yang mudah terhadap struktur matriks, lebih sederhana, dan variasi pemilihan bahan yang banyak (Kok, 2005)

Pada proses *stir casting*, logam dicairkan terlebih dahulu kemudian partikel keramik dimasukkan ke dalam lelehan. Setelah logam dan partikel keramik tercampur maka dilakukan proses pengadukan dan penuangan kedalam cetakan hingga memadat. Hal yang harus diperhatikan dalam proses ini adalah adanya pembasahan partikel pada logam cair agar material tidak mengalami kerusakan (Rohatgi dkk., 1998). Faktor-faktor lain yang dapat meningkatkan keterbasahan adalah luas permukaan partikel yang tinggi, mengurangi tegangan

permukaan paduan dengan memanaskan pada suhu yang lebih tinggi dan pengurangan energi *interfacial* pada permukaan partikel (Yeh dkk., 2007).

Permasalahan utama pada proses *stir casting* adalah pengendapan partikel penguat selama pembentukan komposit. Hal ini disebabkan karena distribusi penguat yang tidak seragam yang mempengaruhi sifat mekanik dan kimia (korosi) (Poole dan Charras, 2005). Distribusi fase keramik dapat ditingkatkan jika fase matriks dalam kondisi semi padat. Kekentalan leburan yang tinggi mampu mencegah fase keramik untuk mengendap di bagian dasar (Ourdjini dkk., 2001). Beberapa faktor yang mempengaruhi distribusi partikel antara lain, suhu lelehan, kecepatan pengadukan, cara pengadukan, ukuran partikel, dan kerapatan serta luas permukaannya. Variabel lain yang dapat mempengaruhi adalah desain cetakan, sistem gating yang tepat, dan suhu cetakan sebelum penuangan (Ghauri dkk., 2013). Skema dari tungku *stir casting* dapat dilihat pada gambar 2.6.



Gambar 2.6 Tungku *stir casting* (Shankar dkk., 2013)

Tabel 2.6 Analisis komparatif dari berbagai teknik yang digunakan untuk fabrikasi komposit

Metode	Rentang bentuk dan ukuran	Hasil logam	Rentang volume fraksi	Rentang volume fraksi	Biaya
<i>Stir Casting (Liquid metallurgy)</i>	Berbagai macam bentuk; Ukuran lebih besar mencapai 500 kg	Sangat tinggi. >90%	$\leq 0,3$	Tidak rusak	Sangat murah
<i>Squeeze casting</i>	Bentuk terbatas; tinggi maksimum 2 cm	Rendah	$\leq 0,45$	Kerusakan parah	Cukup mahal
<i>Powder metallurgy</i>	Berbagai macam bentuk; ukuran terbatas	Tinggi		Retakan pada penguat	Mahal
<i>Spray casting</i>	Bentuk terbatas; ukuran besar	Sedang	0,3-0,7	-	Mahal
<i>Lanxide technique</i>	Bentuk terbatas, ukuran terbatas	-	-	-	Mahal

(Sumber : Hashim, 1999)

Pada tabel 2.6 menunjukkan beberapa metode yang digunakan dalam pembuatan komposit. *Stir casting* merupakan metode yang sangat menjanjikan dibanding dengan yang lainnya. Metode ini memiliki tingkat kesederhanaan, fleksibilitas, dan cocok untuk produksi dalam jumlah besar. Selain itu, *stir casting* memiliki ikatan yang baik antara partikel penguat dan matrik. Hal ini terjadi, karena partikel penguat terdistribusi secara merata pada saat pengadukan. Biaya produksi yang dikeluarkan dalam metode *stir casting* yang sangat murah dan memungkinkan komponen berukuran sangat besar untuk dibuat (Hashim, 1999).

2.7 Perlakuan Panas

Perlakuan panas merupakan adalah proses kombinasi antara proses pemanasan atau pendinginan dari suatu logam atau paduannya, untuk mendapatkan sifat-sifat tertentu. Kecepatan pendinginan dan batas temperatur sangat menentukan sifat dari suatu paduan. Selain itu, penentuan bahan logam yang tepat juga merupakan faktor pembentukan antara berbagai sifat, lingkungan dan cara penggunaan sampai dimana sifat bahan logam tersebut dapat memenuhi kriteria yang diinginkan. Sifat-sifat bahan logam perlu dikenal secara

baik, karena bahan logam digunakan untuk berbagai kepentingan dan keadaan sesuai dengan fungsinya. Perlakuan panas berfungsi untuk meningkatkan sifat-sifat logam atau paduan, sehingga dapat digunakan sesuai fungsi dan kegunaan yang diinginkan.

Tabel 2.7 Standar penggunaan elemen paduan utama dan proses perlakuan panas

	Mn	Mg	Si	Simbol	Penjelasan
Mn	Al-Mn 3xxx			T4	Perlakuan panas pelarutan kemudian dilanjutkan proses penuaan alami
Mg	AlMgMn 5xxx	AlMg 5xxx	AlMgSi 6xxx	T5	Didinginkan dari proses pembentukan suhu tinggi kemudian dilanjutkan proses penuaan buatan
Si		AlSiMg 6xxx	AlSi 4xxx	T6	Perlakuan panas pelarutan kemudian dilanjutkan proses penuaan buatan
Zn		AlZnMg AlZnMgCu 7xxx		T7	Perlakuan panas buatan kemudian dilanjutkan proses penuaan buatan berlebih
Cu		AlCuMg 2xxx		T61	Perlakuan panas pelarutan kemudian dilanjutkan proses penuaan buatan dibawah kondisi penuaan untuk meningkatkan sifat mampu bentuk

(Sumber : Shankar dkk., 2013)

Abdillah (2010) menyatakan bahwa perlakuan panas pada logam atau paduan aluminium memiliki beberapa cara, salah satunya adalah penuaan keras (*age hardening*). Melalui proses ini, logam paduan aluminium akan memperoleh kekuatan dan kekerasan yang lebih baik. Penuaan keras (*age hardening*) berlangsung dalam tiga tahap yaitu :

a. Tahap perlakuan Panas Pelarutan (*solution heat treatment*)

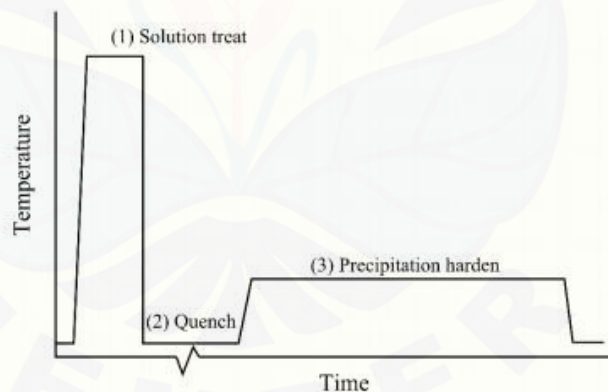
Solution heat treatment adalah pemanasan logam aluminium dalam dapur pemanas dengan temperatur 550 °C-560 °C dan dilakukan penahanan sesuai dengan jenis dan ukuran benda kerja. Pada proses ini terjadi pelarutan fasa-fasa yang ada, menjadi larutan padat. Tujuan dari *solution heat treatment* yaitu untuk mendapatkan larutan padat yang mendekati homogen.

b. Tahap pendinginan (*quenching*)

Proses pendinginan dilakukan setelah logam dipanaskan di dalam dapur pemanas, kemudian dicelupkan kedalam media pendingin air. Pemilihan air sebagai media pendingin karena memiliki tingkat kekerasan atau hardenability yang relatif rendah seperti logam paduan aluminium. Proses pendinginan ini bertujuan agar larutan padat homogen yang terbentuk pada *solution heat treatment* dan kekosongan atom pada temperatur tinggi tetap pada fasa tunggal.

c. Tahap penuaan (*artificial aging*)

Beberapa variasi perlakuan pada proses *artificial aging* dapat dilakukan untuk mempengaruhi hasil dari proses *age hardening*. Salah satu variasi tersebut adalah variasi temperatur. Temperatur *artificial aging* dapat ditetapkan pada temperatur saat pengkristalan paduan aluminium ($150\text{ }^{\circ}\text{C}$), di bawah atau di atas temperatur pengkristalan logam paduan aluminium. Pemilihan temperatur *artificial aging* berpengaruh pada tingkat kekerasan, karena telah terjadi perubahan fasa atau struktur.



Gambar 2.7 Diagram proses perlakuan panas (Taner dkk., 2018)

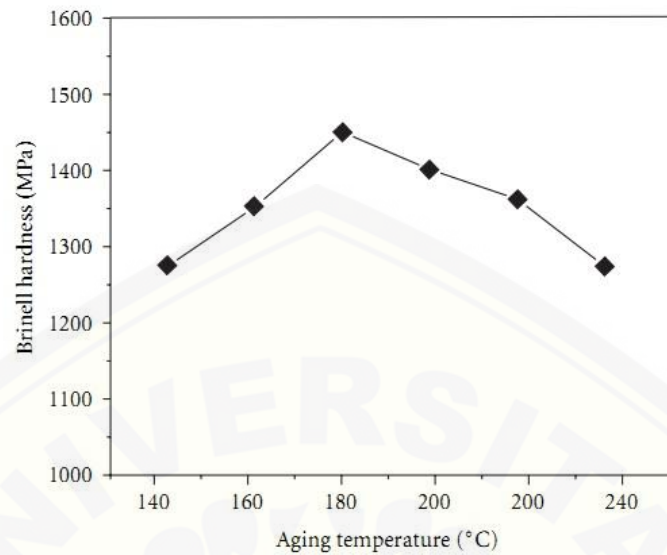
Pada gambar 2.7 temperatur dan waktu tahan memiliki peran penting dalam proses pengerasan pengendapan. Gerakan atom-atom dalam larutan padat lebih cepat bila berada pada temperatur tinggi, sehingga pembentukan partikel menjadi lebih optimal. Hal ini menyebabkan peningkatan nilai kekerasan dan kekuatan tarik lebih cepat seiring meningkatnya temperatur pengendapan. Proses aging dapat dihentikan setelah sifat-sifat optimum material tercapai. Apabila

proses aging terus dilakukan menyebabkan nilai kekerasan menurun (*over aging*), karena endapan memiliki struktur yang tidak seimbang dengan matrik (Ahmad dkk., 2016). Hal ini dibuktikan oleh penelitian Rajasekaran dkk (2012) bahwa material komposit Al6061/SiC/Mg mengalami puncak penuaan pada suhu 180 °C dengan *holding time* selama 4 jam (1450 MPa) dan penuaan berlebih terjadi pada suhu 200 °C, 220 °C, dan 240 °C. Hal ini terjadi, karena peningkatan suhu penuaan mengakibatkan berkurangnya nilai kekerasan dari suatu komposit. Pada tabel 2.8 merupakan data nilai kekerasan dengan perlakuan T6 dan gambar 2.9 menjelaskan nilai kekerasan maksimal dengan variasi temperature.

Tabel 2.8 Nilai kekerasan Brinell dari komposit Al6061-SiC dengan perlakuan T6

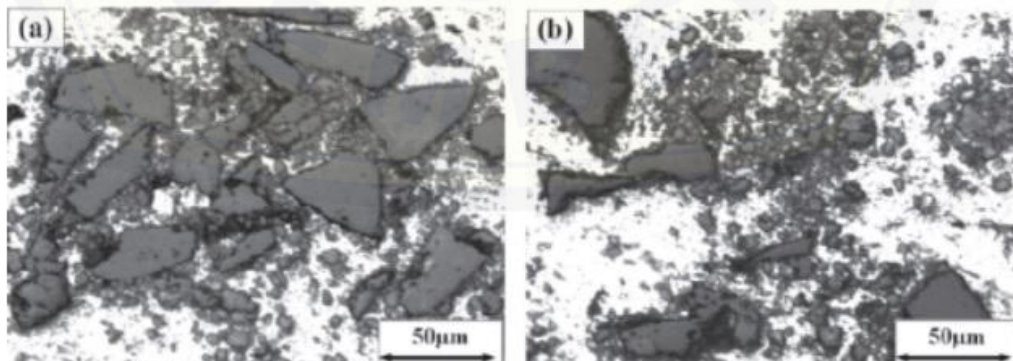
Waktu <i>aging</i> (jam)	Kekerasan Brinell (MPa) pada suhu					
	140 °C	160 °C	180 °C	200 °C	220 °C	240 °C
0	893.7	893.7	893.7	893.7	893.7	893.7
0.5	1097.6	1166.2	1244.6	1234.8	1205.4	1195.6
1	1156.4	1225	1313.2	1332.8	1283.8	1254.4
2	1195.6	1293.6	1401.4	1372	1362.2	1274
3	1215.2	1313.2	1430.8	1401.4	1332.8	1254.4
4	1244.6	1323	1450.4	1342.6	1313.2	1244.6
5	1264.2	1352.4	1401.4	1323	1283.8	1215.2
6	1274	1313.2	1352.4	1264.2	1234.8	1195.6
8	1253.4	1225	1303.4	1205.4	1205.4	1185.5
10	1234.8	1185.8	1244.6	1185.8	1185.8	1176
20	1117.2	1136.8	1146.6	1127	1136.8	1127

(Sumber : Rajasekaran dkk., 2012)



Gambar 2.8 Nilai kekerasan maksimal dengan variasi temperature
(Rajasekaran dkk., 2012)

Penelitian serupa juga dilakukan oleh Reddy dan Kotiveerachari (2011), bahwa nilai kekerasan maksimal diperoleh pada saat suhu 175°C dengan waktu *aging* selama 5 jam (75 HRB) dan akan menurun seiring dengan bertambahnya waktu *aging*. Hal ini terjadi, karena semakin lama waktu *aging* maka endapan yang terbentuk semakin kasar dan jarak di antara mereka semakin besar. Gambar 2.9 menunjukkan adanya perbedaan morfologi antara komposit tanpa perlakuan panas dengan komposit diberi perlakuan panas.



Gambar 2.9 Scanning Electron Microscopy (SEM) a) komposit ketika di cor
b) komposit penuaan selama 5 jam (Reddy dan Kotiveerachari, 2011)

2.8 Pengujian Spesimen

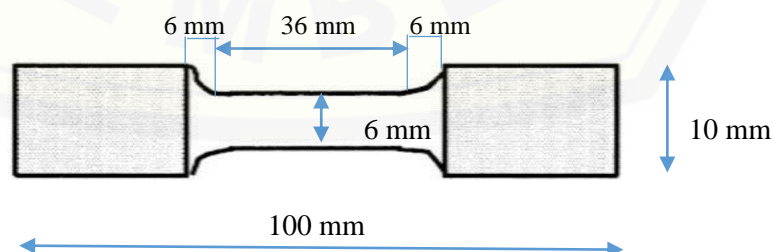
2.8.1 Pengujian tarik

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).

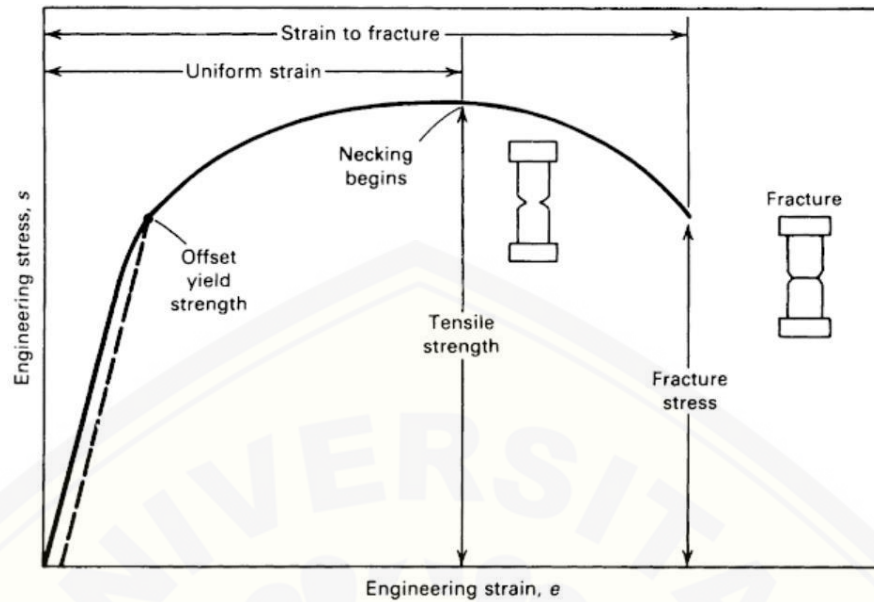


Gambar 2.10 Alat uji tarik (Purnomo, 2017)

Gambar 2.10 merupakan gambar alat uji tarik. Alat eksperimen untuk uji tarik ini harus memiliki cengkraman (*grip*) yang kuat dan kekakuan yang tinggi (*highly stiff*). Dalam pengujian tarik ini membutuhkan bentuk spesimen yang berbeda. Spesimen pengujian tarik ditunjukkan pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11 Spesimen uji tarik (Davis, 2004)



Gambar 2.12 Kurva hasil uji tarik (Davis, 2004)

Pada gambar 2.12 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.

$$\sigma = \frac{P}{A_0} \quad (2.1)$$

Keterangan :

- σ : tegangan tarik (Mpa)
- P : beban yang bekerja (N)
- A_0 : luas penampang spesimen (mm^2)

Untuk mencari regangan dapat menggunakan rumus 2.2. Regangan didefinisikan perubahan panjang per satuan panjang.

$$\varepsilon = \frac{l - l_0}{l_0} \quad (2.2)$$

Keterangan :

ε : regangan akibat daya tarik

l_0 : panjang awal spesimen (mm²)

l : panjang akhir spesimen (mm²)

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.

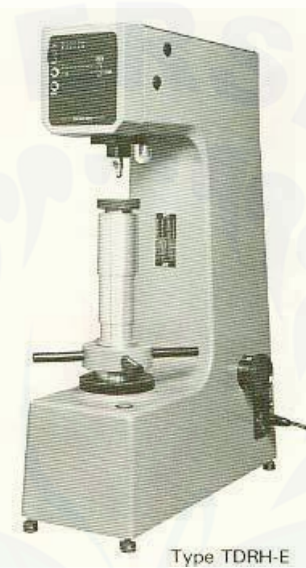
$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (3.3)$$

2.8.2 Pengujian 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*, uji kekerasan knop. Dalam penelitian ini uji kekerasan yang digunakan adalah uji kekerasan *brinell*.

Dalam penelitian kali ini pengujian kekerasan menggunakan metode *Rockwell*, dimana cara kerjanya yaitu nilai kekerasan akan ditentukan pada kedalaman masuknya indenter kedalam material akibat penekanan yang kita berikan dengan perbesaran beban tertentu (Sudjana, 2008). Pengujian kekerasan dengan menggunakan metode *Rockwell* ini paling banyak digunakan pada bengkel permesinan, dikarenakan proses yang cepat dan mudah dalam memperoleh nilai

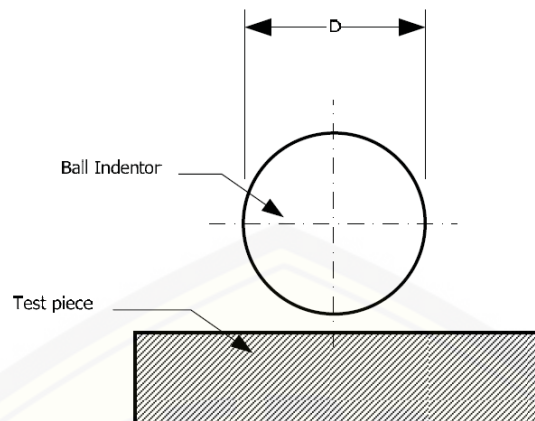
kekerasan suatu bahan yang diuji, dimana nilai kekerasan dengan metode *Rockwell* dapat dibaca langsung oleh alat yang digunakan. Metode *Rockwell* ini juga memiliki cakupan yang luas untuk mencari nilai kekerasan pada bahan sehingga sangat memungkinkan untuk digunakan dalam berbagai jenis karakteristik bahan. Alat uji kekerasan *Rockwell* juga memiliki tingkat akurasi yang sangat tinggi dan telah distandarkan oleh ASTM dan JIS sehingga metode ini paling banyak digunakan dan dikembangkan



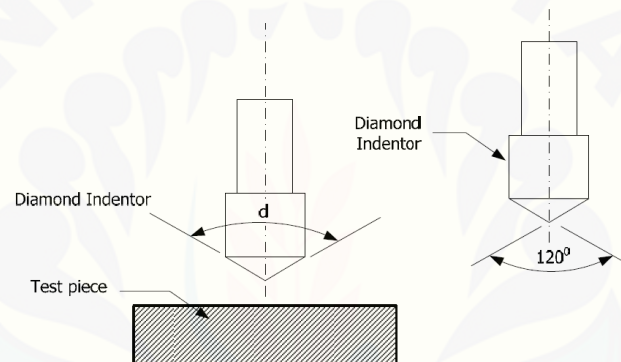
Gambar 2.13 Alat uji kekerasan *Rockwell* (Sudjana,2008)

Pengujian kekerasan dengan menggunakan metode *Rockwell* ini dibagi menjadi 2 jenis berdasarkan pemakaian indentornya, yaitu:

- 1) *Rockwell Ball*, adalah pengujian kekerasan dengan metode *Rockwell* menggunakan indentor bola baja dalam berbagai ukuran untuk berbagai aplikasi.
- 2) *Rockwell Cone*, adalah pengujian kekerasan dengan metode *Rockwell* menggunakan indentor berbentuk kerucut dengan sudut intan 120° .



Gambar 2.14 *Ball Indentor* pada posisi siap menekan (Sudjana, 2008)



Gambar 2.15 *Diamond Indentor* pada posisi siap menekan (Sudjana, 2008)

Pada pengujian kali ini menggunakan metode *Rockwell* berjenis *Rockwell Ball* dikarenakan ketersediaan alat dilaboratorium, dimana dalam pemakaiannya, skala uji kekerasan dengan metode *Rockwell* dipilih sesuai ketentuan yang telah direkomendasikan pada Tabel 2.9 dibawah ini.

Tabel 2.9 Skala kekerasan dalam metode *Rockwell*

Skala	Indentor	Beban (kgf)			Pemakaian
		Minor	Mayor	Total	
A	Intan 120°	10	50	60	Cabide Cementite baja tipis dan baja dengan lapisan keras yang tipis.
B	Bola baja Ø 1,588 Mm (1/16")	10	90	100	Tembaga, alumunium, baja lunak dan besi tempa
C	Intan 120°	10	140	150	Baja yang keras sedang besi tempa pearlitic baja dengan lapisan keras
D	Intan 120°	10	90	100	Baja yang keras sedang besi tempa pearlitic baja dengan lapisan keras
E	Bola baja Ø 3,75 mm (1/8")	10	90	100	Besi tuang, alumunium, Magnesium dan logam-logambantalan
F	Bola baja Ø 1,588 Mm (1/16")	10	50	60	Paduan tembaga yang dilunakan, plat dan logam lunak yang tipis
G	Bola baja Ø 1,588 Mm (1/16")	10	140	150	Besi tempa, paduan tembaga nikel Seng dan Tembaga Nikel

2.8.3 Pengujian Mikrografi

Metallography merupakan salah satu cara pemeriksaan pada struktur mikro dari bahan logam yang bertujuan mengetahui struktur bahan logam tersebut dalam hubungannya dengan sifat bahan sebelum atau setelah diadakannya proses perlakuan panas (Sudjana, 2008). Proses ini dilakukan menggunakan alat *Metallography microscope*, melakukan analisis bentuk dan susunan serta jenis unsur yang terdapat pada bahan logam tersebut. Berikut adalah gambar alat uji mikrografi.

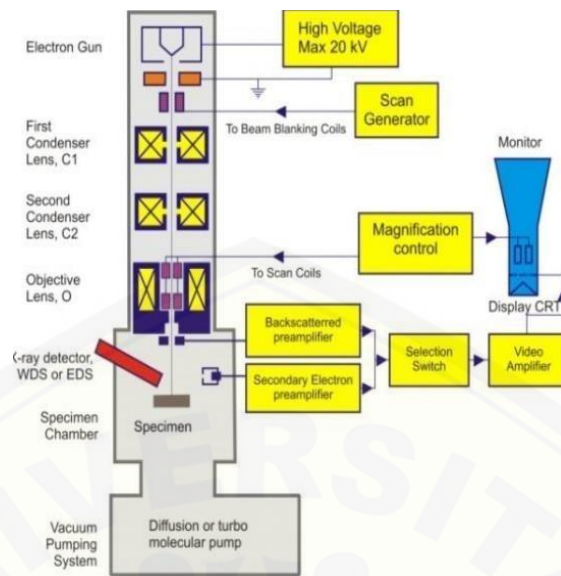


Gambar 2.16 Alat uji mikrografi (Sudjana, 2008)

Sebelum dilakukan pengamatan mikro, spesimen terlebih dahulu dilakukan pengetsaan. Proses etsa ini pada dasarnya 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 (Herman, 2009).

2.8.4 Uji *Scanning Electron Microscopy* (SEM)

Elektron memiliki resolusi yang lebih tinggi dari pada cahaya. Cahayanya mampu mencapai 200 nm sedangkan elektron bisa mencapai resolusi 0,10,2 nm. Dengan menggunakan pengujian SEM bisa didapatkan beberapa jenis pantulan yang berguna untuk keperluan karakterisasi karena elektron yang mengenai suatu benda akan menimbulkan dua jenis pantulan yaitu pantulan elastis dan pantulan non elastis. Tujuan dari pengujian SEM ini adalah untuk melakukan pengamatan metalografi pada komposit Al-SiC (Dantes dan Aprianto, 2017).



Gambar 2.17 Komponen alat *Scanning Electron Microscopy* (SEM)
(Sujatno dkk., 2015)

2.9 Aplikasi

Pengaplikasian komposit Al-SiC-Mg banyak digunakan dalam bidang otomotif, seperti *gear*, *disc brake*, piston, blok mesin dan komponen lainnya. Penggunaan komposit Al-SiC-Mg untuk komponen otomotif dituntut memiliki sifat mekanik yang baik. Pemberian perlakuan panas pada material komposit Al-SiC-Mg diharapkan mampu meningkatkan sifat mekaniknya.



Gambar 2.18 Piston Daihatsu Hi-Jet 1000

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/Mg. penelitian ini mulai dari studi literature, 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 ini dilakukan selama tujuh bulan yaitu dari bulan September hingga Maret. Rincian kegiatan penelitian dapat dilihat pada Tabel 3.1.

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*

Daya : 125 Volt

Ampere : 20 A

2) *Furnace*

Merk : PayunTech

Tipe : NDT LF S-2

Watt : 3 kw

Ampere : 73,6 A

Volt : 220 V

3) *Gerinda*

Merk : Modern

Voltase : 220V/50Hz

Daya Listrik : 540 Watt

Kec.Tanpa Beban : 11000 rpm

Ukuran Spindel : M10 x 1.25

4) Timbangan digital

Merk : SF-400A

Daya : 1,5 Volt / 2 baterai AA

Maksimal berat : 10 kg

5) Jangka sorong

Merk : Kenmaster

Ketelitian : 0,02 mm

Ukuran : 0 – 150 mm

6) Tacometer

Merk : TASI T8143

Rentang pengukuran : 2,5 – 99999 rpm

Resolusi : 0,1 rpm pada 2,5 – 999,9 rpm /
1 rpm pada 1000 – 99,999 rpm

Akurasi : $\pm 0,025 + 1$ digit

Mengukur jarak : 50 – 500 mm

7) Torch

8) Argon

9) LPG

Berat : 3 kg

10) Cetakan spesimen

Panjang : 12 cm

Diameter tengah : 14.1 cm

Diameter : 11.1 cm

11) Mesin bubut

Merk : Krisbow

Max. Swing Over Bed : 250 mm

Max. Swing Over Cross Slide : 140 mm

Distance Between Centers : 750 mm

Spindle Bore : 21 mm

- Taper of Spindle Bore : MT. #3
 Range of Spindle Speed : 120 – 2000 rpm
 Range of Longitudinal Feeds : 0,1 – 0,2 mm/rev
 Range of Matric Threads : 0,25 – 2,5 mm
 Range of Inch Threads : 8 -56 T.P.I
 Max. Size of Tool Shanks : 14x14 mm
 Taper of Tailstock Bore : M.T #2
 Motor Power : 0,55/220/1 kW/V/Ph
 Dpeimension (L x W x H) : 1350x1570x570 mm
 Weight : 140 kg
- 12) Krusibel
- Jenis : Krusibel tukik
 Volume : 500 gram
- 13) Bore Tuner
- Merk : Modern M-2310
 Diameter : 3 mm
 Daya : 135 Watt
 Kecepatan tanpa beban : 10.000 – 35.000 rpm
- 14) Alat uji Tarik
- Merk : Tarno Grocki
 Kapasitas : 10 ton
 Jenis : Otomatis
- 15) Alat uji kekerasan
- Merk : Mitutoyo
 Tipe : Rockwell
 Tampilan : Analog
 Min. Pembacaan : 0,5 HR
 Daya : AC 100 – 200 V, 1.2 A
- 16) Alat uji mikrostruktur
- Merk : Olympus BX41M
 Perbearan lensa okuler : 10x

Perbesaran lensa objektif : 5x, 10x, 20x, 50x, dan 100x

Kamera : Eyepiece 14 MP HDMI

17) Alat uji SEM (*Scanning Electron Microscope*).

Merk : HITACHI FLEXSEM 1000

b. Bahan yang digunakan :

1) Aluminium

Jenis : aluminium seri 6061

2) *Silicone Carbide* (SiC)

Jenis : Serbuk

Ukuran : 50 μm

3) Air

4) Larutan etsa

HNO₃ : 2,0 ml

HCL : 1,5 ml

HF : 1,0 ml

Air : 95 ml

3.4 Variabel Penelitian

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

3.4.1 Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variable yang mempengaruhi atau yang menjadi sebab perubahan variable terikat. Variabel bebas pada penelitian ini adalah suhu *solution* (500 °C), *temperatur aging* (160 °C, 180 °C, 200 °C) dan *holding time* (4 dan 5 jam) pada proses perlakuan panas paduan Al6061/SiC/Mg.

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 kekuatan tarik

- c. Struktur mikro
- d. *Scanning Electron Microscopy*;

3.4.3 Variabel Kontrol

Variabel kontrol merupakan variabel yang digunakan untuk menyamakan persepsi mengenai penelitian ini. Variabel kontrol pada penelitian ini adalah :

- a. Proses pembuatan spesimen menggunakan metode *stir casting*
- b. Kecepatan pada proses pengadukan 450 rpm
- c. Lama proses pengadukan 30 detik
- d. Suhu pada proses pencairan Al6061/SiC/Mg adalah 750 °C
- e. Proses perlakuan panas menggunakan *furnace*
- f. Media pendingin menggunakan air

3.5 Proses Pembuatan Spesimen

Tahap pertama pada penelitian ini adalah tahap pembuatan spesimen. Dalam proses pembuatan paduan Al6061/SiC/Mg dilakukan penimbangan bahan Al6061, SiC, dan Mg yang kemudian dilakukan proses pengecoran menggunakan metode *stir casting*. Langkah–langkah untuk proses pembuatan sampel paduan Al6061/SiC/Mg sebagai berikut :

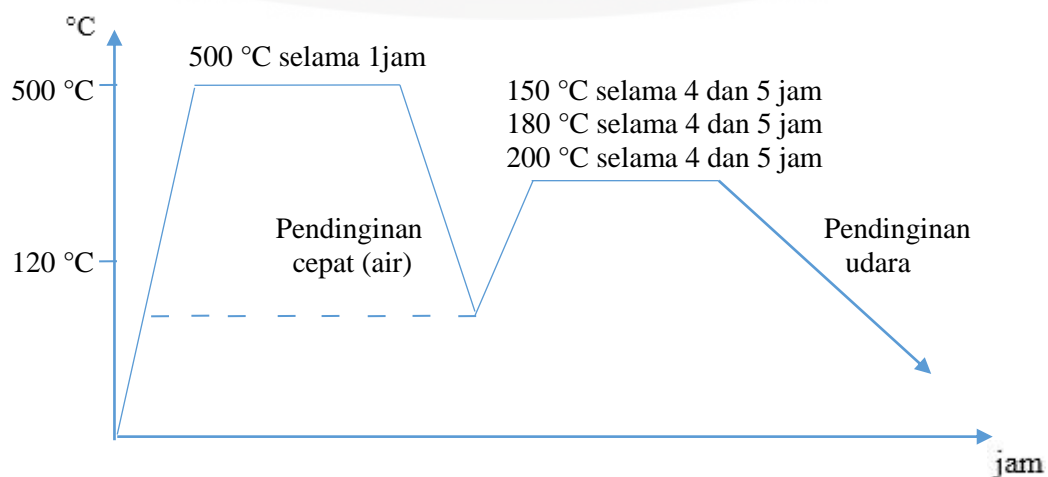
- a. Menimbang massa Aluminium 6061
- b. Menimbang massa SiC sesuai dengan yang ditentukan
- c. Menimbang massa Mg sesuai dengan yang ditentukan
- d. Lakukan *coating* pada kowi dan *crucible* dengan mortar
- e. Menyalakan tungku peleburan dengan dipanaskan terlebih dahulu agar kandungan air hilang dan kemudian diatur sesuai kebutuhan, yaitu suhu 750°C
- f. Ketika aluminium 6061 telah melebur sempurna kemudian buang *slag*, lalu tambahkan Mg
- g. Sambil menunggu aluminium dan Mg melebur, panaskan SiC menggunakan *torch* pemanas
- h. Tambahkan SiC yang telah dipanaskan kedalam tungku leburan

- i. Sambil menunggu SiC yang telah dimasukkan panaskan cetakan
- j. Aduk leburan menggunakan alat *stirring* dengan kecepatan 450 rpm selama 60 detik dengan mengalirkan gas argon, kemudian membuang slag pada leburan
- k. Tuangkan leburan kedalam cetakan yang telah dipanaskan
- l. Buka cetakan ketika leburan sudah membeku

3.6 Proses Perlakuan Panas

Tahap kedua pada penelitian ini adalah tahap perlakuan panas. dalam proses perlakuan panas Al6061/SiC/Mg sesuai dengan variabel bebas, suhu *solution* (500 °C), *temperature aging* (160 °C, 180 °C, 200 °C) dan *holding time* (4 dan 5 jam). Langkah-langkah untuk proses perlakuan panas paduan Al6061/SiC/Mg sebagai berikut :

- a. Masukkan spesimen (bagian saluran dan hasil pengecoran) ke dalam *furnace*
- b. Panaskan spesimen hingga mencapai suhu 500 °C
- c. Keluarkan spesimen dari *furnace*, kemudian lakukan pendinginan cepat dengan menggunakan media air hingga suhu
- d. Masukkan kembali spesimen ke dalam *furnace*
- e. Panaskan kembali spesimen pada *temperature aging* 150 °C dengan *holding time* 4 jam.
- f. Keluarkan spesimen dari *furnace*, kemudian lakukan pendinginan ruang
- g. Ulangi proses yang sama seperti diatas dengan *temperature aging* dan *holding time* yang berbeda, yaitu 150 °C selama 5 jam, 180 °C selama 4 dan 5 jam, 200 °C selama 4 dan 5 jam.
- h. Spesimen siap diuji



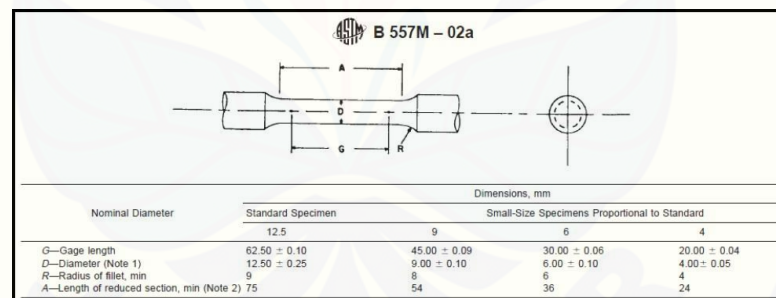
3.7 Proses Pengujian Spesimen

Tahap selanjutnya setelah tahap perlakuan panas yaitu tahap pengujian spesimen. Ada 4 cara yang dilakukan dalam pengujian paduan aluminium 6061/SiC/Mg pada penelitian ini, yaitu ;

3.7.1 Pengujian Tarik

Pada proses pengujian tarik paduan aluminium 6061/SiC/Mg ini menggunakan standart ASTM B 557M dan memiliki tahapan-tahapan pengujian, yaitu :

- Preparasi sampel (bagian pengecoran) sesuai standart ASTM B 557M seperti pada Gambar 3.1.
- Ukur terlebih dahulu sebelum spesimen di uji
- Pasang sampel pada alat uji untuk dilakukan pengujian tarik.
- Lakukan pengujian tarik dan mengamati pengecilan diameter pada sampel uji tarik dengan menggunakan jangka sorong.
- Dan mencatat hasil yang keluar pada mesin uji tarik sampai sampel putus.



Gambar 3.1 Dimensi standart ASTM B 557M sebagai sampel uji tarik (Sumber : ASTM B 557M)

3.7.2 Pengujian Kekerasan

Pada proses pengujian kekerasan paduan aluminium 6061/SiC/Mg ini menggunakan standart ASTM E 10 serta menggunakan alat dengan metode pengujian *Rockwell Hardness* dan memiliki tahapan – tahapan pengujian, yaitu :

- Persiapkan sampel (bagian saluran pengecoran) dengan mengacu pada standart ASTM E 10;

- b. Atur alat pengujian pada nilai *Brinell Hardness* dan disesuaikan dengan material yang akan diuji;
- c. Setelah itu lakukan pengujian dengan meletakkan alat pada spesimen agar indentor dapat bersentuhan pada spesimen;
- d. Catat angka kekerasan yang muncul pada alat *Rockwell Hardness*.

3.7.3 Pengujian Mikrografi

Pada proses pengamatan struktur mikro paduan aluminium 6061/SiC/Mg ini menggunakan standart ASTM E 407 – 07 serta menggunakan alat *Microscopy Olympus BX41M* dan memiliki tahapan – tahapan pengujian, 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. Hal ini bertujuan untuk menghaluskan permukaa benda yang akan diuji
- c. Gosok permukaan sampel menggunakan autosol sampai mengkilap
- d. Buat campuran etsa dengan memasukkan campuran 2,5 ml HNO₃, 1,5 ml HCL, 1 ml HF, dan 95 ml air ke dalam gelas. Aduk campuran menggunakan pengaduk sampai tercampur rata
- e. Etsa sampel dengan mencelupkan sampel pada campuran selama 25 detik
- f. Bilas sampel dengan air mengalir
- g. Keringkan sampel dengan menggunakan tissue
- h. Komputer yang sudah terinstal aplikasi mikroskop optik hubungkan dengan mikroskop optik. Letakan sampel di tempat sampel uji miskoskop optik dengan benar yaitu di bawah cahaya mikroskop optik
- i. Atur perbesaran mikroskop sampai struktur mikro terlihat dengan jelas di komputer
- j. Simpan hasil uji struktur mikro di dalam komputer

3.7.4 Pengujian SEM

Pada proses pengamatan dengan SEM pada paduan aluminium 6061/SiC/Mg ini menggunakan alat HITACHI FLEXEM 1000 dan memiliki tahapan-tahapan pengujian, yaitu :

- a. Siapkan Alat pengujian HITACHI FLEXSEM 1000
- b. Etsa sampel dengan mencelupkan sampel ke dalam campuran 2,5 ml HNO₃, 1,5 ml HCL, 1 ml HF, dan 95 ml air ke dalam gelas selama 25 detik.
- c. Bilas sampel dengan air mengalir
- d. Keringkan sampel dengan menggunakan tissue
- e. Letakan sampel yang sudah siap diuji pada *stage*
- f. Masukkan *stage* ke dalam alat HITACHI FLEXSEM 1000.
- g. Kemudian sampel siap di uji dengan pembesaran yang diinginkan dan gambar ditampilkan pada layar monitor.

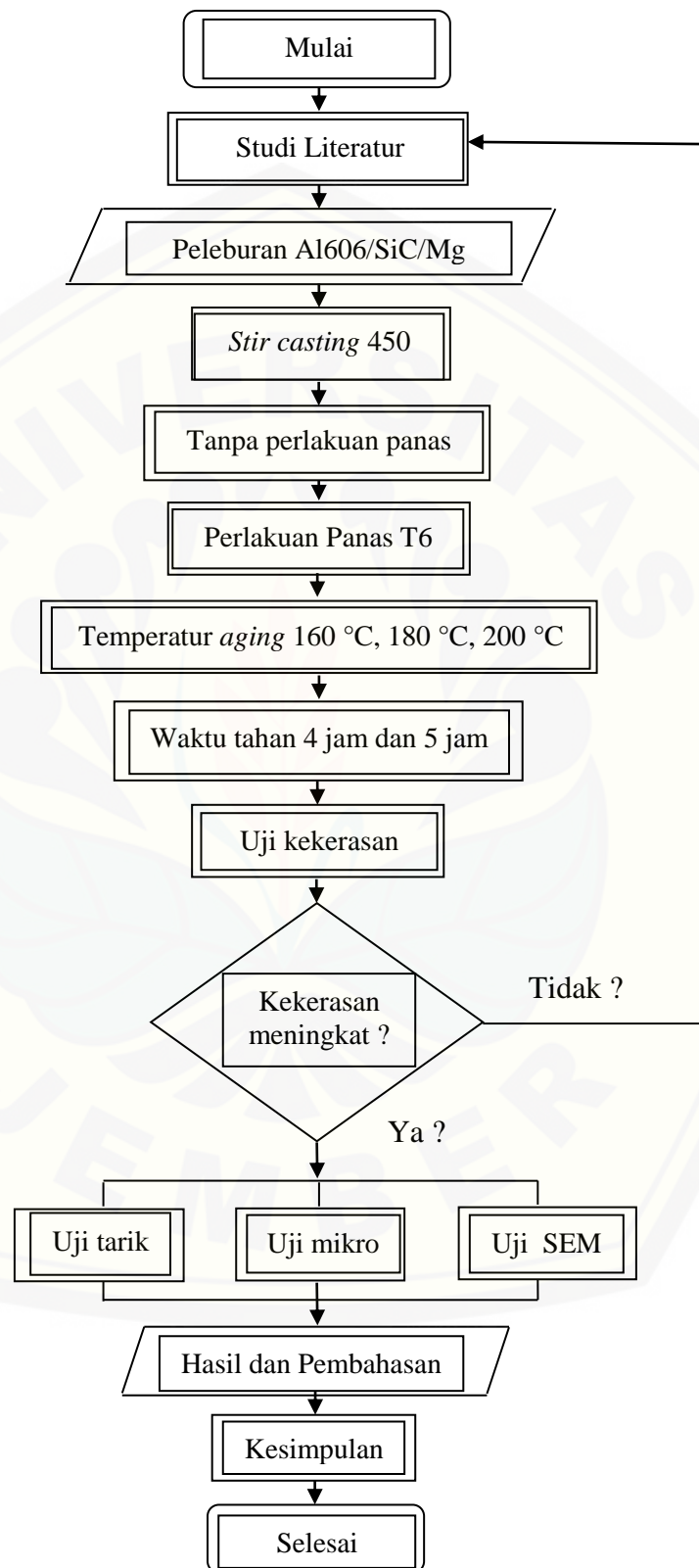
Tabel 3.1 Jadwal Penelitian

Kegiatan	Sep	Okt	Nov	Des	Jan	Feb- Juni	Juli
Studi literatur	■	■					
Persiapan alat dan bahan			■				
Pembuatan spesimen				■	■		
Pengujian spesimen						■	
Seminar hasil							■
Sidang							■

Tabel 3.3 Pengambilan Data

No.	Komposit	Nilai kekerasan	Tegangan	Ket
1.	Al6061-SiC dengan temperatur aging 160 ⁰ selama 4 jam			
.2.	Al6061-SiC dengan temperatur aging 160 ⁰ selama 5 jam			
3.	Al6061-SiC dengan temperatur aging 180 ⁰ selama 4 jam			
4.	Al6061-SiC dengan temperatur aging 180 ⁰ selama 5 jam			
5.	Al6061-SiC dengan temperatur aging 200 ⁰ selama 4 jam			
6	Al6061-SiC dengan temperatur aging 200 ⁰ selama 5 jam			

3.8 Diagram Alir



Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian terkait efek perlakuan panas T6 terhadap karakterisasi komposit Al6061/SiC/Mg didapatkan beberapa kesimpulan, yakni :

- 1) Penambahan perlakuan panas T6 berpengaruh dalam meningkatkan nilai kekerasan komposit Al6061/SiC/Mg dengan suhu 160° selama 4 jam dengan nilai kekerasan tertinggi 51,44 HRB.
- 2) Penambahan perlakuan panas T6 berpengaruh dalam meningkatkan nilai kekuatan tarik komposit Al6061/SiC/Mg dengan suhu 160° selama 4 jam dengan nilai kekuatan tarik tertinggi 148,89 MPa.
- 3) Hasil pengamatan struktur mikro dapat disimpulkan bahwa penambahan perlakuan panas T6 berpengaruh dalam merubah struktur mikro komposit menjadi struktur mikro yang lebih halus.
- 4) Hasil pengamatan pengujian SEM penambahan perlakuan panas T6 pada komposit Al/Mg/SiC dengan perlakuan panas 160° selama 4 jam menunjukkan penyebaran partikel yang lebih merata dan porositas yang lebih sedikit sehingga mampu meningkatkan sifat mekanik.

5.2 Saran

- 1) Dilakukannya penyemprotan gas argon sebelum penuangan pada lelehan agar udara yang terjebak pada lelehan tidak ikut tercampur pada saat penuangan di cetakan.
- 2) *Pre-heat* yang dilakukan pada partikel SiC sebaiknya dipanaskan menggunakan *furnace*, agar lapisan SiO₂ yang terbentuk pada permukaan partikel lebih baik.
- 3) Perlu adanya pembaruan alat untuk menunjang proses penelitian agar hasil yang diperoleh lebih maksimal.

DAFTAR PUSTAKA

Abdilllah, F. 2010. Perlakuan Panas Paduan Al-Si pada Prototipe Piston Berbasis Material Piston Bekas. Universitas Diponegoro Semarang.

Ahmad, Z., E. Santoso, dan F. Teknik. 2016. Al 6061 + Abu Batubara Setelah Perlakuan T6. *Jurnal Hasil Penelitian LPPM*. 01(01):93–104.

A.K. Vasudevan, K. Sadananda. 1995. Fatigue Crack Growth of Composites, Metallurgical and Materials Transactions. A, Physical Metallurgy and Materials Science, vol-26a, pp, 3199–3210.

American Society for Testing and Material. 2005. Annual Book of ASTM Standards. USA: ASTM handbook

Assidiq, C. dan Sulardjaka. 2014. Pengaruh SiC Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Komposit Matrik Aluminium yang Diperkuat Serbuk SiC. *Jurnal Teknik Mesin*. 2(3):211–218.

ASM Handbook Committee. 1992. Alloy Phase Diagrams ASM International. Ohio: USA.

Benjamin, W.N., Alan, B.D., dan Ricard, A.W. 1989. Modern Manufacturing Process Engineering. Singapore : McGraw-Hill Book Co.

Bhagwan D, Agarwal. 1980. Analysis and Performance of Fiber Composite. John Wiley & Sons. NewYork.

Bhandare, R. G. dan P. M. Sonawane. 2013. Preparation of Aluminium Matrix Composite by Using Stir Casting Method. *International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT)*. 3(2):61–65.

C. Appendino dan C. Badini. 1991. 6061 Aluminium alloy-SiC particulate composite: a comparison between aging behaviour in T4 and T6 treatments. *Materials Science arid Engineering. A* 135 { 1991) 275-279

Clyne, T.W. 2001. Composites: MMC, CMC, PMC. In: Mortensen, A. (Ed.), Encyclopaedia of Materials: *Science and Technology*. Elsevier.

- Davis, J.R. 2004. Tensile Testing, 2nd Edition. United State of America: ASM International.
- El-sabbagh, A., M. Soliman, M. Taha, dan H. Palkowski. 2012. Journal of Materials Processing Technology Hot Rolling Behaviour of Stir-Cast Al 6061 and Al 6082 Alloys – SiC Fine Particulates Reinforced Composites. *Journal of Materials Processing Tech.* 212(2):497–508.
- Ezapour, H. R., S. Abolkarim, M. Haddad, dan Y. Huang. 2014. Investigation of Microstructure and Mechanical Properties of Al6061-Nanocomposite Fabricated by Stir Casting. *Journal of Materials & Design.* 55:921–928.
- Feldman, Dorel dan Anton J.H. 1995. Bahan Polimer Kontruksi Bangunan. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- Ghauri, K. M., L. Ali, A. Ahmad, R. Ahmad, K. Meraj, D. Ijaz, dan R. A. Karim. 2013. Synthesis and Characterization of Al / SiC Composite Made by Stir Casting Method. *Pak. J. Engg. & Appl.* 12:102–110.
- Groover, M.P. 2010. Fundamentals of Modern Manufacturing (Materials Processes and Systems). Fourth Edition. United States of America: Hon Wiley & Sons, Inc.
- Hashim J. 2001. The Production of Cast Metal Matrix Composite by a Modified Stir Casting Method. *J Teknol.* 35(A):9–20.
- Hashim, J., L. Looney, dan M. S. J. Hashmi. 1999. Metal Matrix Composites : Production by the Stir Casting Method. *Journal of Materials Processing Technology.* 93(92):1–7.
- Jayashree, P.K., G. S. M. C, A. Kini, S. S. Sharma, dan R. Shetty. 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.

- Junus, S., A. Zulfia, Melisa, dan L. Mariani. 2014. Pengaruh Waktu Aging Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro Komposit Al-Si-Mg / Al₂O₃ dengan Metode Stir Casting Aluminum. *Jurnal ROTOR*. 7(2):6–9.
- J.W. Yeh., S.Y. Chang., Y.D. Hong., S.K. Chen., S.J. Lin. 2007. Mater. Chem. Phys. 103, 41–46.
- Khairrel, R. A. 2005. The Influence of Alumina Particle Size on Sintered Density and Hardness of Discontinuous Reinforced Aluminum Metal Matrix Composites. *Jurnal Teknologi* 42. Malaysia: Universiti Teknologi Malaysia.
- Kok, M. 2005. Production and Mechanical Properties of Al₂O₃ Particle-Reinforced 2024 Aluminum Alloy Composites. *J Mater Process Technol*. 161:381–7.
- Kumar, N. V. R. dan E. S. Dwarakadasa. 2000. Effect of Matrix Strength on the Mechanical Properties of Al – Zn – Mg / Sicp Composites. *Composites: Applied Science and Manufacturing*. 31:1139–1145.
- Lin, G., Hongwei, Z., Hoaze, Li., Lina, G., (2010), Effect of Mg Content on Microstructure and Mechanical Properties of SiCp/ Al-Mg Composites Fabricated by Semi Solid Stirring Technique, *Trans Nonferrous et. Soc.*, 20, pp. 1851-1885.
- Liu, Zhenggang., Zu, Guoyim., Luo, Hongjie., Liu, Yihan., Yao, Guangchun. 2010. Influence of Mg Addition on Graphite Particle Distribution in the Al Alloy Matrix Composites. *J. Mater, Sci*. 26(3), 244-250.
- Maryanti, B., A. A. Sonief, dan S. Wahyudi. 2011. Pengaruh Alkalisasi Komposit Serat Kelapa-Poliester Terhadap Kekuatan Tarik. *Jurnal Rekayasa Mesin*. 2(2):123–129.
- Mathew, F.L., dan R.D. Rawlings. 1994. *Composite Materials: Engineering and Science*. London: Chapman & Hall

- Mizhar, S., Suherman, dan R. Fauzi. 2016. Pengaruh Penambahan Magnesium Terhadap Kekerasan, Kekuatan Impak dan Struktur Mikro pada Aluminium Paduan (Al-Si) dengan Metode Lost Foam Casting. *Jurnal Ilmiah "Mekanik" Teknik Mesin ITM*. 2(2): 77-84.
- Mulyanti, J. 2011. Pengaruh Temperatur Proses Aging Terhadap Karakteristik Material Komposit Logam Al-Sic Hasil Stircasting. *Jurnal Kompetensi Teknik*. 2(2):95–104.
- Munits A, Metzger M, dan Mehrabain R. 1979. The Interface phase Al-Mg/Al₂O₃ Composites. Amerika: American Society for metal and the metallurgical society of AIME.
- Nair, S. V, J. K. Tien, dan R. C. Bates. 1985. SiC-Reinforced Aluminium Metal Matrix Composites. *International Metals Review*. 30(6):275–290.
- Naslain, R. 1998. The Design of the Fibre–Matrix Interfacial Zone in Ceramic Matrix Composites. *Composites Part A*, 29(A) 1145–1155 (1998).
- Naslain, R. 2004. Design, Preparation and Properties of Non-Oxide CMCs for Application in Engines and Nuclear Reactors: An Overview. *Composite Sci Technol*. 64(1) 55–170.
- Ourdjini, A., Chew, K.C. dan Khoo, B.T. 2001. Settling of Silicon Carbide Particles in Case Metal Matrix Composites. *Journal of Materials Processing Technology*. Vol. 116 (1), pp. 72-76.
- Rajasekaran, S., N. K. Udayashankar, dan J. Nayak. 2012. T4 and T6 Treatment of 6061 Al-15 Vol. % SiCp Composite. *International Scholarly Research Network Materials Science*. 2012:1–5.
- Ramesh, D., R. P. Swamy, dan T. K. Chandrashekar. 2010. Effect of Weight Percentage on Mechanical Properties of Frit Particulate Reinforced Al6061 Composite. *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*. 5(1):32–36.

Reddy, A. C. dan E. Zitoun. 2010. Matrix Al-Alloys for Silicon Carbide Particle Reinforced Metal Matrix Composites. *Indian Journal of Science and Technology*. 3(12):1184–1187.

Reddy, A. C. dan B. Kotiveerachari. 2011. Influence of Microstructural Changes Caused by Ageing on Wear Behaviour of Al6061/SiC Composites. *Journal of Metallurgy and Materials Science*. 53 (1): 31-39. ISSN: 0972-4257.

Robert, Sanders Jr. 2001. Technology Innovation in Aluminum Products. *JOM*. 53(2):21–5

Rohatgi, P.K., Sobezak, J., Asthana, R. dan Kim, J.K. 1998. Inhomogeneities in Silicon Carbide Distribution in Stirred Liquids Water Model Study for Synthesis of Composites. *Materials Science and Engineering*. Vol. 252 (1). pp. 98-99.

Poole, W.J. dan Charras, N. 2005. An Experimental Study on the Effect of Damage on the Stress Strain Behavior for Al-Si Model Composites. *Material Science & Engineering*. Vol. 406 (1-2). pp. 300-308.

Purnomo. 2017. *Material Teknik*. Malang: Seribu Bintang.

Sadi, V. M., W. Wildan, dan Suyitno. 2014. Pengaruh Parameter Faktor Stir Casting pada Porositas Komposit Al-SiC. *Jurnal Teknik Mesin dan Industri UGM*. 1-6.

Santana, Sanchez., U. Rubio-Gonzalez., C. Gomez-Rosas., G. Ocan., J.L. Molpeceres., C. Morales. 2006. Friction of 6061-T6-Aluminium Alloy Treated by Laser Shock Processing. (260): 847-854.

Samuel, Y. 2012. Karakteristik Komposit Aluminium AC8H/SiC Dengan Proses Stir Casting. <http://lib.ui.ac.id> [Diakses pada 11 Desember 2019]

Saheb, Dunia Abdul. 2011. Aluminum Silicon Carbide And Aluminum Graphite Pariculate Composites. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*. 6 (10) ISSN 1819-6608

Schwartz, M.M. 1997. *Composite Materials: Processing, Fabrication, and Applications*. Jerman: Springer.

S. Das, R. Behera, A. Datta, G. Majumdar, B. Oraon, G.Sutradhar. 2010. Experimental Investigation on The Effect of Reinforcement Particles on the Forgeability and the Mechanical Properties of Al MMCs. *Mater. Sci. Appl.*(1) 310–316.

Shankar, G., P. K. Jayashree, R. Shetty, A. Kini, dan S. S. Sharma. 2013. Individual and Combined Effect of Reinforcements on Stir Cast Aluminium Metal Matrix Composites-a Review. *International Journal of Current Engineering and Technology*. 3(3):922–934.

S.Long, O. Beffort et .al. 1999. 9Th CIMTEC-World Ceramics Congress, Ceramics-Part C. Florence: Italy.

Singla, M., L. Singh, dan V. Chawla. 2009. Study of wear properties of al-sic composites. *Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering*. 8(10):813–819.

Sudjana, H. 2008. *Teknik Pengecoran Logam*. Edisi 1. Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.

Sudjana, H. 2008. *Teknik Pengecoran Logam*. Edisi 2. Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.

Sudjana, H. 2008. *Teknik Pengecoran Logam*. Edisi 3. Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.

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.

Sulardjaka, D. ., A. Wibowo, dan E. Setiaji. 2011. Pengaruh Temperatur Tuang pada Proses Pengecoran Stir Casting Serbuk Besi. *Jurnal Teknik Mesin*.

13(3):19–21.

Surappa, M. K. 2003. Aluminium Matrix Composites: Challenges And Opportunities. 28 (1&2) pp. 319–334

Surdia, Tata dan Saito, Shinroku. 1999. Pengetahuan Bahan Teknik. Cetakan. Jakarta: PT Pradnya Paramita

Suyanto., Sulardjaka., Nugroho, Sri. 2014. Pengaruh Komposisi Mg Dan SiC Terhadap Sifat Kekerasan Komposit AlSi-SiC yang Dibuat dengan Proses Semi Solid Stir Casting. Prosiding SNATIF ke-1. Kudus: Fakultas Teknik-Universitas Muria Kudus.

Weinert, S. K. 1993. A Consideration of Tool Wear Mechanism When Machining Metal Matrix Composites (MMC), CIRP Annals manufacturing technology. (42): 95-98.

Wibowo, Ignatiusy. 199. Polimer sebagai Bahan Pengikat dalam Pembuatan Komposit Magnet.

Taha, M.A. 2001. J. Mat. Design 22, 431–441.

Vencl, A., Bobic, I., Arostegui, S., Bobic, B. Structural Mechanical and Tribological Properties of A356 Aluminium Alloy Reinforced with Al₂O₃, SiC and SiC+Graphite Particles. J Alloys Compd. 506:631–9.

Zamheri, A. 2011. Pengaruh Waktu Stirring, Fraksi Volume dan Ukuran Besar Butir Partikel SiC Terhadap Kekerasan Mmc Al 6061 – SiC dengan Sistem Stir Casting. *Jurnal Austenit*. 3(2):23–34.



LAMPIRAN

Lampiran 1. Alat dan Bahan



Tungku pengecoran



Gerinda



Gergaji



Jangka sorong



Tachometer



Timbangan digital



Cetakan permanen



Furnace



Torch pemanas dan LPG



Bore Tuner



Gas argon



Avometer



Mesin bubut



Alat uji kekerasan



Alat uji tarik



Alat uji mikro



Aluminium 6061



SiC



Magnesium

Lampiran 2. Proses Penelitian



Pemotongan bahan



Penimbangan bahan



Proses pengecoran



Penuangan kedalam cetakan



Spesimen hasil pengecoran



Proses pembubutan



Proses perlakuan panas



Pengujian tarik



Pengujian kekerasan



Pembuatan spesimen uji mikro



Lampiran 2. Hasil Pengujian

Tabel 2.1 Hasil Pengujian Kekerasan

No.	Spesimen	1	2	3	4	5	6	7	8	Rata-rata Kekerasan (HRB)
1.	Tanpa perlakuan panas	43,5	32	24,4	34	35,4	30,5	40,5	41	35,85
2.	Perlakuan panas 160° selama 4 jam	35	43,5	45	87,5	62,5	45,2	41,5	-	51,44
3.	Perlakuan panas 160° selama 5 jam	43,5	37	38,5	40,3	35,5	42,5	41	35,5	39,35
4.	Perlakuan panas 180° selama 4 jam	40,4	37	46,5	45	43	35	38	-	40,71
5.	Perlakuan panas 180° selama 5 jam	42,5	36,3	40,5	41	35,5	37,5	39	33	38,16
6.	Perlakuan panas 200° selama 4 jam	30	35,5	38	40,2	34	41	37	-	36,52
7.	Perlakuan panas 200° selama 5 jam	45	40,5	47	40,5	42,5	43	38,5	40,5	42,18

Tabel 2.2 Hasil Pengujian Tarik

No.	Spesimen	Force Max (kg)	Force Max (N)	r (mm)	A (mm)	ΔL (mm)	L_0 (mm)	Tegangan (MPa)	Regangan	Modulus Elastisitas	Elongasi
1	Tanpa perlakuan	258,75	2535,75	3	28,26	1,76	35,09	89,7293	0,050157	1788,978	5,015674
		228,25	2236,85	2,95	27,318	2,41	34,39	81,88191	0,058156	1407,959	5,815644
2	Perlakuan panas 160 °C selama 4 jam	377,05	3695,09	2,95	27,318	0,88	39,32	135,2621	0,02238	6043,756	2,238047
		325,65	3191,37	3,05	29,202	1,10	38,58	109,286	0,028512	3832,958	2,851218
3	Perlakuan panas 160 °C selama 5 jam	197,1	1931,58	3	28,26	0,58	38,6	68,35032	0,015026	4548,832	1,502591
		231,5	2268,7	3,05	29,202	1,15	40,69	77,68988	0,028262	2748,871	2,826247
		180,1	1764,98	3,05	29,202	0,99	42,36	60,44038	0,023371	2586,116	2,33711
4	Perlakuan panas 180 °C selama 4 jam	304,7	2986,06	3,05	29,202	1,60	40,61	102,2553	0,039399	2595,368	3,939916
		349,25	3422,65	3,05	29,202	1,28	35,04	117,206	0,0365297	3208,515	3,652968
5	Perlakuan panas 180 °C selama 5 jam	120,55	1181,39	3	28,26	0,65	39,68	41,80432	0,016381	2551,993	1,638105
		237,3	2325,54	3	28,26	1,05	35,97	82,29087	0,029191	2819,050	2,919099
		235,35	2306,43	3,05	29,202	1,05	39,48	78,98192	0,026596	2969,720	2,659574

6	Perlakuan panas 200 °C selama 4 jam	181	1773,8	3	28,26	0,88	37,46	62,76716	0,023492	2671,884	2,349172
		176,55	1730,19	3	28,26	1,38	39,06	61,22399	0,03533	1732,905	2,697401
		184,55	1808,59	3	28,26	1,10	40,78	63,99823	0,026974	2372,589	2,697401
7	Perlakuan panas 200 °C selama 5 jam	277,75	2721,95	3	28,26	1,15	39,36	96,31812	0,029217	3296,592	2,921748
		476,6	4670,68	3,05	29,202	1,23	37,8	159,9438	0,03254	4915,347	3,253968



