

**PENGARUH PERSENTASE FRAKSI BERAT SERBUK *E-GLASS* TERHADAP
MIKROSTRUKTUR DAN KEKERASAN PADA Al-6061 HASIL *SQUEEZE*
CASTING DAN *AGING TREATMENT***

**SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK MATERIAL**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh:

**MOHAMMAD EMIL SALIM
NIM. 105060200111049-62**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2015**

LEMBAR PERSETUJUAN

**PENGARUH PERSENTASE FRAKSI BERAT SERBUK *E-GLASS* TERHADAP
MIKROSTRUKTUR DAN KEKERASAN PADA Al-6061 HASIL *SQUEEZE*
CASTING DAN *AGING TREATMENT***

**SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK MATERIAL**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh :

**MOHAMMAD EMIL SALIM
NIM. 105060200111049-62**

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Dr. Eng Yudy Surya Irawan, ST., M. Eng
NIP. 19750710 199903 1 004

Dr.Eng. AninditoPurnowidodo, ST., M.Eng.
NIP. 19710310 199802 1 001



LEMBAR PENGESAHAN**PENGARUH PERSENTASE FRAKSI BERAT SERBUK *E-GLASS* TERHADAP
MIKROSTRUKTUR DAN KEKERASAN PADA Al-6061 HASIL *SQUEEZE CASTING*
DAN *AGING TREATMENT*****SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK MATERIAL**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh :

**MOHAMMAD EMIL SALIM
NIM. 105060200111049-62**

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
tanggal 07 Januari 2015

Majelis Penguji

Skripsi I

Skripsi II

Ir. Endi Sutikno, MT.
NIP. 19590411 198710 1 001

Dr.Eng. Sofyan Arief Setyabudi, ST., M.Eng.
NIP. 19731124 199802 1 001

Skripsi III

Ir. Agustinus Ariseno, MT.
NIP. 19510822 198701 1 001

Mengetahui,
Ketua Program Studi S1

Dr.Eng. WidyaWijayanti,ST.,MT.
NIP. 19750802 199903 2 002

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa yang telah senantiasa melimpahkan rahmat, berkat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan baik. Skripsi ini merupakan laporan akhir yang harus dipenuhi dalam mata kuliah Tugas Akhir pada Jurusan Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang. Untuk memenuhi syarat tersebut maka penyusun melakukan penelitian dengan judul ”**Pengaruh Persentase Fraksi Berat Serbuk E-Glass Terhadap Mikrostruktur dan Kekerasan pada Al-6061 Hasil Squeeze Casting dan Aging Treatment**”.

Skripsi ini tidak dapat diselesaikan dengan baik tanpa bantuan, bimbingan, serta motivasi dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis tidak lupa ingin menyampaikan banyak terima kasih kepada :

- Bapak Dr. Eng. Nurkholis Hamidi, ST, M.Eng. selaku Ketua Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.
- Bapak Purnami. ST., MT. selaku Sekretaris Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang dan dosen wali yang telah memberikan bimbingan dan motivasi selama menempuh kuliah di Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya.
- Bapak Dr. Ir. Wahyono Suprpto, MT.Met selaku Ketua Konsentrasi Teknik Material Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.
- Bapak Dr. Eng. Yudy Surya Irawan, ST., M.Eng., serta Bapak Dr.Eng. Anindito Purnowidodo, ST., M.Eng., sebagai Dosen pembimbing pertama dan kedua yang telah banyak bersabar dan bersedia meluangkan waktunya untuk memberikan ide-ide, bimbingan, arahan, dan masukan dalam penyusunan skripsi ini.
- Bapak Gatot Siswanto dan Bapak Suhastomo, selaku Laboran Laboratorium Pengecoran Logam dan Laboratorium Pengujian Bahan Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.
- Seluruh dosen, staf dan karyawan Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.
- Alm. Ayah Achmad Afandi Ramza dan Ibu Ida Rachmawati tercinta, saudara-saudara saya Mohammad Agus Salim dan Muhammad Fuad Salim, serta semua saudara yang tidak disebutkan namanya satu persatu yang selalu memberikan

motivasi dan dukungan baik materil maupun moril untuk mengerjakan skripsi ini dengan baik.

- Om Hairul Shaleh dan Tante Yetty Yuliastuti, yang telah memberikan tempat selama di Malang dan dukungan baik materil maupun moril untuk mengerjakan skripsi ini dengan baik.
- Lafadis Perwitasari, yang selalu membantu dan memberikan inspirasi serta motivasi lebih yang sangat mendorong semangat untuk mengerjakan skripsi ini dengan baik.
- Sahabat Bachmid Iqbal, Alm. M. Wahyou Akbar S, Dani Kurniawan, M. Indra Pratama W, R. Bismi A.S, yang telah memberikan semangat yang luar biasa untuk mengerjakan skripsi ini dengan baik.
- Rekan-rekan Keluarga Besar Mahasiswa Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, khususnya Mesin angkatan 2010 (**IMMORTAL**).

Dan banyak lagi yang tidak dapat penyusun sebutkan satu persatu, yang telah banyak membantu, membimbing dan memberikan arahan kepada penyusun selama penyusunan skripsi ini.

Penyusun menyadari bahwa skripsi ini tidak lepas dari kekurangan. Oleh karena itu penyusun sangat menghargai setiap saran dan masukan untuk kesempurnaan skripsi ini. Akhir kata, penyusun mengharapkan kiranya skripsi ini dapat bermanfaat.

Malang, Januari 2015

Penyusun

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR LAMPIRAN	viii
RINGKASAN	ix
SUMMARY	x
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Batasan Masalah.....	3
1.4. Tujuan Penelitian	3
1.5. Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Penelitian Sebelumnya	5
2.2. Pengertian Komposit.....	6
2.2.1 Sifat dan Karakterisasi Komposit.....	7
2.2.2 Klasifikasi Komposit.....	7
2.3. Komposit Matriks Logam	8
2.4. Aluminium	10
2.5. Serat Gelas	12
2.6. Tipe Material Penyusun Komposit.....	14
2.6.1 Matrik (<i>Matrix</i>).....	14
2.6.2 Penguat (<i>Reinforcement</i>)	15
2.7. <i>Stir Casting</i>	15
2.8. Pembekuan Logam.....	16
2.9. Pengecoran <i>Squeeze (Squeeze Casting)</i>	18
2.10. Pengujian Mikrostruktur	20
2.11. Pengujian Kekerasan	21
2.11.1 Pengujian Kekerasan <i>Brinell</i>	21
2.11.2 Pengujian Kekerasan <i>Vickers</i>	21
2.11.3 Pengujian Kekerasan <i>Rockwell</i>	22

2.12. <i>Aging Treatment</i>	23
2.12.1 <i>Artificial Aging</i>	23
2.12.2 <i>Natural Aging</i>	25
2.13. Hipotesa.....	27
BAB III METODE PENELITIAN	28
3.1. Tempat Penelitian.....	28
3.2. Variabel Penelitian.....	28
3.3. Alat dan Bahan Penelitian.....	29
3.4. Prosedur Penelitian.....	30
3.4.1 Prosedur <i>Squeeze Casting</i> & Pencampuran serbuk <i>E-glass</i>	30
3.4.2 Prosedur Proses <i>Solution Treatment</i> dan <i>Precipitation Hardening</i>	33
3.4.3 Prosedur Pengujian dan Pengambilan Data Kekerasan.....	33
3.4.4 Prosedur Pengujian Mikrostruktur.....	34
3.5 Diagram Alir Penelitian.....	36
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	37
4.1. Hasil Pengujian.....	37
4.1.1 Hasil dan Pembahasan Pengujian Kekerasan.....	37
4.1.2 Hasil dan Pembahasan Pengujian Mikrostruktur.....	41
BAB V PENUTUP	43
5.1. Kesimpulan.....	43
5.2. Saran.....	43
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Sifat Aluminium Paduan Al-Mg-Si	10
Tabel 2.2	Jenis-jenis Aluminium dan Karakteristiknya	12
Tabel 2.3	Sifat Serat Sintetis Beberapa Penguat	13
Tabel 2.4	Komposisi Kimia <i>E-glass</i>	13
Tabel 2.5	Karakterisasi Pengujian Kekerasan <i>Rockwell</i>	23
Tabel 4.1	Data Hasil Pengujian Kekerasan (VHN) Penampang Atas	37
Tabel 4.2	Data Hasil Pengujian Kekerasan (VHN) Penampang Tengah	37
Tabel 4.3	Data Hasil Pengujian Kekerasan (VHN) Penampang Bawah	38
Tabel 4.4	Data Hasil Perhitungan Ukuran Butir	42



DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Komposit Berdasarkan Jenis Penguat yang Digunakan	8
Gambar 2.2	Beberapa Contoh Aplikasi yang Menggunakan Komposit (a) <i>Beech Starship Model 2000</i> Menggunakan Komposit Carbon-fiber <i>Epoxy</i> (b) Konstruksi <i>Beech Starship Model 2000</i> (c) Bagian Ekor Vertikal Pesawat Tempur Terbuat dari Al Paduan Berpenguat SiC (d) Potongan Blok Mesin dari Honda <i>Prelude 2000cc</i> Menggunakan <i>Metal Matrix Composite</i> .	9
Gambar 2.3	Diagram Fase Magnesium-Silikon pada Aluminium Paduan	11
Gambar 2.4	Instalasi Proses <i>Stir Casting</i>	15
Gambar 2.5	Ilustrasi skematis dari pembekuan logam	16
Gambar 2.6	Struktur Chill, Columnar, dan Equiaxed Zone	17
Gambar 2.7	Mekanisme <i>Direct Squeeze Casting</i>	19
Gambar 2.8	Mekanisme <i>Indirect Squeeze Casting</i> .	19
Gambar 2.9	Pengujian Kekerasan <i>Brinell</i>	21
Gambar 2.10	Pengujian Kekerasan <i>Vickers</i>	22
Gambar 2.11	Grafik Hubungan Lama Waktu <i>Artificial Aging</i> dengan Kekuatan Tarik Pada Paduan Al-6061	24
Gambar 2.12	Grafik Hubungan Lama Waktu <i>Artificial Aging</i> dengan Kekuatan Luluh pada Paduan Al-6061	24
Gambar 2.13	Grafik Hubungan Lama Waktu <i>Artificial Aging</i> dengan Perpanjangan Pada Paduan Al-6061	25
Gambar 2.14	Mikrostruktur Al-Mg-Si Hasil <i>Aging Treatment</i> (a) <i>Casting</i> (b) <i>Squeeze Casting</i> dengan Tekanan 70 MPa	26
Gambar 3.1	Dimensi <i>Plunger</i> dan Cetakan Produk <i>Squeeze Casting</i>	31
Gambar 3.2	Instalasi <i>Squeeze Casting</i>	31
Gambar 3.3	Alat <i>Squeeze Casting</i>	32
Gambar 3.4	Grafik Hubungan antara Waktu dan Temperatur dalam Proses <i>Solution Treatment</i> dan <i>Artificial Aging Treatment</i> .	33
Gambar 3.5	Spesimen Uji Kekerasan	34
Gambar 3.6	Diagram Alir Penelitian	36

Gambar 4.1	Grafik Nilai Kekerasan Rata-rata pada Masing-masing Penampang Variasi <i>E-glass</i> 0wt%; 5wt%; 7,5wt% dan 10wt% Hasil <i>Squeeze Casting</i> dan <i>Aging Treatment</i> .	39
Gambar 4.2	Foto Makrostruktur Spesimen Kekerasan pada Penampang Atas	40
Gambar 4.3	Foto SEM (a) variasi <i>E-glass</i> 10wt% perbesaran 250 kali (b) variasi <i>E-glass</i> 10wt% perbesaran 500 kali.	41
Gambar 4.4	Foto Mikrostruktur Hasil <i>Squeeze Casting</i> dan <i>Aging Treatment</i> pada Penampang Atas dengan Perbesaran 400 Kali	42

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul
Lampiran 1	Dokumentasi Penelitian
Lampiran 2	Foto Spesimen Al6061 – <i>E-glass</i> Hasil <i>Squeeze Casting</i> dan <i>Aging Treatment</i>
Lampiran 3	Foto Spesimen Uji Kekerasan
Lampiran 4	Foto Mikrostruktur
Lampiran 5	Foto SEM (<i>Scanning Electro Microscope</i>)
Lampiran 6	Uji Komposisi Aluminium
Lampiran 7	Foto Makro Spesimen



RINGKASAN

Mohammad Emil Salim, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Januari 2015, *Pengaruh Persentase Fraksi Berat Serbuk E-Glass Terhadap Mikrostruktur dan Kekerasan pada Al-6061 Hasil Squeeze Casting dan Aging Treatment*, Dosen Pembimbing: Yudy Surya Irawan dan Anindito Purnowidodo.

Di era globalisasi saat ini, industri berbasis logam di Indonesia khususnya, masih mengimpor bahan jadi atau mentah dari luar negeri dikarenakan harga bahan baku di Indonesia yang relatif mahal. Namun dengan berkembangnya zaman, terdapat bahan baku alternatif baru yang bisa dikembangkan, yaitu komposit matrik logam, dengan memadukan Al6061 sebagai bahan baku dan serbuk *E-glass* sebagai penguat yang ditentukan berukuran 50-60 μ m. Dengan metode *casting* pendukung yang baik salah satunya *Squeeze Casting*, yaitu suatu proses pengecoran dimana logam cair dibekukan dibawah tekanan eksternal yang relatif tinggi, dengan mengkombinasikan proses *forging* dan *casting*. Proses pemadatan logam cair dilakukan di dalam cetakan yang ditekan dengan tenaga hidrolis dengan tujuan untuk mengurangi porositas pada produk hasil coran. Sebelum dilakukan tekanan eksternal, cetakan perlu dilakukan *burner* terlebih dahulu dengan tujuan agar tidak terjadi solidifikasi dini. Setelah menghasilkan produk coran, dilanjutkan dengan proses *Aging Treatment* untuk meningkatkan kekerasan kekerasan produk. *Aging Treatment* adalah proses perlakuan panas yang ditujukan untuk meningkatkan kekerasan dengan mengkondisikan suhu lingkungan sesuai yang diinginkan dengan waktu tertentu.

Pada penelitian ini, terdapat beberapa variabel, antara lain variabel bebasnya adalah variasi persentase *E-glass* 0wt%, 5wt%, 7,5% dan 10wt%. Variabel terikatnya adalah ukuran butir (μ m) dan kekerasan (VHN). Sedangkan variabel terkontrolnya adalah proses solution dengan suhu 530 $^{\circ}$ C dan precipitation hardening dengan suhu 185 $^{\circ}$ C selama 8 jam, tekanan pada *Squeeze* sebesar 100 MPa, suhu *burner* 150-170 $^{\circ}$ C, ukuran serbuk *E-glass* 50-60 μ m, temperatur peleburan logam cair 900 $^{\circ}$ C, dan *time delay* 5 menit.

Setelah dilakukan penelitian, maka diperoleh hasil nilai kekerasan rata-rata tertinggi pada variasi *E-glass* 0wt% dengan nilai 103,32 VHN; kemudian variasi 7,5wt% dengan nilai 86,84 VHN; selanjutnya variasi 5wt% dengan nilai 75,413 VHN; dan terendah variasi 10wt% dengan nilai 64,64 VHN. Nilai kekerasan yang semakin menurun ini disebabkan oleh serbuk *E-glass* yang menggumpal yang menyebabkan adanya rongga, sehingga menurunkan kekuatan dari *matrix* Al6061.

Kata Kunci : Komposit Matrik Logam, *E-glass*, *Squeeze Casting*, *Aging Treatment*, Mikrostruktur, Kekerasan.

SUMMARY

Mohammad Emil Salim, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Brawijaya, January 2015, *The Effect Weight Fraction E-Glass Powder Percentage on Microstructure and hardness on Al-6061 made by Squeeze Casting and Aging Treatment*, Supervisor: Yudy Surya Irawan and Anindito Purnowidodo.

In the current era, the Indonesian metal base industry still importing raw materials from foreign countries, because of the raw materials price in Indonesia is more expensive. But at this times, there is a new alternative raw materials that could be developed, that is metal matrix composite, by combining Al6061 as a raw materials and E-glass powder as a bracer of the raw materials with grain size 50-60 μm . Squeeze casting is a casting process with the liquid metal that frozen under high external pressure, by combining forging and casting process. The solidification process of liquid metal in a mold that pressed with hydraulic power for reduce porosity in casting product. Before the external pressure is given, the mold must be burn before to avoid the fast solidification. After the casting process, aging treatment is given to increase the hardness of product. Aging treatment is a heat treatment process for increasing the hardness by conditioning the environment temperature according to certain time.

In this research, there are some variable, the independent variable is variation of E-glass percentage, 0wt%; 5wt%; 7,5wt% and 10wt%. The dependent variable is grain size (μm) and value of hardness (VHN). While the control variable is solution treatment process temperature at 530°C and precipitation hardening process at 185°C during 8 hours, the pressure of squeeze 100 MPa, temperature of burner at 150°C-170°C, grain size of E-glass at 50-60 μm , temperature to melting liquid metal at 900°C and 5 minute time delay.

After the research, the highest average hardness value is 103,32 VHN that shown in variation E-glass 0wt%; then reduce in 7,5wt% and 5wt% variation E-glass with value 86,84 VHN and 75,413 VHN; and the lowest variation is 64,64 VHN. The decreasing hardness value is caused by the effect of agglomeration and make a cavity that reduce the hardness value of the product.

Key Words : Metal Matrix Composite, E-glass, Squeeze Casting, Aging Treatment, Microstructure, Hardness.

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Di era globalisasi saat ini, industri yang berbasis logam seperti industri yang bergerak dibidang produksi, misalnya piston untuk industri otomotif, mesin turbin, body pesawat terbang, peralatan mekanik dan lain lain. Biasanya di negara Indonesia misalnya, masih mengimpor bahan jadi atau bahan mentah dari luar negeri karena beberapa faktor, selain karena barang impor mempunyai kualitas yang lebih baik daripada di Indonesia juga karena bahan baku yang dijual di Indonesia masih relatif mahal. Umumnya, material untuk membuat piston, velg dan komponen lainnya terbuat dari material *casting* berbasis besi (ferro), padahal ada beberapa material alternatif baru yang harganya lebih murah jika dibandingkan casting berbasis ferro namun kekuatannya bisa disetarakan atau bahkan lebih kuat, yaitu komposit logam, walaupun pada saat ini masih belum banyak digunakan karena hambatan teknik fabrikasi atau kendala teknis lainnya. Padahal sebenarnya material berbasis komposit memiliki banyak keunggulan bila diaplikasikan dalam dunia industri secara jangka panjang akan memberikan beragam keuntungan, seperti : reduksi berat komponen, anti korosi, tahan gesek, konduktifitas panas yang rendah dan keunggulan mekanis dan fisis lainnya. Komposit bisa dikatakan salah satu bahan alternatif yang banyak digunakan untuk menggantikan bahan-bahan membuat suatu produk karena alasan bahan baku mahal dengan tujuan untuk meningkatkan kualitas bahan yang akan dihasilkan.

Penelitian dan pengembangan mengenai komposit matrik logam (KML) sudah mulai dilakukan pada tahun 1960-an, akan tetapi masih banyak mengalami kendala karena pembuatan komposit matrik logam memerlukan biaya yang relatif tinggi, minimnya pengembangan tentang pengetahuan tentang komposit matrik logam dan lain-lain. Namun dewasa ini, karena kebutuhan akan suatu material yang memiliki karakteristik yang lebih baik dari bahan konvensional serta perkembangan teknologi rekayasa material yang berkembang sangat pesat, sehingga kendala-kendala yang selama ini ditemukan dalam proses pembuatan komposit matrik logam dapat diatasi terlebih karena didukung oleh ketersediaan bahan baku seperti: serat karbon dan boron, kristal *wishker* dan secara tak langsung oleh keberhasilan komposit matrik polimer. Industri ruang angkasa (*aerospace*) dan teknologi pertahanan tertarik dengan prospek material konstruksi jenis komposit matrik logam tersebut, karena memiliki kekuatan,

kekakuan, dan spesifik yang tinggi. Berbeda dengan material matrik tanpa penguat dan bahan konvensional, komposit matrik logam diharapkan menjadi suatu material yang tahan terhadap temperatur yang relatif tinggi. Selain itu, dalam konsep pembuatan komposit matrik logam mempunyai prospek yang lebih menjanjikan karena karakteristik bahan yang tahan terhadap suhu tinggi, memiliki batas kelelahan yang baik (*fatigue*), sifat redaman, daya hantar listrik, konduktivitas termal, ketahanan terhadap korosi, kekerasan yang cukup baik, memiliki bobot yang ringan, ketahanan aus (*wear resistance*), dan koefisien muai termal yang lebih baik.

Komposit Matrik Logam (*Metal Matrix Composite, MMC*) dengan menggunakan aluminium seri 6000 yaitu Al6061 sebagai matriks dan serbuk *E-glass* sebagai penguat. Komposit ini mempunyai keunggulan terutama dalam kekuatan dan ketahanan terhadap aus. Faktor penguat juga harus diperhatikan dalam pembuatan *Metal Matrix Composites* ini. Pada penelitian ini jenis penguat yang digunakan adalah jenis penguat partikel atau serbuk, ini ditujukan agar penguat *E-glass* yang berbentuk partikel tersebar merata pada saat proses pengadukan, sehingga dilakukan proses penumbukan dari serat menjadi partikel sampai sekitar 50-60 μm dengan bantuan mesin pengguncang rotap dengan harapan semakin kecil ukuran butir maka semakin besar kemungkinan penguat *E-glass* ikut terdistribusi merata pada logam cair.

Hal penting lainnya yang juga berpengaruh selain matrik dan penguatnya adalah teknik fabrikasi yang digunakan. *Squeeze Casting* yang juga dikenal dengan istilah penempaan logam cair, merupakan proses dimana logam cair didinginkan didalam cetakan tertutup sambil diberi tekanan luar yang berasal dari tenaga hidrolik. Tekanan yang diberikan serta kontak langsung antara logam cair dengan dinding cetakan akan menyebabkan terjadi perpindahan panas secara cepat yang memungkinkan untuk menghasilkan produk cor dengan porositas rendah serta memiliki ukuran butir yang halus dengan sifat mekanik yang mendekati produk tempa. Umumnya teknik fabrikasi yang penerapannya cukup mudah dan dapat menghasilkan produk yang memiliki tingkat kekuatan dan kekerasan yang tinggi karena proses tekan tersebut. Kualitas komposit ini terutama dalam hal kekerasan sangat dipengaruhi oleh besarnya tekanan saat melakukan *squeeze casting*, sehingga hal ini harus benar-benar diperhatikan untuk menghasilkan benda cor yang maksimal. Untuk lebih memaksimalkan lagi kekuatan bahan, perlu adanya perlakuan panas yang bertujuan untuk memperbaiki sifat mekanik spesimen yang telah dicor. Perlakuan panas ini disebut *aging treatment*, yaitu proses perlakuan panas yang bisa dikondisikan sendiri. Pengkondisian ini terdiri dari 2 proses,

yaitu *solution treatment* dan *Precipitation hardening*. *Precipitation hardening* adalah proses pemanasan kembali suatu material setelah di *quenching*, atau dapat diistilahkan proses menata kembali atom yang dipaksa diam saat di *quenching* agar atom tersebut mampu kembali ke tempatnya masing-masing dan membentuk prestisipat penguat tapi larut baik dimatriksnya yang nantinya akan meningkatkan kekuatan material tersebut.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka dapat diambil suatu rumusan masalah yaitu bagaimana pengaruh persentase fraksi berat serbuk *E-glass* terhadap mikrostruktur dan kekerasan pada Al6061 hasil *squeeze casting* dan *aging treatment*.

1.3. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. *Solution treatment* terhadap sifat mekanis dan fisik pada spesimen yaitu 530°C selama 8 jam, kemudian proses *aging (precipitation hardening)* 185°C selama 8 jam.
2. Tekanan pada saat proses *squeeze casting* yaitu 100 MPa.
3. Spesifikasi bahan yang digunakan adalah campuran antara paduan Al-Mg-Si atau Al6061 dengan penguat serbuk gelas tipe *E-glass*.
4. Pengujian kekerasan sebanyak tiga titik segaris melewati titik tengah penampang dengan asumsi dapat mewakili nilai kekerasan diseluruh titik tiap penampang.
5. Pengujian kekerasan yang dilakukan menggunakan *Vickers Hardness Tester*.
6. Pengujian mikrostruktur yang dilakukan menggunakan mikroskop logam.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh persentase fraksi berat serbuk *E-glass* terhadap mikrostruktur dan kekerasan pada Al6061 hasil *squeeze casting* dan *aging treatment*.

1.5. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan beberapa manfaat antara lain :

1. Mampu menerapkan teori – teori yang didapat selama perkuliahan terutama mengenai proses *casting*.

2. Dari penelitian ini diharapkan dapat dijadikan bahan alternatif untuk bermacam-macam aplikasi dalam sektor industri seperti : industri otomotif, rumah tangga, dan lain-lain.
3. Memberikan refrensi tambahan kepada yang ingin melakukan penelitian juga tentang pengecoran logam, terutama komposit matriks logam.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Sebelumnya

Kumar dan Swammy (2011) melakukan penelitian menggunakan Al6061 sebagai komposit dan flyash serta *E-glass* sebagai penguat. Rincian penguatnya adalah flyash 0wt%, 2wt%, 4wt%, 6wt% dan *E-glass* 2wt%, 6wt%. Metode pengecoran yang digunakan adalah teknik pengecoran metalurgi cair (*stir casting*) menggunakan pengaduk yang terbuat dari besi dilapisi alumina. Pengujian yang dilakukan meliputi uji kompresi, uji kekerasan, uji mikrostruktur dan uji tarik. Pada pengamatan mikrostruktur penguat flyash dan *E-glass* terdispersi sempurna, sehingga sifat-sifat yang ada pada flyash dan *E-glass* akan menambah kekuatan dari Al6061 paduan. Pada uji kuat tekan dibagi dengan variasi fly ash 0wt%, 2wt%, 4wt%, 6wt% dan ditambah serat *E-glass* disetiap variasi. Hasilnya pertambahan jumlah flyash berbanding lurus dengan kuat tekan komposit Al6061+*E-glass*+flyash (nilai berkisar 800-1000 MPa). Pada hasil kekerasan mikro, pengujian menggunakan *Vickers Hardness Tester*. Sebuah beban 1N untuk jangka waktu 10 detik ditetapkan pada spesimen. Pengujian dilakukan pada 3 lokasi yang berbeda dan nilai rata-rata diambil sebagai kekerasan dari produk *casting* dan spesimen komposit. Hasilnya kekerasan pada spesimen dengan variasi 0wt%, 2wt%, 4wt% dan 6wt% flyash dan tambahan 4wt% *e-glass* disetiap variasi, berbanding lurus dengan bertambahnya kekerasan (VHN) pada spesimen.

Ramadhonal (2010) melakukan penelitian dengan membuat komposit matriks logam berpenguat keramik (Al/SiC) dicampur kayu dengan metode metalurgi serbuk. Aluminium yang digunakan pada penelitian ini adalah Alloy Al serbuk tipe 2124 yang di *mixing* SiC serbuk dengan persentase 80 :20wt%, kemudian dicampur kembali dengan serbuk kayu kamper dengan variasi 50:50, 60:40, 70:30, 80:20, 90:10, 100:0 wt% menggunakan *ball mill* selama 24 jam, kemudian dilakukan kompaksi dan variasi sintering. Pengujian yang dilakukan meliputi : pengujian densitas, pengujian sifat mekanik, dan mikrostruktur. Pada uji densitas paling tinggi didapatkan 2,11 gr/cm³ untuk suhu sintering 600 °C dan 2,08 gr/cm³ untuk suhu sintering 500 °C, masing-masing untuk komposisi Al/SiC : Serbuk kayu ; 100:0%. Pada pengujian sifat mekanik diperoleh nilai tekan paling tinggi 2093,83 N/cm² untuk suhu sintering 600 °C dan 2032,57 N/cm³ untuk suhu sintering 500 °C masing-masing untuk komposisi Al/SiC :

Serbuk kayu ; 100:0%. Pada hasil analisa mikrostruktur menggunakan alat uji SEM menunjukkan bahwa partikel penguat SiC terdistribusi kurang merata.

Rohatgi (1979) melakukan penelitian menggunakan Aluminium murni ditambah dengan pasir silika (bahan utama kaca) dengan menggunakan pengecoran sentrifugal. Besar pasir silika yang digunakan adalah 53 μm . Variabel yang digunakan adalah berat pasir silika, dengan fraksi berat 1%, 1,5%, 2,5%, 3,5% dan 5%. Proses yang digunakan melebur Aluminium murni dan memanaskan pasir silika hingga suhu 700 $^{\circ}\text{C}$, hal ini dilakukan untuk mempermudah pencampuran pasir silika dengan Aluminium cair. Dalam proses pencampurannya, setelah logam dicairkan, silika panas dicampur dengan logam cair dengan metode *stir casting* kemudian dilakukan proses pengecoran sentrifugal. Dari hasil yang didapat, kekerasan pada Aluminium murni sebesar 20 BHN. Sedangkan kekerasan maksimal Aluminium murni yang telah ditambahkan pasir silika sebanyak 2,5% adalah 80 BHN. Hal ini dikarenakan pasir silika mengisi celah antar dendrit sehingga mampu meningkatkan kekerasan.

2.2. Pengertian Komposit

Komposit terdiri dari dua atau lebih komponen yang menyatu dari suatu bahan. Termasuk dalam kelompok ini: bahan yang diberi lapisan, bahan yang diperkuat dan kombinasi lain yang memanfaatkan sifat khusus beberapa bahan yang ada. Biasanya sifat bahan yang menyatu dalam komposit dapat dievaluasi dan diuji secara terpisah. Hal ini mengarah ke penyusunan kaidah campuran sehingga sifat komposit dapat dihitung berdasarkan sifat komponennya. Ada dua hal yang perlu diperhatikan pada komposit yang diperkuat agar dapat membentuk produk yang efektif. (1) komponen penguat harus memiliki modulus elastisitas yang lebih tinggi daripada komponen matriksnya. (2) Harus ada ikatan permukaan yang kuat antara komponen penguat dan matriks. (**Vlack, 1994**).

Beberapa definisi dasar dari komposit sebagai berikut :

- a. Sub-Mikro (nano) yang artinya molekul tunggal dan kisi kristal, bila material yang disusun dari dua atom atau lebih disebut komposit (contoh: senyawa, paduan/alloy, polimer dan keramik).
- b. Mikrostruktur yang artinya pada kristal, fase, dan senyawa, bila material disusun dari dua fase atau senyawa atau lebih disebut komposit.

- c. Makrostruktur yang artinya material yang disusun dari campuran dua atau lebih penyusun makro yang berbeda dalam bentuk atau komposisi dan tidak larut satu dengan yang lain disebut material komposit.

Secara umum, penyusun komposit terdiri dari dua atau lebih material yang menimbulkan beberapa istilah dalam komposit, seperti: matrik (penyusun dengan fraksi volume terbesar), penguat (penahan beban utama), interphase (pelekat antara matrik dan penguat), dan interface (permukaan fase yang berbatasan dengan fase lain).

2.2.1. Sifat dan Karakteristik Komposit

Sifat maupun karakteristik dari komposit ditentukan oleh beberapa faktor:

- a. Material yang menjadi penyusun komposit
Karakteristik komposit ditentukan berdasarkan karakteristik material penyusun dan dapat ditentukan secara teoritis, sehingga akan berbanding secara proporsional.
- b. Bentuk dan struktur penyusun dari komposit
Bentuk (dimensi) dan struktur (ikatan) penyusun komposit akan mempengaruhi karakteristik komposit.
- c. Interaksi antar penyusun
Bila terjadi interaksi antar penyusun akan meningkatkan sifat dari komposit.

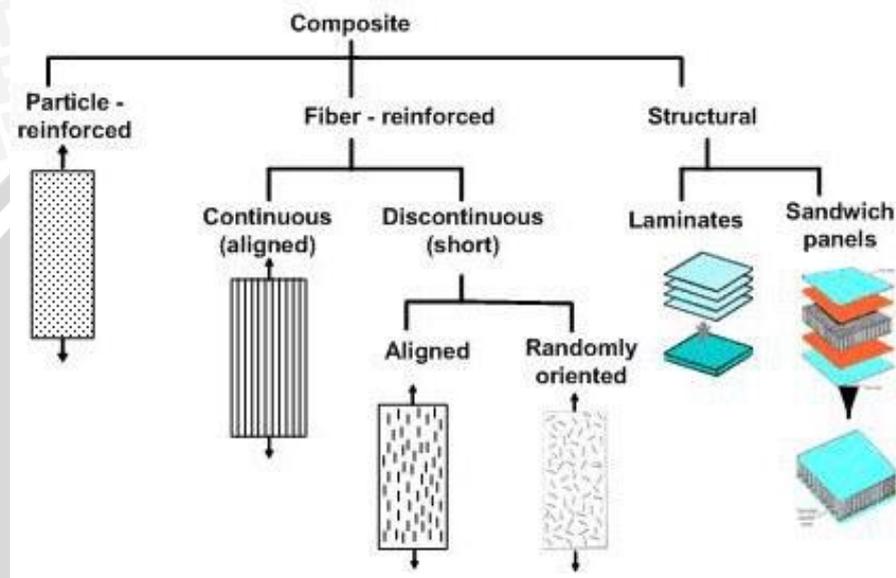
2.2.2. Klasifikasi Komposit

Pada umumnya komposit dapat dibagi menjadi 3 kategori, antara lain:

1. Komposit Matrik Polimer (*Polymer Matrix Composite-PMC*). Bahan ini merupakan bahan yang paling sering digunakan atau sering disebut dengan polimer berpenguat serat (*Fiber Reinforced Polymers of Plastics-FRP*). Komposit ini menggunakan suatu polimer berbasis resin sebagai matriknya, dan jenis serat tertentu sebagai penguat, seperti: serat kaca, karbon, dan lainnya.
2. Komposit Matrik Keramik (*Ceramic Matrix Composit-CMC*). Material komposit ini biasanya digunakan pada lingkungan bertemperatur sangat tinggi, bahan ini menggunakan keramik sebagai matrik dan diperkuat dengan serat pendek, atau serabut-serabut (*wishker*) yang terbuat dari silikon karbida atau boron nitrida.

3. Komposit Matrik Logam (*Metal Matrix Composite-MMC*). Berkembang pada industri otomotif, bahan ini pada umumnya menggunakan suatu logam seperti aluminium (Al) sebagai matrik dan penguatnya dengan serat silikon carbida (SiC).

Adapun pembagian komposit berdasarkan jenis penguat yang digunakan seperti ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 2.1 Pembagian Komposit Berdasarkan Jenis Penguat yang Digunakan
Sumber : Reinhart. 1987

Berdasarkan gambar 2.1 diketahui bahwa berdasarkan jenis penguat yang digunakan komposit dapat dibagi menjadi 3 jenis, yaitu:

- Particle reinforced*, penguatnya berbentuk partikel.
- Fibre reinforced*, penguatnya berbentuk serat.
- Structural*, cara penggabungan material komposit berbentuk laminat atau panel.

2.3. Komposit Matriks Logam

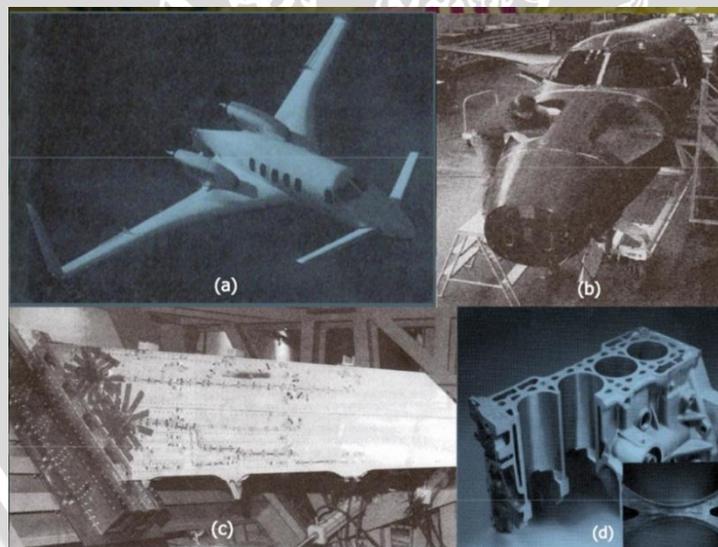
Bahan komposit matriks logam (KML) adalah kombinasi rekayasa dua atau lebih bahan (salah satunya logam), dengan perwujudan aneka sifat yang dikehendaki dilakukan secara kombinasi sistematis kandungan-kandungannya yang berbeda.

Seperti yang telah dijelaskan, bahwa dalam proses fabrikasi (*manufacturing*) komposit matrik logam, matrik yang paling banyak digunakan adalah logam aluminium

karena logam aluminium merupakan suatu material yang memiliki beberapa sifat yang menarik untuk dikembangkan sebagai matrik dalam proses pembuatan komposit matrik logam. Logam aluminium yang biasa digunakan sebagai matrik adalah paduan Al-Mg-Si, Al-Cu, dan sebagainya. Komposit matrik aluminium biasanya menggunakan penguat Al_2O_3 , SiC, SiO_2 . Dengan menggunakan material aluminium sebagai matrik dan partikel *E-glass* sebagai bahan penguat maka akan mendapatkan suatu material komposit yang memiliki sifat antara getas dan liat, disamping itu juga dihasilkan suatu material komposit yang memiliki sifat mekanik, sifat fisis, dan sifat termal yang baik, serta menghasilkan material yang memiliki bobot rendah dan memiliki umur pemakaian yang lebih lama karena memiliki ketahanan korosi yang baik.

Komposit Matrik Logam (*Metal Matrix Composite-MMC*) memiliki sifat-sifat sebagai berikut:

- Memiliki kekuatan yang lebih tinggi namun mudah untuk ditempa.
- Memiliki ketahanan leleh yang baik.
- Lebih tahan terhadap suhu yang relatif tinggi.
- Memiliki koefisien ekspansi termal dan konduktivitas termal yang baik.
- Umur pemakaian lebih lama karena tahan terhadap korosi.



Gambar 2.2 Beberapa Contoh Aplikasi yang Menggunakan Komposit (a) *Beech Starship Model 2000* Menggunakan Komposit Carbon-fiber Epoxy (b) Konstruksi *Beech Starship Model 2000* (c) Bagian Ekor Vertikal Pesawat Tempur Terbuat dari Al Paduan Berpenguat SiC (d) Potongan Blok Mesin dari Honda *Prelude 2000cc* Menggunakan *Metal Matrix Composite*.

Sumber : Smith, 1993

2.4. Aluminium

Terdapat beberapa paduan aluminium dan juga termasuk Aluminium murni. Aluminium dan paduan aluminium termasuk logam ringan yang mempunyai kekuatan tinggi, tahan terhadap karat dan merupakan konduktor listrik yang cukup baik. Diantaranya Al-Mg-Si, dengan sifat yang ditunjukkan pada tabel berikut :

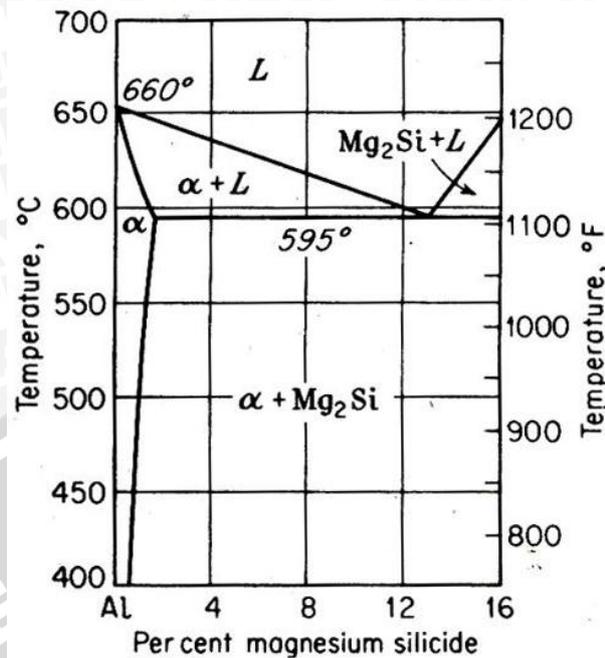
Tabel 2.1 Sifat Aluminium Paduan Al-Mg-Si

Sifat	Nilai
<i>Density</i>	2.71 g/cm ³
<i>Composition</i>	1 Mg; 0.6Si, 0,27Cu, 0.2Cr
<i>Modulus of Elasticity</i>	67 Gpa
<i>Yield Strenght</i>	241 MPa
<i>Tensile Strenght</i>	290 MPa
<i>Elongation</i>	10%

Sumber : Smith, 1993

Jika magnesium dan silikon dipadukan bersama aluminium, maka akan terbentuk magnesium silikat (Mg_2Si), kebanyakan aluminium paduan mengandung Si, sehingga penambahan magnesium diperlukan untuk memperoleh efek pengerasan dari Mg_2Si . Tetapi sifat paduan ini akan menjadi getas, sehingga untuk mengurangi hal tersebut, penambahan dibatasi antara 0,03% - 0,1% (Heine, 1995:320). Pada umumnya aluminium atau aluminium paduan dilebur dengan suhu tidak lebih dari 710⁰C, ini disebabkan jika melebihi dari temperatur tersebut dapat mengakibatkan terjadinya kontaminasi gas hidrogen (H_2) akibat permukaan aluminium yang diselimuti oleh Al_2O_3 rusak atau pecah dikarenakan suhu yang *overheat*, sehingga hidrogen dapat masuk dan menyebabkan adanya rongga atau porositas pada produk cor.

Logam paduan murni dan coran yang diperlakukan panas mengandung beberapa fase terlarut, yang muncul dalam jumlah dan lokasi yang bervariasi dalam mikro struktur bergantung pada temperatur spesimen. Pada seri paduan 6xxx, fase intermetalik yang umum adalah Mg_2Si . Kelebihan partikel silikon mungkin juga terjadi. Diagram fase magnesium-silikon pada aluminium paduan ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Diagram Fase Magnesium-Silikon pada Aluminium Paduan.
Sumber : Heine (1995).

Dapat dilihat pada diagram diatas tampak bahwa kelarutan Mg₂Si semakin menurun terhadap kelarutan aluminium yaitu dari temperatur tinggi ke temperatur rendah. Kelarutan Mg₂Si dalam aluminium/fasa α terjadi hingga 16% pada 595⁰C. Selain itu, titik cair terendah untuk mencairkan Al-Mg-Si pada temperatur 595⁰C dengan komposisi 13% Mg₂Si dan 87% Al.

Paduan aluminium dapat diklasifikasikan dalam tiga cara, yaitu berdasarkan pembuatan, dengan klasifikasi paduan cor dan paduan tempa, berdasarkan perlakuan panas dengan klasifikasi, dapat dan tidak dapat diperlaku-panaskan dan cara ketiga yang berdasarkan unsur-unsur paduan. Berdasarkan klasifikasi ketiga ini aluminium dibagi dalam tujuh jenis yaitu : jenis Al murni, jenis Al-Cu, jenis Al-Mn, Al-Si, jenis Al-Mg, jenis Al-Mg-Si dan jenis Al-Zn. Berikut jenis-jenis aluminium yang menjelaskan termasuk karakteristik dari masing-masing aluminium.

Table 2.2. Jenis-jenis Aluminium dan Karakteristiknya.

No	Jenis Aluminium	Karakteristik
1	Seri 1xxx (Al-murni)	memiliki sifat yang cukup baik diantaranya : tahan karat, konduksi panas, konduksi listrik dan juga memiliki sifat yang memuaskan dalam mampu las dan mampu potong. Kelemahannya adalah kekuatan yang dimiliki rendah.
2	Seri 2xxx (Al-Cu)	Sifat mekanik paduan ini dapat menyamai sifat baja lunak, tetapi daya tahan korosinya rendah bila dibanding dengan jenis paduan yang lainnya. Jenis paduan Al-Cu dapat diperlaku-panaskan.
3	Seri 3xxx (Al-Mn)	Jenis aluminium yang tahan akan korosi dan mampu potong yang baik. Dalam hal kekuatan jenis paduan ini lebih unggul dari pada jenis Al-murni. Paduan aluminium ini tidak dapat diperlaku-panaskan..
4	Seri 4xxx (Al-Si)	Paduan Al-Si termasuk jenis yang tidak dapat diperlaku-panaskan. Jenis ini dalam keadaan cair mempunyai sifat mampu alir yang baik dan dalam proses pembekuannya hampir tidak terjadi retak.
5	Seri 5xxx (Al-Mg)	Pada seri ini mempunyai daya tahan korosi yang baik, terutama korosi oleh air laut. Jenis ini termasuk paduan yang tidak dapat diperlaku-panaskan
6	Seri 6xxx (Al-Mg-Si)	Paduan ini dapat diperlaku-panaskan dan mempunyai sifat mampu potong dan daya tahan korosi yang cukup. Termasuk sifat mampu cor yang baik karena kandungan silikon.
7	Seri 7xxx (Al-Zn)	Paduan ini termasuk jenis yang dapat diperlaku-panaskan. Biasanya kedalam paduan pokok Al-Zn ditambahkan Mg, Cu dan Cr.

2.5. Serat Gelas

Karakteristik yang dimiliki *E-glass* berbeda antara satu dengan yang lain. Umumnya, serat gelas disesuaikan dengan sifat atau karakteristik yang dimilikinya. Serat gelas terbuat dari beberapa paduan kimia diantaranya alumina, magnesia, lime, silica dan lain-lain. Keunggulan serat gelas terletak pada rasio (perbandingan) harga dan performance yaitu biaya produksi rendah, proses produksi sangat sederhana, serat gelas banyak digunakan di industri-industri otomotif seperti pada panel-panel body kendaraan. Bahkan sepeda motor sekarang seluruh *body* terbuat dari komposit yang berpenguat serat gelas.

Ada beberapa penguat selain *E-glass* dengan kualitas kekuatan yang bervariasi, diantaranya ada pada tabel dibawah ini :

Tabel 2.3 Sifat Serat Sintetis Beberapa Penguat

	<i>Density</i> ρ (Mg/m ³)	<i>Young's modulus,</i> E_f (GPa)	<i>Tensile Strength,</i> (MPa)	<i>Failure strain</i> (%)	E_f/ρ	$E_f^{1/2}/\rho$	σ_{Tf}/ρ
Asbestos	2.56	160	3100	1.9	63	4.94	1213
E-glass	2.54	70	2200	3.1	27.6	3.29	866
Aramid (Kevlar 49)	1.45	130	2900	2.5	89.7	7.86	2000
SiC (Nicalon)	2.60	250	2200	0.9	96.2	6.08	846
Alumina	3.90	380	1400	0.4	97.4	4.99	359
Boron	2.65	420	3500	0.8	158.5	7.73	1321
Polyethylene (S1000)	0.97	172	2964	1.7	177.3	13.5	3056
Carbon (HM)	1.86	380	2700	0.7	204.3	10.5	1452

Sumber : Matthews and Rawlings, 1994: 31

Tabel 2.4 Komposisi kimia *E-glass*

	SiO ₂	TiO ₂	ZrO ₂	Al ₂ O ₃	B ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O
E-glass (%)	54			14	9	5	18	

Sumber : Matthews and Rawlings, 1994: 40

Penelitian mengenai komposit yang mengabungkan antara matrik dan penguat yang berupa serat harus memperhatikan beberapa factor, yaitu :

a. Faktor Matrik

Dalam membuat suatu komposit membutuhkan ikatan permukaan yang kuat antara serat dan matrik. Selain itu matrik juga harus mempunyai kecocokan secara kimia agar reaksi yang tidak diinginkan tidak terjadi pada permukaan kontak antara keduanya. Dalam pemilihan matrik harus memperhatikan sifat-sifatnya, diantaranya berat jenis, viskositas, kemampuan membasahi penguat, tekanan dan suhu *curing*, penyusutan.

b. Bentuk Serat

Pada bentuk serat yang digunakan tidak begitu mempengaruhi kualitas dari komposit, hal yang mempengaruhi adalah diameter serat. Secara umum, semakin kecil diameter serat akan menghasilkan kekuatan komposit yang lebih tinggi. Selain bentuk, kandungan seratnya juga mempengaruhi (Schwartz, 1984).

c. Panjang Serat

Serat panjang (*continous fiber*) lebih efisien dalam peletakannya dari pada serat pendek. Akan tetapi, serat pendek lebih mudah peletakannya dibanding serat panjang. Panjang serat mempengaruhi kemampuan proses dari komposit serat. Pada umumnya, serat panjang lebih mudah penanganannya jika dibandingkan dengan serat pendek.

d. Faktor Serat

Serat adalah bahan pengisi matrik yang digunakan untuk dapat memperbaiki sifat dan struktur matrik yang tidak dimilikinya, juga diharapkan mampu menjadi bahan penguat matrik pada komposit untuk menahan gaya yang terjadi.

e. Letak Serat

Menurut tata letak dan arah serat diklasifikasikan menjadi 3 bagian, yaitu *one dimensional reinforcement*, *two dimensional reinforcement (planar)*, dan *three dimensional reinforcement*. Pada ketiga jenis tersebut tipe *three dimensional reinforcement* mempunyai kekuatan yang lebih tinggi dibanding dengan dua tipe sebelumnya. Bila arah tiap serat menyebar maka kekuatannya juga akan menyebar ke segala arah maka kekuatan akan meningkat. Dalam pembuatan komposit tata letak dan arah serat dalam matrik yang akan menentukan kekuatan mekanik komposit.

2.6. Tipe Material Penyusun Komposit

2.6.1. Matrik (*Matrix*)

Matrik adalah pengisi ruang komposit dan memegang peranan penting dalam mentransfer tegangan antar matrik. Selain itu, matrik juga berfungsi melindungi penguat dari kondisi lingkungan luar dan menjaga permukaan partikel dari pengikisan. Matrik memiliki kelemahan dalam menahan beban dalam struktur komposit, akan tetapi ada beberapa jenis komposit memiliki kelebihan dalam pembebanan geser.

Material matrik mempunyai peranan penting pada fungsi dari komposit secara keseluruhan. Material dari matrik ini harus memenuhi standar dari kekuatan, kekakuan, kelembaman dan ketahanan terhadap temperatur tinggi, serta biaya sehingga menghasilkan *performances* yang baik.

2.6.2. Penguat (*Reinforcement*)

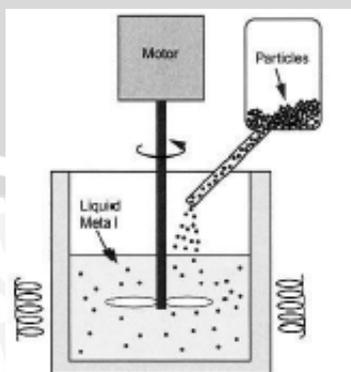
Dalam pembuatan komposit penguat yang digunakan baik berupa serat, partikel dan monofilamen berfungsi untuk menguatkan material komposit tersebut. Disamping itu partikel penguat juga berfungsi untuk menahan beban yang diterima oleh komposit, mempengaruhi keelastisan dan meningkatkan kekuatan dari komposit tersebut. **Ramadhonal (2010)**

Dalam pemilihan jenis penguat untuk pembuatan komposit matrik logam harus memenuhi beberapa sifat, dimana sifat tersebut sangat menentukan karakteristik dari material komposit yang dihasilkan. Beberapa sifat yang harus dimiliki oleh partikel penguat adalah sebagai berikut:

- Memiliki densitas rendah (*low density*).
- Memiliki kuat tekan dan kuat tarik yang tinggi.
- Mudah dalam pemrosesan.
- Tahan terhadap abrasi dan korosi.
- Biaya yang ekonomis.

2.7. *Stir Casting*

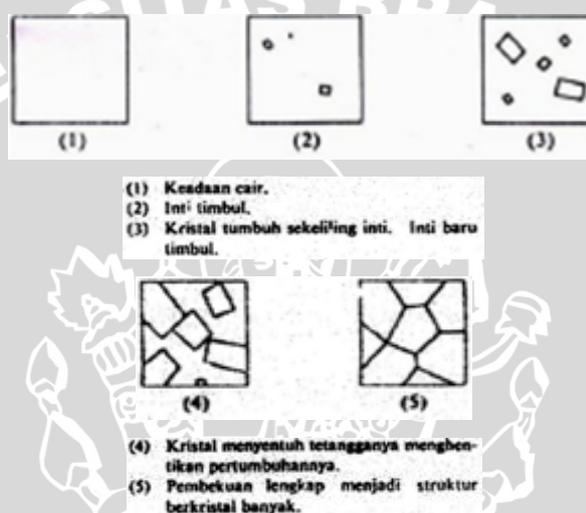
Stir casting adalah proses pengecoran dengan cara menambahkan suatu logam murni (biasanya aluminium) dengan suatu unsur penguat, dengan cara melebur logam murni tersebut kemudian logam murni yang sudah mencair tersebut diaduk-aduk secara terus menerus hingga terbentuk sebuah pusran, kemudian unsur penguat (berupa serbuk) tersebut dicampurkan sedikit demi sedikit melalui tepi dari pusran yang telah terbentuk. Tujuan dari proses ini adalah agar bahan penguat tersebut tersebar secara merata di logam tersebut sehingga campuran logam cair tersebut menjadi homogen.



Gambar 2.4 Instalasi Proses *Stir Casting*
Sumber : Mulyanti, 2011

2.8. Pembekuan Logam

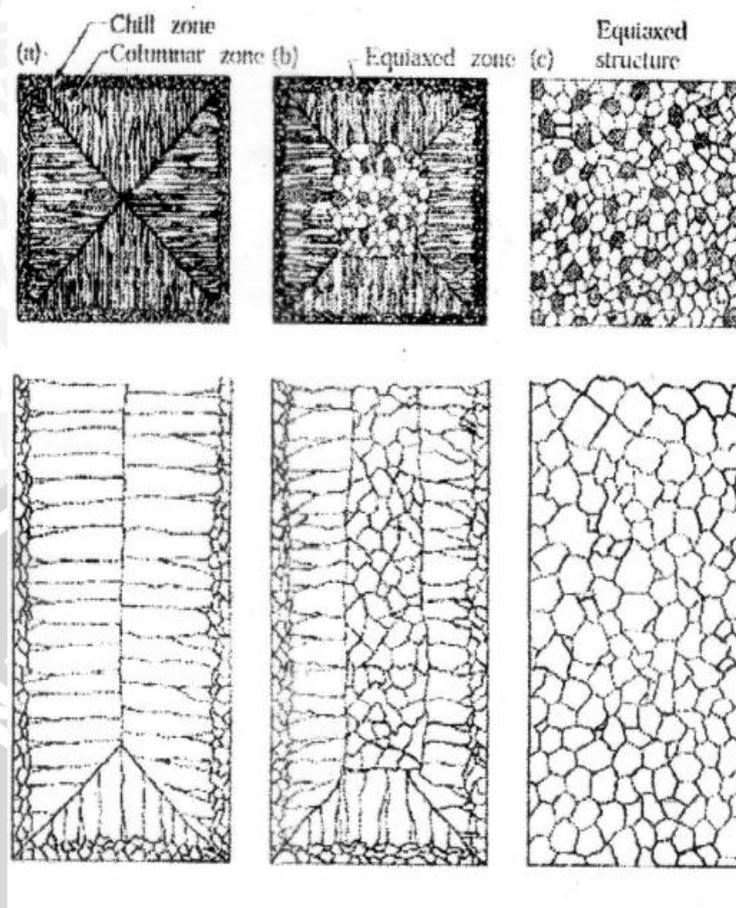
Semua logam pada proses pembekuan membentuk kristal – kristal, yaitu susunan teratur atom – atom yang berulang dalam suatu ruang. Pada proses pengecoran, solidifikasi terjadi ketika logam cair mulai menyentuh dinding permukaan cetakan dimana terjadi perbedaan temperatur pada bagian luar dengan bagian dalam dari logam cair. Hal ini mengakibatkan inti kristal mulai terbentuk. Terbentuknya inti kristal dimulai dari bagian logam cair yang bersentuhan dengan cetakan kemudian berkembang ke bagian dalam logam cair tersebut. Inti kristal terbentuk dari butiran kecil yang kemudian membesar hingga akhirnya menjadi padat seluruhnya.



Gambar 2.5 Ilustrasi skematis dari pembekuan logam.

Sumber : Surdia dan Kenji. 1996 : 14

Dalam proses pendinginan akan timbul banyak inti sehingga muncul *dendrit* yang memiliki arah orientasi yang berbeda – beda. *Dendrit – dendrit* tersebut akan terus berkembang sehingga akan saling menyinggung satu sama lain. Permukaan batas singgung ini disebut batas butir (*grain boundary*). Sedangkan kristal yang dibatasi oleh batas butir disebut butir. Jika energi yang dimiliki satu butir cukup besar, maka butir tersebut akan terus berkembang melewati batas butir. Sehingga atom – atom dari butir yang lain akan mengikuti orientasi butir tersebut. Akibatnya hanya akan ada satu butir saja. Jika logam cair didinginkan dengan lambat, maka *dendrit* punya banyak waktu untuk tumbuh sehingga akan terbentuk butir butir yang besar. Namun jika pendinginan logam dilakukan secara cepat maka butir – butir yang terbentuk kecil. Dengan perbedaan ukuran butir maka sifat mekanik yang dimiliki juga akan berbeda.



Gambar 2.6 Struktur *chill*, *columnar*, dan *equiaxed zone*
 Sumber : Kalpakjian, 1990 : 279

Terdapat tiga daerah yang terjadi saat pembekuan logam coran, yaitu :

- Daerah pembekuan cepat (*chill zone*)

Pada saat proses penuangan logam cair kedalam cetakan dengan suhu penuangan diatas suhu likuidus, logam cair yang berkontak langsung dengan dinding cetakan akan mengalami pendinginan yang cepat dibawah temperatur likuidusnya. Daerah ini berada paling luar yang dipengaruhi oleh *heat removal*. Dalam hal ini struktur terbentuk saat kontak pertama antara dinding cetakan dengan *melt* saat dituang ke dalam cetakan. Dibawah suhu lebur beberapa inti terbentuk dan tumbuh kedalam cairan. Suhu cetakan yang perlahan naik membuat kristal yang beku menyebar meninggalkan dinding akibat pengaruh aliran cairan dan apabila suhu penuangan yang cukup tinggi dimana cairan yang berada ditengah-tengah coran tetap diatas temperatur leburnya sehingga dapat menyebabkan kristal yang dekat dengan daerah tersebut mencair lagi meninggalkan *dinding cetakan*. Hanya kristal yang berada pada dinding cetakan yang tumbuh menjadi *chill zone*.

- Columnar zone

Sesaat setelah penuangan, gradien temperatur pada dinding cetakan menurun dan kristal pada daerah *chill* tumbuh memanjang dalam arah kristal tertentu. Kristal-kristal tersebut tumbuh memanjang berlawanan dengan arah perpindahan panas (panas bergerak dari cairan logam ke arah dinding cetakan yang bertemperatur lebih rendah) yang disebut dengan dendrit. Setiap kristal dendrit mengandung banyak lengan-lengan dendrit (*primary dendrit*). Jika Fraksi volum padatan (*dendrite*) meningkat dengan meningkatnya panjang dendrit dan jika struktur yang terbentuk berfasa tunggal, maka lengan-lengan dendrit sekunder dan tertier akan timbul dari lengan dendrit primer. Daerah yang terbentuk antara ujung dendrit dan titik dimana sisa cairan terakhir akan membeku disebut sebagai *mushy zone* atau *pasty zone*.

- Equiaxed zone

Pada daerah *Equiaxed* terdiri dari butir-butir equiaxial yang tumbuh secara acak ditengah-tengah ingot/cetakan. Dalam hal ini dipengaruhi oleh perbedaan temperatur yang ada dan tidak menyebabkan terjadinya pertumbuhan butir memanjang. Struktur ini terdiri dari butiran bersumbu sama memiliki arah yang acak. Penyebab butiran ini adalah mencairnya kembali lengan dendrit bila suhu disekitar masih tinggi, setelah cabang dendrit tersebut terlepas dari induknya dan tumbuh menjadi dendrit yang baru.

2.9. Pengecoran *Squeeze* (*Squeeze Casting*)

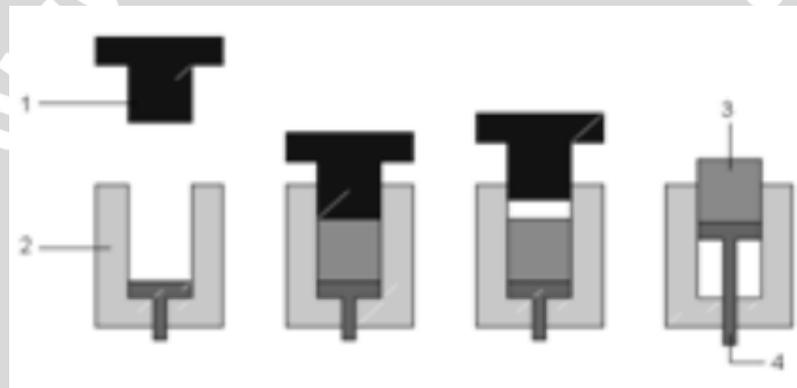
Squeeze casting adalah salah satu proses penekanan yang dilakukan pada logam cair dengan tujuan menambah kekuatan atau kepadatan dari spesimen. Proses ini mengkombinasikan proses *forging* dan *casting*. Hasil proses penempaan logam cair adalah produk yang mendekati ukuran standarnya (*near-net shape*) dengan kualitas yang baik. Struktur mikro hasil pengecoran *squeeze* terlihat lebih padat dibandingkan dengan hasil pengecoran dengan gravitasi. Ini dikarenakan kontak logam cair dengan permukaan *die* memungkinkan terjadinya perpindahan panas yang cukup cepat sehingga menghasilkan struktur mikro yang homogen dengan sifat mekanik yang baik.

Pengecoran *squeeze* disebut juga penempaan logam cair (*liquid metal forging*). Proses pemadatan logam cair dilakukan di dalam cetakan yang ditekan dengan tenaga hidrolis. Penekanan logam cair oleh permukaan cetakan akan menghasilkan perpindahan panas dan menghasilkan penurunan porositas seperti sering terjadi pada produk cor besi tempa (*wrought iron*).

Berdasarkan mekanisme pengisian logam cair ke dalam cetakan, pengecoran *squeeze* dikategorikan menjadi 2 jenis, yaitu: *direct squeeze casting* dan *indirect squeeze casting*.

- **DSC (*Direct Squeeze Casting*)**

Pada proses ini adalah proses pengecoran dimana setelah logam cair dituangkan ke cetakan langsung didinginkan melalui pemberian tekanan secara langsung yang diharapkan mampu mencegah munculnya porositas gas dan penyusutan. Proses ini dapat mengurangi cacat pada produk terutama pada porositas, dikarenakan proses tekan oleh *plunger* yang berasal dari tenaga hidrolis. Dapat dilihat prosesnya pada gambar 2.7 dibawah ini :

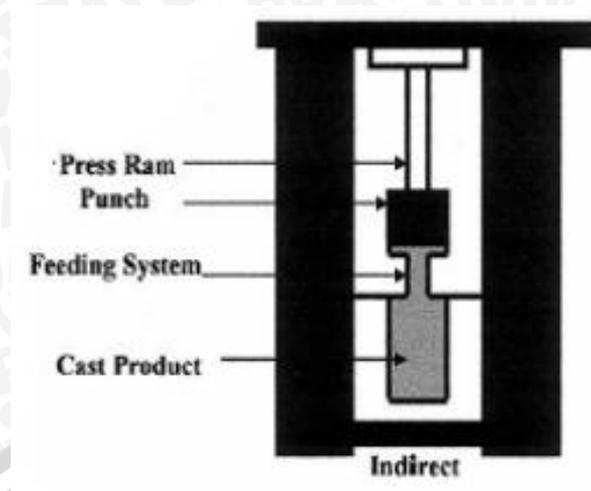


Gambar 2.7 Mekanisme *Direct Squeeze Casting*

Sumber : Taufikurrahman, 2013 : 2

- **ISC (*Indirect Squeeze Casting*)**

Proses *Indirect Squeeze Casting* adalah suatu proses injeksi logam ke dalam rongga cetakan dengan bantuan piston untuk jalan berdiameter kecil dimana mekanisme penekan ini dipertahankan sampai logam cair membeku. Dapat dilihat mekanismenya sebagai berikut :



Gambar 2.8 Mekanisme *Indirect Squeeze Casting*
 Sumber : Taufikurrahman, 2013 : 2

2.10. Pengujian Mikrostruktur

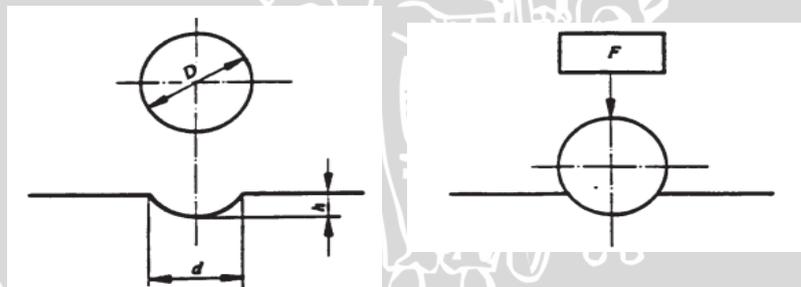
Mikrostruktur adalah bahan dalam orde kecil (mikro). Adapun manfaat dari pengamatan mikrostruktur sendiri adalah : untuk mempelajari hubungan antara sifat-sifat bahan dengan struktur dan cacat pada bahan. Untuk memperkirakan sifat bahan jika hubungan tersebut sudah diketahui. Ada beberapa alat yang digunakan untuk mengamati struktur mikro ini, yaitu : mikroskop cahaya, mikroskop elektron, mikroskop field-on, mikroskop field emission, dan mikroskop sinar-X. Hasil dari pengamatan struktur mikro ini akan diperlihatkan berbagai fase untuk diidentifikasi. Penyebaran dan bentuk fase dapat dipelajari dan jika sifat-sifatnya diketahui dapat digunakan untuk mengetahui informasi tentang sifat-sifat spesimen. Namun pada saat ini akan dilakukan pengamatan struktur mikro pada suatu spesimen, maka perlu dilakukan penyiapan spesimen yang meliputi : pemilihan sampel, penggerindaan dan pengamplasan, pemolesan mekanis, pemolesan elektrolisis dan kimia. pengetsaan, yaitu dengan memberikan cairan etsa pada permukaan spesimen. Pada pengamatan struktur mikro umumnya yang diamati adalah ukuran butiran, bentuk butiran dan larutan padat yang terbentuk, semakin halus dan kecil bentuk butiran, kekuatan mekanis akan bertambah baik. Larutan padat yang tersebar merata, maka kekuatan seperti kekerasannya akan bertambah baik pula.

2.11. Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan termasuk pengujian destruktif atau bersifat merusak karena akan mengikis permukaan spesimen untuk kemudian diberikan pembebanan tertentu. Kekerasan suatu logam yang didefinisikan sebagai ketahanan terhadap penetrasi, memberikan indikasi sifat-sifat deformasinya. Alat penguji kekerasan menggunakan indento rberbentuk bola kecil, piramid atau tirus untuk membuat jejak pada logam dengan pembebanan tertentu, nilai kekerasan diperoleh setelah diameter jejak diukur (jika menggunakan piramid intan brinell atau vickers). (Smallman, 1991)

2.11.1. Pengujian Kekerasan *Brinell*

Pada kekerasan *Brinell* diukur dengan menggunakan alat pengukur kekerasan *Brinell* yaitu dengan bola baja keras berdiameter D (mm) yang ditekan ke permukaan bagian spesimen dengan beban F (kgf) (Surdia dan Kenji, 1996 : 204). Pada gambar 2.9 bisa kita lihat penampang dari indenter *brinell hardness test*. Diameter bola baja yang dipakai adalah 10 mm, beban standarnya adalah 0,97 - 3000 kgf. Pada pengujian metode ini, terdapat dua beban yang digunakan pada mesin *Brinell*, yaitu besarnya adalah 12,48 kg untuk pengujian logam dengan kekerasan 30-120 BHN dan 43,2 kg untuk pengujian pada logam dengan kekerasan 100-500 BHN.



Gambar 2.9 Pengujian Kekerasan *Brinell*.
Sumber : Voort. 2000: 467

2.11.2. Pengujian Kekerasan *Vickers*

Untuk pengujian *Vickers* indenter yang digunakan berbentuk piramida dengan sudut sebesar 136° , seperti ditunjukkan pada gambar 2.10. Mempunyai beban tekan sebesar 10 – 1000 gf. Untuk beban maksimal, diperlukan waktu 5 – 60 detik. Prinsip pengujiannya sama dengan metode *Brinell* dimana pengujiannya menggunakan bola baja yang diperkeras dengan beban dan waktu indentasi tertentu hingga menghasilkan

jejak berupa lingkaran. Namun pada pengujian *Vickers*, karena indentor yang digunakan berbentuk piramida, maka jejak yang dihasilkan berbentuk bujur sangkar berdiagonal. Panjang diagonal diukur dengan skala pada mikroskop pengukur jejak. Nilai kekerasan suatu material yang diuji dengan metode *Vickers* satuannya adalah VHN yang dinyatakan dengan :

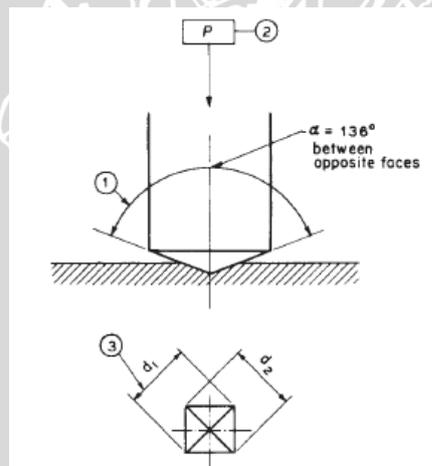
$$VHN = \frac{1,8544 P}{d^2} \quad (2-3)$$

Sumber : Voort. 2000: 460

dengan :

P = beban yang ditetapkan (kgf)

d = panjang diagonal jarak berlian (mm)



Gambar 2.10 Pengujian Kekerasan *Vickers*.

Sumber : Voort. 2000: 470

2.11.3. Pengujian Kekerasan *Rockwell*

Kekerasan ini diukur dengan alat penguji kekerasan *rockwell*. Pengujian ini mirip dengan pengujian *brinell* hanya saja ukuran indentornya lebih kecil, bahan indentornya menggunakan bola baja pengujian *rockwell* juga menggunakan kerucut intan dengan sudut puncak 120°.

Tabel 2.5 Karakteristik Pengujian Kekerasan *Rockwell*

Penekan	Kerucut Intan 120° Bola baja 1/16"-1/2"
Beban	Beban mula 10kg beban total 60, 100, 150kg
Kekerasan	Dalamnya penekanan

Sumber : Sumber: Tata Surdia, 1999: 32

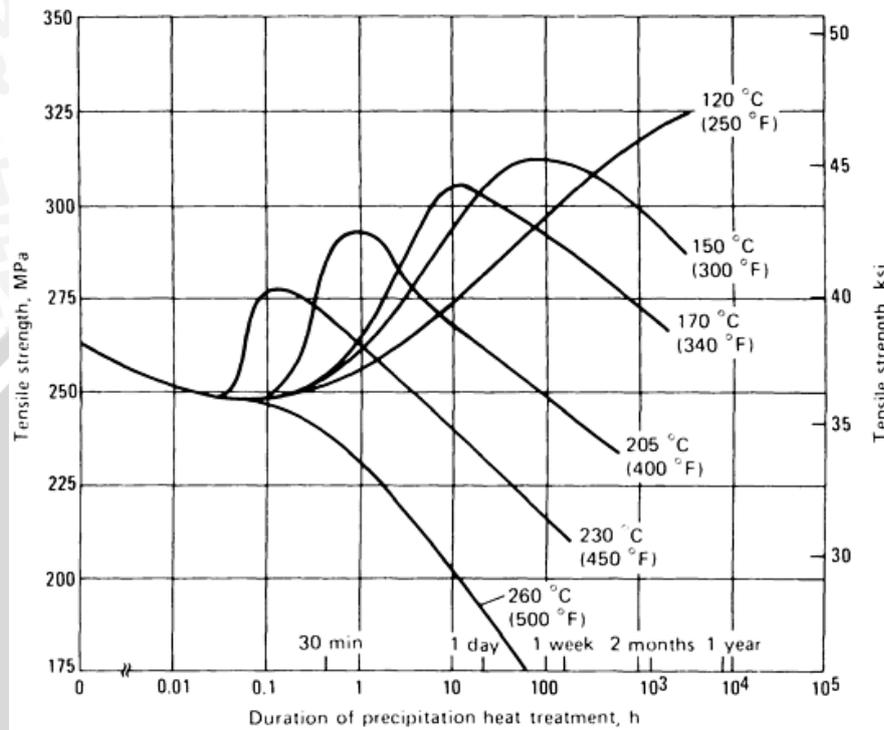
2.12. *Aging Treatment*

Aging Treatment adalah proses perlakuan panas dengan tujuan untuk memperbaiki sifat mekanis dan fisik material, dengan waktu dan suhu yang dikondisikan sendiri. Pengerasan material dapat dicapai dengan temperatur ruangan (*natural aging*) atau pun percepatan perlakuan panas (*artificial aging*). Pada paduan tertentu, percepatan dapat berlangsung hingga beberapa hari untuk menghasilkan produk stabil dengan sifat yang baik. Perlakuan *aging* ini biasanya dilakukan untuk memberikan peningkatan kekuatan dan kekerasan pada produk tempa atau coran. Pada beberapa paduan dengan reaksi yang lama pada temperatur ruang, selalu dilakukan perlakuan panas sebelum produk digunakan. (Brook dkk. 1991: 1915)

2.12.1. *Artificial Aging*

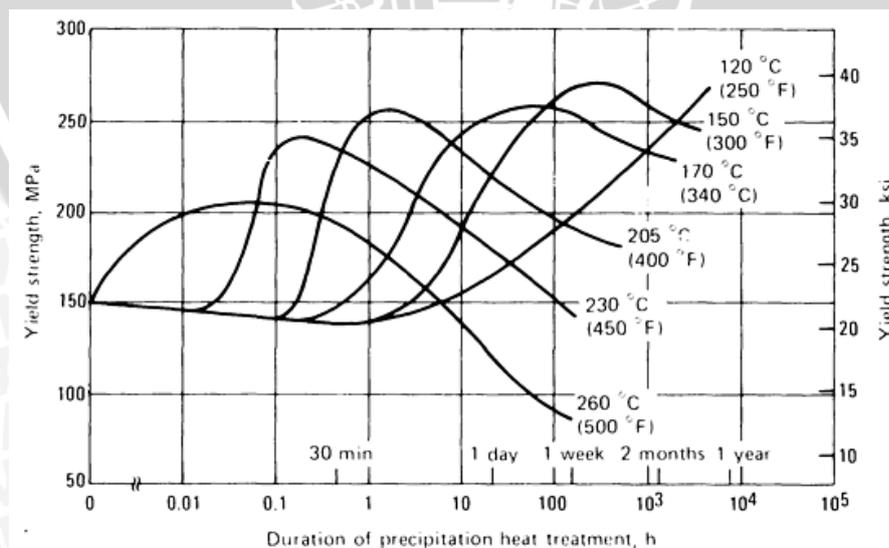
Umumnya proses *artificial aging* dilakukan pada suhu rendah dan proses yang lama. Pada umumnya suhu yang dipakai 115 – 190°C (240-375°F) dengan variasi waktu 5 – 48 jam. Keuntungan dari *artificial aging* adalah meningkatkan sifat mekaniknya, seperti kekerasan, tarik, dan puntir, selain itu dapat juga mengurangi tegangan sisa. Jika menginginkan sifat mekanik yang baik, maka pemilihan suhu dan waktu harus lebih spesifik. Pemilihan siklus suhu-waktu harus dipertimbangkan secara hati – hati dengan melihat grafik yang ada. Semakin besar partikel paduan, maka dibutuhkan waktu yang lebih lama dan suhu yang lebih tinggi, namun dibutuhkan jarak yang lebih besar antar partikelnya. Tujuannya adalah untuk memilih siklus yang menghasilkan kekuatan mekanik yang maksimal. Dianjurkan melakukan perawatan umum rutin, faktor biaya dan probabilitas untuk mendapatkan sifat yang diinginkan, dengan pertimbangan tunjangan untuk variabel seperti komposisi dalam jangkauan tertentu dan variasi suhu di dalam tungku dan beban. Penggunaan suhu yang lebih tinggi dapat mengurangi waktu perawatan, tetapi jika suhu terlalu tinggi, karakteristik dari proses *artificial aging* mengurangi kemungkinan untuk mendapatkan sifat yang

diinginkan. Dari gambar 2.11 adalah grafik hubungan antara lama waktu *artificial aging* dengan kekuatan tarik, kekuatan luluh (Gambar 2.12) dan perpanjangan (Gambar 2.13) paduan Al-6061 dengan suhu yang berbeda pula. (Brook dkk. 1991: 1918)



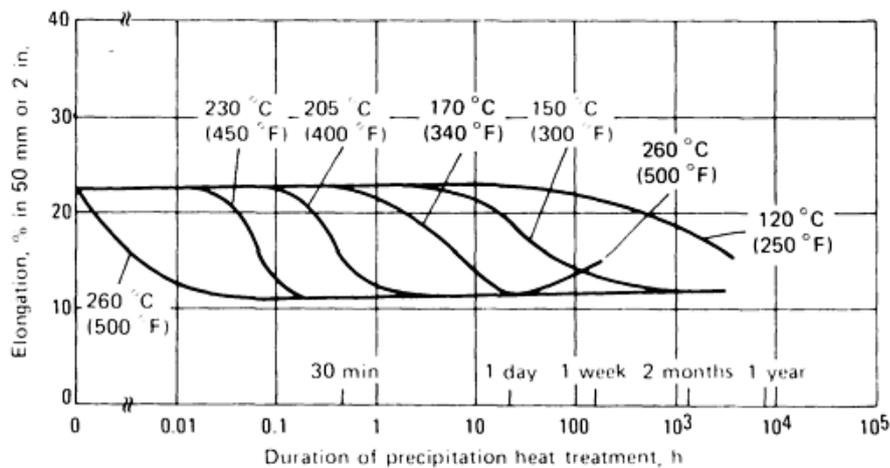
Gambar 2.11 Grafik Hubungan Lama Waktu *Artificial Aging* dengan Kekuatan Tarik Pada Paduan Al-6061.

Sumber : Brook dkk. 1991: 1920



Gambar 2.12 Grafik Hubungan Lama Waktu *Artificial Aging* dengan Kekuatan Luluh pada Paduan Al-6061.

Sumber : Brook dkk. 1991: 1920



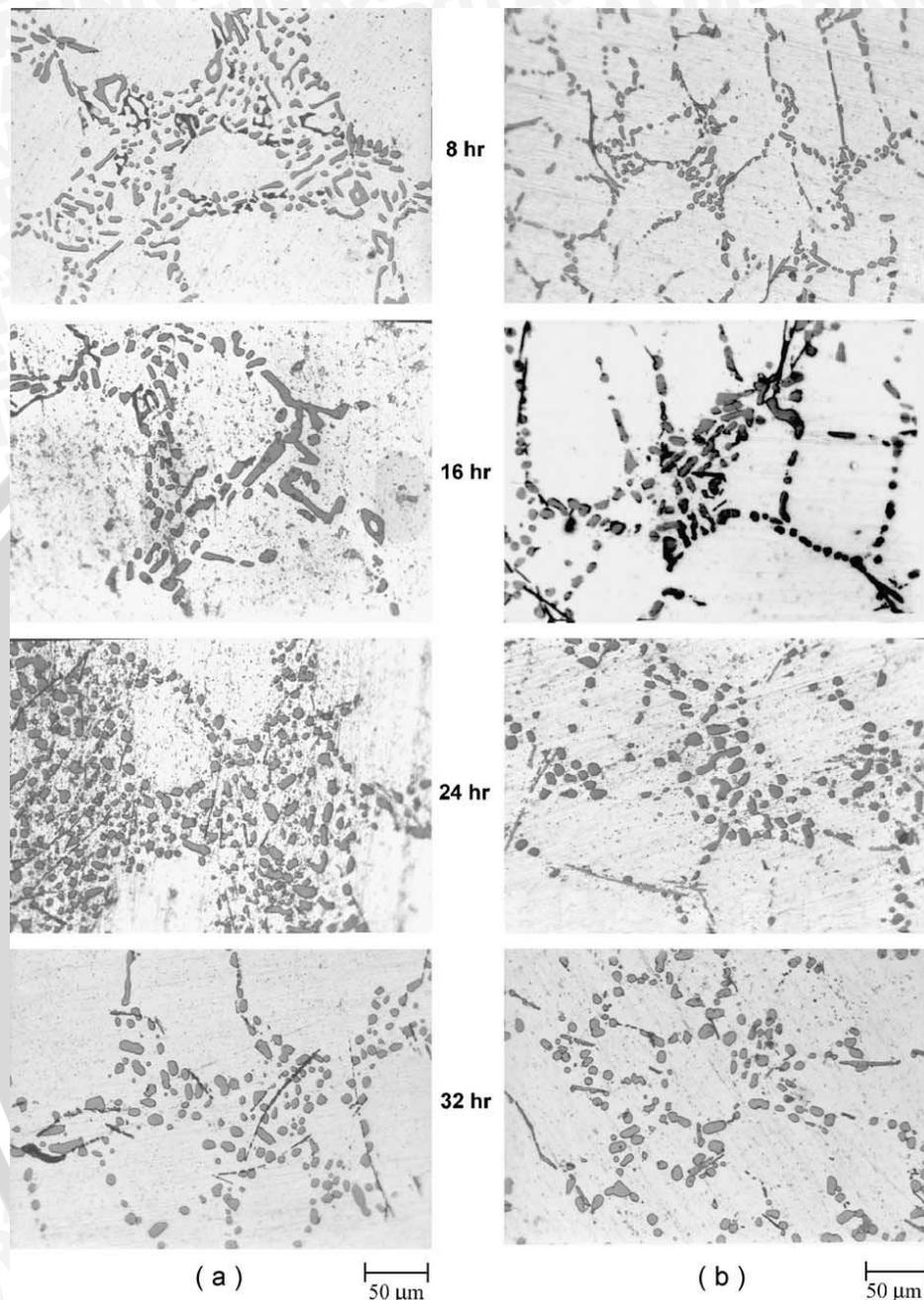
Gambar 2.13 Grafik Hubungan Lama Waktu *Artificial Aging* dengan Perpanjangan Pada Paduan Al-6061.

Sumber : Brook dkk. 1991: 1920

2.12.2. *Natural Aging*

Natural aging biasa juga disebut penuaan yang terjadi secara ilmiah, biasanya digunakan pada paduan aluminium dengan seri 6xxx (Al-Mg-Si), paduan dengan kandungan seri 7xxx (Al-Zu), dan juga pada seri 2xxx (Al-Cu). Pada beberapa paduan ini terutama pada paduan seri 2xxx dengan menggunakan *natural aging* menghasilkan rasio yang tinggi baik kekuatan tarik, luluh, ketangguhan, dan *fatigue*. Lain halnya dengan paduan seri 6xxx dan 7xxx, paduan pada seri 2xxx jauh kurang stabil pada suhu kamar dan terus menurun setelah bertahun – tahun. (Brook dkk. 1991: 1915)

- Pengaruh Aging Treatment Terhadap Mikrostruktur Al-Mg-Si



Gambar 2.14 Mikrostruktur Al-Mg-Si Hasil Aging Treatment (a) Casting (b) Squeeze Casting dengan Tekanan 70 MPa.

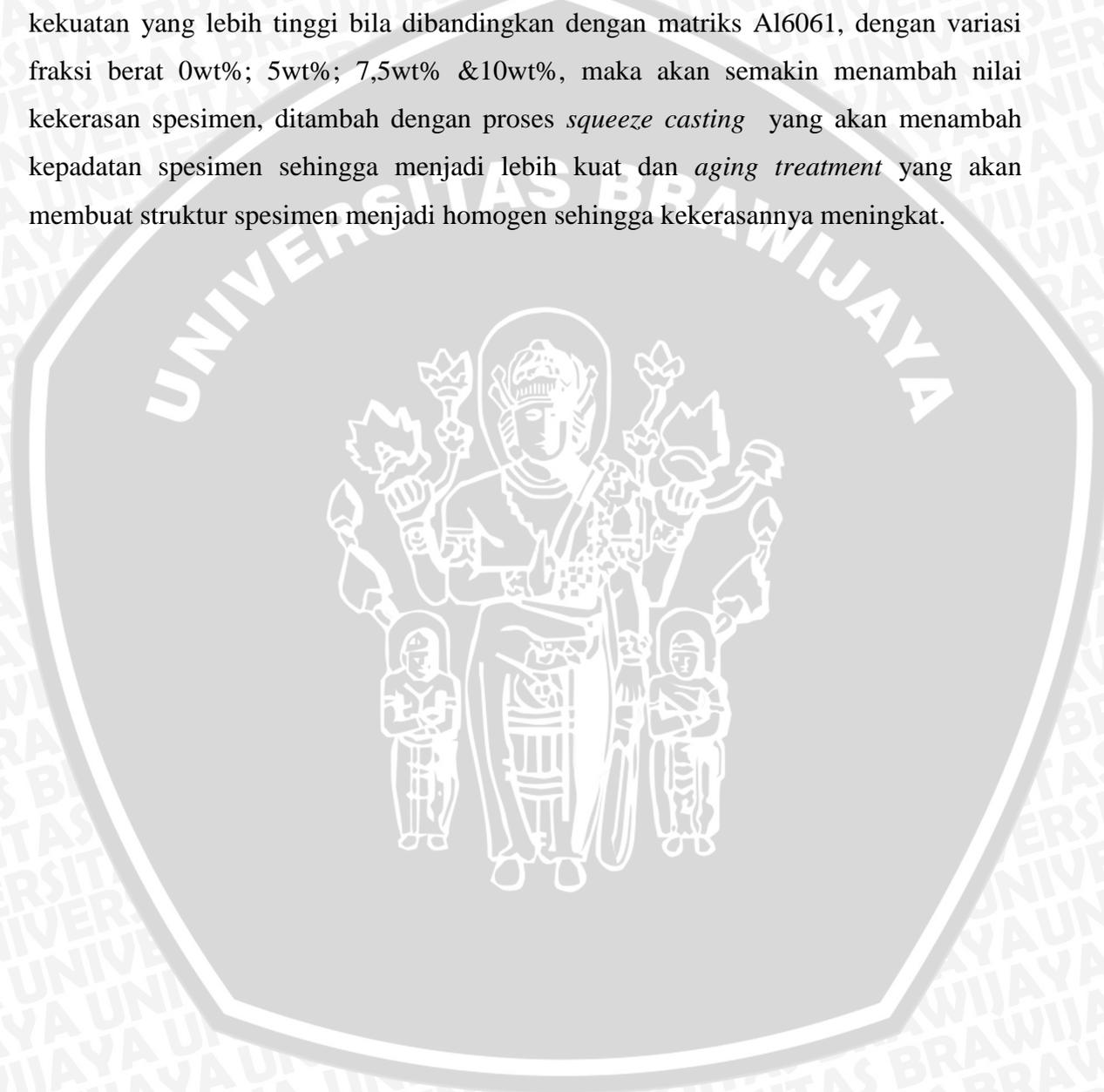
Sumber : El-Khair. 2005 : 896

Dapat dilihat pada gambar bahwa perbandingan antara butiran hitam (Mg_2Si) pada hasil coran biasa dan menggunakan metode *squeeze casting* adalah butiran hitam tampak lebih menyebar pada foto mikro hasil *squeeze casting* dibandingkan hasil coran biasa. Mg_2Si yang menyebar pada batas-batas butir yang ada, hal ini yang menyebabkan

kekerasan pada produk meningkat, dikarenakan ketika dilakukan penetrasi oleh alat uji kekerasan, Mg_2Si menghambat terjadinya pergeseran antar butir Aluminium.

2.13. Hipotesa

Berdasarkan tinjauan pustaka dapat diambil hipotesa bahwa dengan menambahkan fraksi berat penguat *E-glass* yang memiliki modulus elastisitas dan kekuatan yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan matriks Al6061, dengan variasi fraksi berat 0wt%; 5wt%; 7,5wt% & 10wt%, maka akan semakin menambah nilai kekerasan spesimen, ditambah dengan proses *squeeze casting* yang akan menambah kepadatan spesimen sehingga menjadi lebih kuat dan *aging treatment* yang akan membuat struktur spesimen menjadi homogen sehingga kekerasannya meningkat.



BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Tempat Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode penelitian eksperimental nyata (*true experimental research*) yaitu dengan melakukan pengamatan secara langsung untuk memperoleh data sebab akibat melalui eksperimen guna mendapatkan data empiris yang secara langsung digunakan ke obyek yang akan diteliti. Obyek tersebut akan diambil datanya pada tahapan-tahapan tertentu yang akan menghasilkan beberapa data yang bisa dibandingkan. Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Pengujian Bahan, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya dan Laboratorium Pengecoran Logam, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.

3.2 Variabel Penelitian

Variabel-variabel yang digunakan dalam penelitian ini antara lain adalah:

1. Variabel bebas

Variabel bebas adalah variabel yang besarnya ditentukan oleh peneliti harganya dapat diubah-ubah dengan metode tertentu untuk mendapatkan nilai variabel terikat dari obyek penelitian, sehingga dapat diperoleh hubungan antara keduanya. Variabel bebasnya adalah variasi komposisi *E-glass*, yaitu 0 wt%, 5 wt%, 7,5 wt%, dan 10 wt%.

2. Variabel terikat

Variabel terikat adalah variabel yang nilainya tergantung dari variable bebas dan diketahui setelah penelitian dilakukan. Variabel terikatnya adalah nilai kekerasan dan mikrostruktur.

3. Variabel terkontrol

Variabel terkontrol adalah variabel yang nilainya ditentukan oleh peneliti dan dikondisikan konstan. Dalam penelitian ini variable terkontrolnya adalah:

- Proses *solution treatment* pada suhu 530⁰C *holding* selama 8 jam dan proses *precipitation hardening* pada suhu 185⁰C *holding* selama 8 jam.
- Besar tekanan ($P_{\text{plunger}} = 100 \text{ MPa}$) pada saat melakukan *squeeze casting*.
- Ukuran serbuk *E-glass* 50-60 μm .
- Temperatur tuang logam cair = 900⁰C.
- Kecepatan putar *stir casting* 2900-3000 rpm.

- Suhu *burner* 150-170°C.
- Time delay = 5 menit.

3.3 Alat dan Bahan Penelitian.

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini antara lain:

1. Dapur Listrik
Digunakan untuk meleburkan material Al6061.
2. Ladel
Digunakan sebagai tempat atau wadah melebur material Al6061.
3. Bor Tangan
Digunakan untuk mengaduk campuran serbuk *E-glass* dengan Al6061 yang dilebur.
4. Cetakan Logam
Digunakan untuk membentuk logam cair sesuai bentuk yang diinginkan.
5. Dongkrak Hidrolik
Digunakan untuk memberikan tekanan terhadap plunger.
6. *Plunger*
Digunakan untuk meneruskan gaya dorong yang dihasilkan oleh *accumulator* terhadap logam cair.
7. *Pressure Gauge*
Merupakan alat yang digunakan untuk mengukur tekanan pada kompresor.
8. Cawan Tuang (Ladel)
Digunakan untuk mengambil logam cair dalam dapur listrik dan menuangkan ke dalam saluran masuk *squeeze casting*.
9. *Burner*
Digunakan untuk memanaskan cetakan yang ada pada *squeeze casting*.
10. *Infrared thermometer*
Digunakan untuk melihat suhu pada saat penuangan aluminium ke cetakan.
11. Peralatan *safety* (Standar Laboratorium).
Digunakan sebagai pengaman tubuh saat melakukan proses pengecoran *squeeze casting*.
12. Penumbuk besi
Digunakan untuk menumbuk serat gelas menjadi serbuk gelas.

13. Timbangan elektrik
Digunakan untuk menimbang komposisi serbuk kaca yang nantinya akan divariasikan.
14. Mesin Pengguncang Rotap
Berfungsi untuk menyaring hasil tumbukan *E-glass* sampai ukuran yang diinginkan.
13. Dapur Pemanas
Digunakan untuk memberikan heat treatment pada benda uji.
14. Penjepit
Digunakan untuk memindahkan benda uji setelah pemanasan dalam dapur.
15. *Stopwatch*
Digunakan untuk mengukur waktu *holding*.
16. *Vernier caliper* (Jangka sorong)
Digunakan untuk mengukur spesimen.
17. *Vickers hardness tester*
Digunakan untuk mengetahui kekerasan spesimen (VHN).
18. Mikroskop Logam
Digunakan untuk pengujian mikrostruktur.
19. *Centrifugal Sand Paper Machine*
Digunakan untuk menghaluskan permukaan spesimen untuk diuji mikrostruktur.
20. Kamera Digital
Digunakan untuk dokumentasi selama proses penelitian.

Bahan penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- Aluminium paduan seri 6061
- Serbuk gelas tipe E atau *E-glass*.

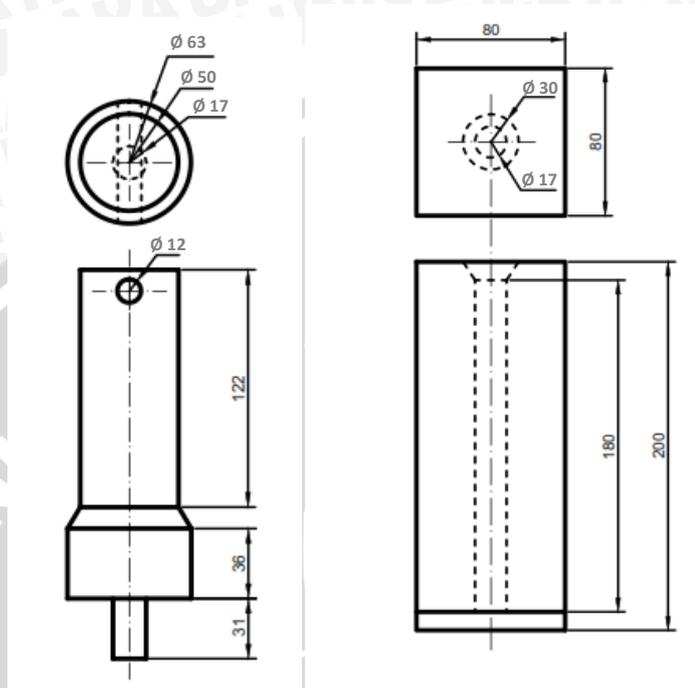
3.4 Prosedur Penelitian

3.4.1 Prosedur *Squeeze Casting* & Pencampuran Serbuk *E-glass*

Langkah kerja dalam penelitian ini adalah:

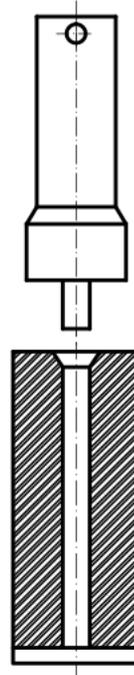
1. Persiapan percobaan, yaitu menyiapkan dapur peleburan, menyiapkan bahan dan cetakan logam, menyiapkan alat-alat yang digunakan.

2. Menyiapkan serbuk *E-glass* yang sudah di ayak 50-60 μm untuk kemudian dicampur bersama Al6061.
3. Membuat *plunger* (penekan) dan cetakan produk yang akan digunakan.
 - *Plunger* dan cetakan produk pada *squeeze casting*

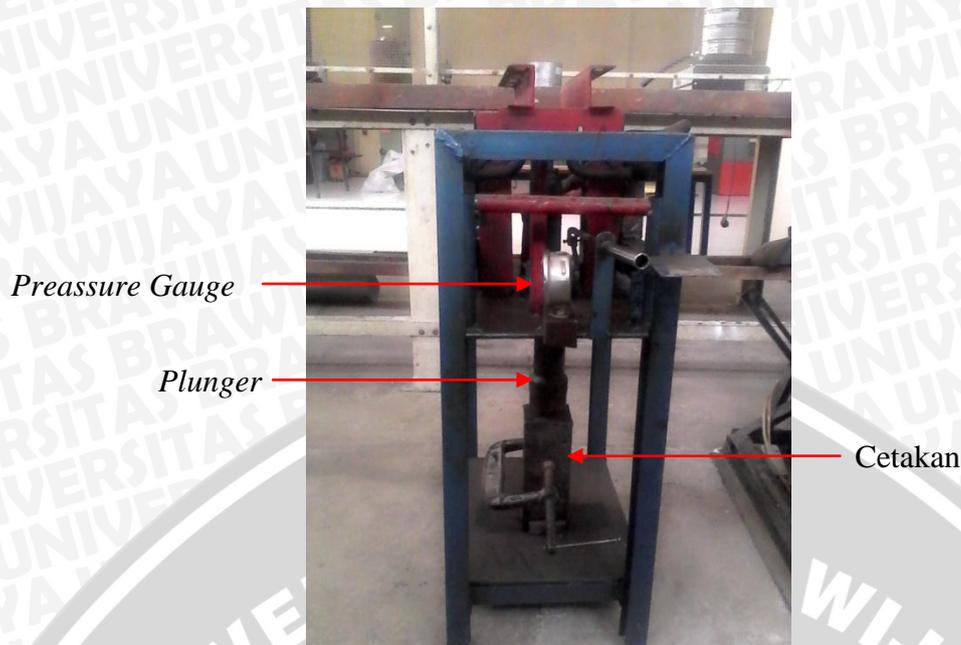


Gambar 3.1 Dimensi *Plunger* dan Cetakan Produk *Squeeze Casting*

- Gambar instalasi *squeeze casting*



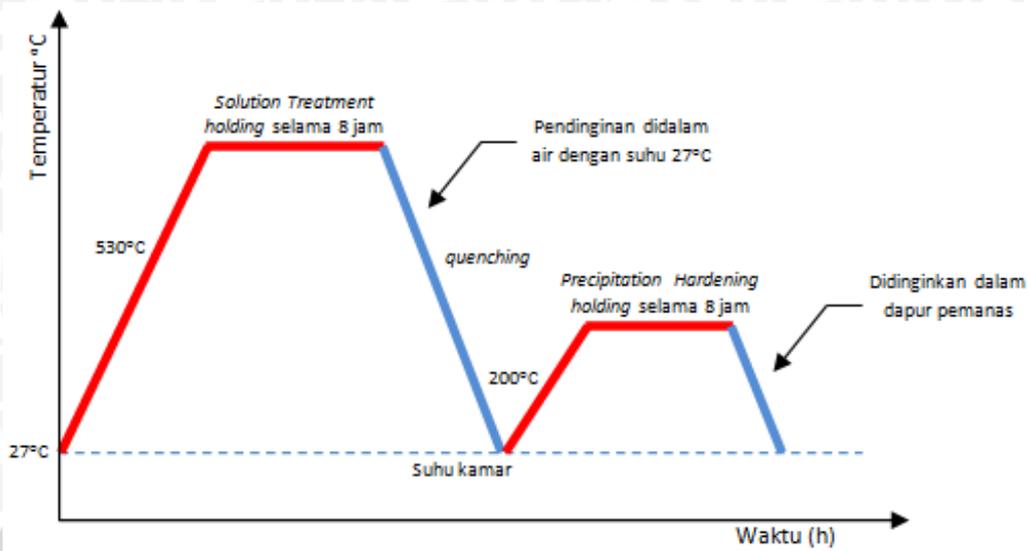
Gambar 3.2 Instalasi *Squeeze Casting*.



Gambar 3.3 Alat *Squeeze Casting*

4. Meleburkan Al-Mg-Si hingga mencair dengan suhu 900°C pada dapur listrik.
5. Mencampur serbuk *E-glass* ketika aluminium sudah mulai cair untuk kemudian diaduk bersamaan menggunakan bor yang disambungkan dengan poros *stainless steel* sebagai pengaduk selama 5 menit dengan putaran 2900-3000 rpm, dengan variasi fraksi berat sebagai berikut:
 - 100% Al-Mg-Si : 0 wt% serbuk *E-glass*
 - 95% Al-Mg-Si : 5 wt% serbuk *E-glass*
 - 92,5% Al-Mg-Si : 7,5 wt% serbuk *E-glass*
 - 90% Al-Mg-Si : 10 wt% serbuk *E-glass*
6. Menghitung tekanan plunger 100 MPa menjadi tekanan pada *hydraulic*.
7. Memasang cetakan logam pada alat *squeeze casting*.
8. Memanaskan cetakan logam menggunakan alat pemanas (*burner*) hingga suhu 150-170°C kemudian meneliti dengan *infrared thermometer* pada semua titik cetakan.
9. Mematikan alat pemanas (*burner*), kemudian menuangkan logam cair kedalam saluran masuk dari alat *squeeze casting* secukupnya.
10. Memberikan tekanan menggunakan hidrolis sebesar 100 MPa, dengan *time delay* 5 menit.
11. Membuka cetakannya dan melepas benda kerja secara perlahan setelah temperatur pada logam cair sudah turun.

3.4.2 Prosedur Proses *Solution Treatment & Precipitation Hardening*



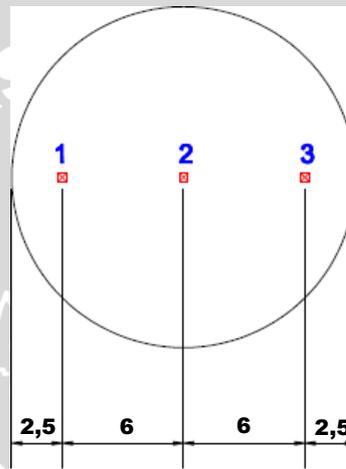
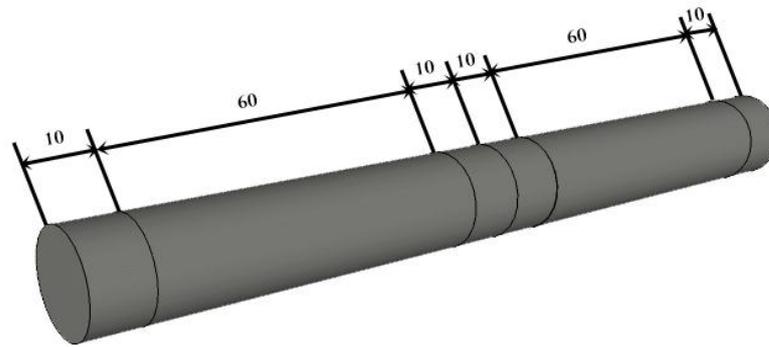
Gambar 3.4 Grafik Hubungan antara Waktu dan Temperatur dalam Proses *Solution Treatment* dan *Artificial Aging Treatment*.

1. Setelah produk coran selesai, dilakukan proses pendinginan pada suhu ruangan.
2. Spesimen dimasukkan kedalam dapur pemanas untuk dilakukan proses *solution treatment*, memanaskan dapur sampai suhu 530°C dan *holding* selama 8 jam.
3. Melakukan proses *quenching* pada produk hasil coran dengan cara merendam kedalam air dengan suhu 27°C.
4. Memasukkan spesimen kembali untuk dilakukan proses perlakuan panas (*precipitation hardening*) dengan suhu 185°C dan *holding* selama 8 jam.
5. Didinginkan dalam dapur pemanas sampai mencapai suhu ruangan.

3.4.3 Prosedur Pengujian dan Pengambilan Data Kekerasan

Dalam penelitian ini dilakukan pengujian kekerasan dengan langkah – langkah sebagai berikut :

1. Pengambilan data:
 - a. Menyiapkan alat uji kekerasan (*Vickers Hardness Tester*).
 - b. Menyiapkan spesimen yang akan diuji dengan dimensi seperti pada gambar



Gambar 3.5 Spesimen Uji Kekerasan.

- c. Melakukan pengujian kekerasan pada 3 titik sepanjang diameter luas penampang.
2. Melakukan pengulangan langkah a sampai c pada specimen Al6061 pada penampang atas, tengah dan bawah pada variasi komposisi serbuk *E-glass* 0wt%; 5wt%; 7,5wt%; dan 10wt%.
3. Mengolah data hasil pengujian.
4. Melakukan analisa dan pembahasan dari data-data yang diperoleh.
5. Mengambil kesimpulan.

3.4.4 Prosedur Pengujian Mikrostruktur

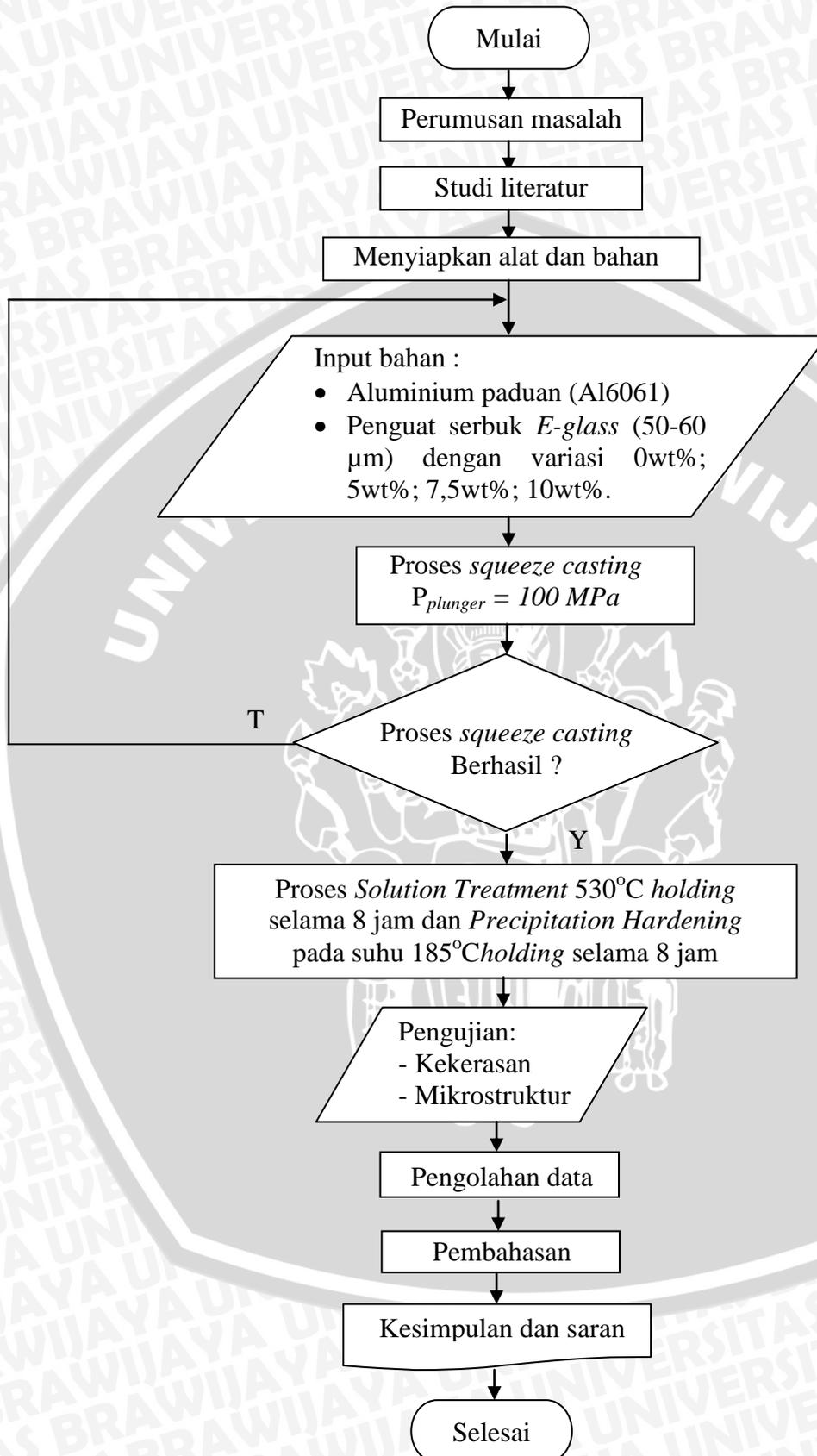
Pada penelitian ini dilakukan pengambilan struktur mikro dengan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Pemotongan dan pembuatan spesimen uji, sama yang seperti ditunjukkan gambar 3.5 pada pengujian kekerasan.
2. Menyiapkan alat (mikroskop logam).

3. Menghaluskan permukaan spesimen uji menggunakan kertas gosok tahan air dengan nomor 80, 150, 220, 500, 800, 1000 dan 1200 dan terakhir dengan Autosol.
4. Pengujian dilakukan dengan memberi larutan *Hydroflouric Acid* (HF), ditahan selama 1 menit.
5. Menganalisa struktur mikro dengan mikroskop logam, kemudian hasilnya disimpan dalam file berformat jpg.



3.5 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.6 Diagram Alir Penelitian.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian

4.1.1. Hasil dan Pembahasan Pengujian Kekerasan

Dari hasil pengujian kekerasan menggunakan *Vickers Hardness Tester* (VHN) didapat data seperti berikut :

Tabel 4.1 Data Hasil Pengujian Kekerasan (VHN) Penampang Atas

Titik	E-GLASS			
	0wt%	5wt%	7,5wt%	10wt%
1	99,5	83,72	102,1	62,71
2	99,2	78,03	97,16	64,04
3	112,4	82,41	114,2	61,64
Rata	103,7	81,38	104,48	62,79

Dapat dilihat dari tabel 4.1 spesimen variasi *E-glass* hasil *squeeze casting* dan *aging treatment* pada penampang bagian atas dari variasi 0wt%; 5wt%; 7,5wt% dan 10wt% masing-masing 3 titik pada tiap variasi dengan jarak yang sudah ditentukan seperti pada gambar 3.5. Nilai Kekerasan tertinggi pada penampang bagian atas ini adalah pada variasi 7,5wt% dengan nilai kekerasan rata-rata 104,48 VHN; tertinggi kedua adalah variasi 0wt% dengan nilai rata-rata 103,7 VHN; ketiga variasi 5wt% dengan nilai rata-rata 81,38 VHN; kemudian variasi 10wt% dengan nilai rata-rata 62,79 VHN.

Tabel 4.2 Data Hasil Pengujian Kekerasan (VHN) Penampang Tengah

Titik	E-GLASS			
	0wt%	5wt%	7,5wt%	10wt%
1	115,9	73,62	54,77	61,62
2	86,46	78,23	69,24	52,6
3	111	71,47	91,57	79,86
Rata	104,45	74,44	71,86	64,69

Dari tabel 4.2 adalah spesimen variasi *E-glass* hasil *squeeze casting* dan *aging treatment* pada penampang bagian tengah dari variasi 0wt%; 5wt%; 7,5wt% dan 10wt% masing-masing 3 titik dibagian permukaan spesimen. Nilai Kekerasan tertinggi pada

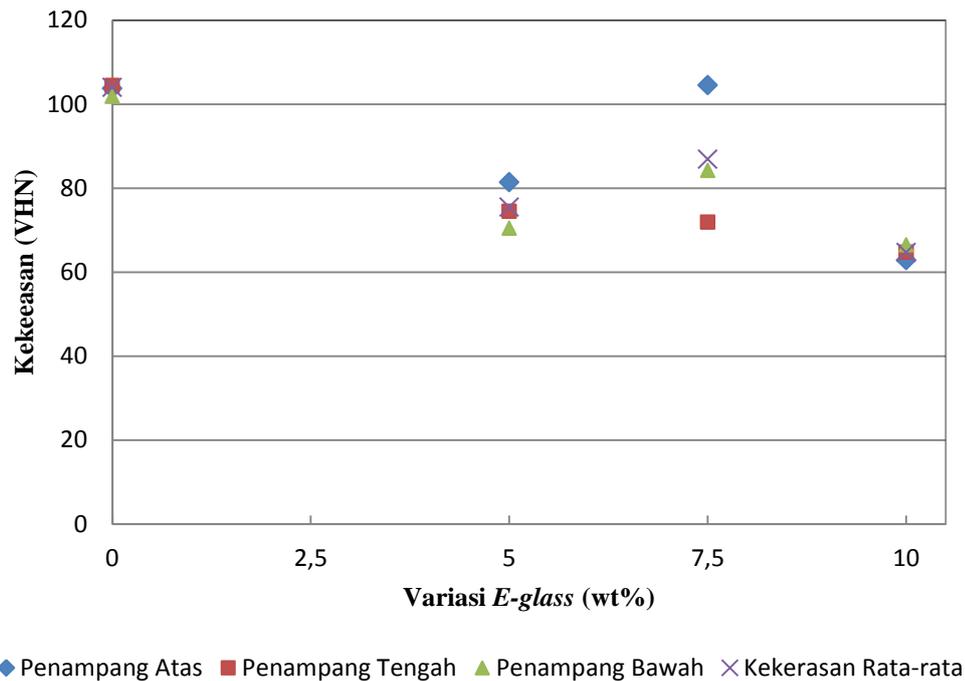
penampang bagian tengah ini adalah pada variasi 0wt% dengan nilai kekerasan rata-rata 104,45 VHN; selanjutnya tertinggi kedua adalah variasi 5wt% dengan nilai rata-rata 74,44 VHN; ketiga variasi 7,5wt% dengan nilai rata-rata 71,86 VHN; kemudian variasi 10wt% dengan nilai rata-rata 64,69 VHN.

Tabel 4.3 Data Hasil Pengujian Kekerasan (VHN) Penampang Bawah

Titik	E-GLASS			
	0wt%	5wt%	7,5wt%	10wt%
1	100,6	81,33	90,82	65,24
2	100,6	60,34	92,86	67,76
3	104,2	69,58	68,91	66,33
Rata	101,8	70,42	84,19	66,44

Dapat dilihat pada tabel 4.3 spesimen variasi *E-glass* hasil *squeeze casting* dan *aging treatment* pada penampang bagian atas dari variasi 0wt%; 5wt%; 7,5wt% dan 10wt%. Nilai kekerasan tertinggi pada penampang bagian bawah adalah di variasi 0wt% dengan nilai kekerasan rata-rata 101,8 VHN; selanjutnya variasi 7,5wt% dengan nilai kekerasan rata-rata 84,19 VHN; kemudian pada 7,5wt% dengan nilai kekerasan rata-rata 70,42 VHN; dan yang terendah pada variasi 10wt% dengan kekerasan rata-rata 66,44 VHN.

Setelah melakukan pengolahan data dari data yang diperoleh, didapat grafik untuk nilai kekerasan rata-rata pada penampang atas, penampang tengah dan penampang bawah, termasuk kekerasan rata-rata dari semua penampang untuk mengetahui semua nilai kekerasan rata-ratanya seperti yang ditunjukkan pada gambar grafik berikut :

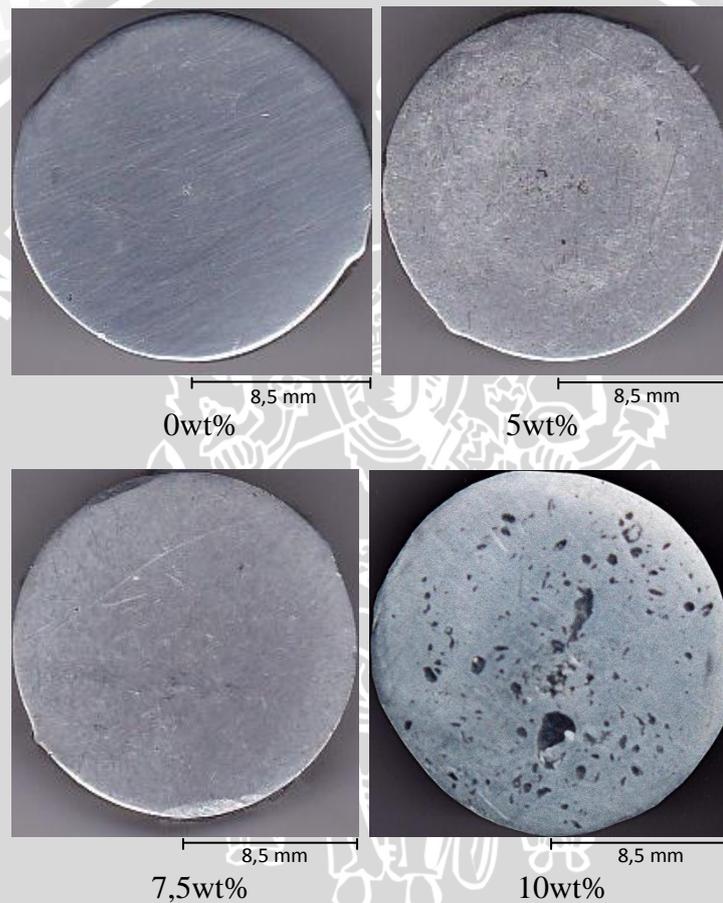


Gambar 4.1 Grafik Nilai Kekerasan Rata-rata pada Masing-masing Penampang Variasi *E-glass* 0wt%; 5wt%; 7,5wt% dan 10wt% Hasil *Squeeze Casting* dan *Aging Treatment*.

Dapat dilihat dari gambar 4.1 bahwa sumbu x adalah spesimen variasi *E-glass* pada Al6061 dengan variasi fraksi berat 0wt%; 5wt%; 7,5wt%; 10wt% dan sumbu y menunjukkan nilai kekerasan rata-rata pada masing-masing penampang dengan satuan VHN. Nilai kekerasan rata-rata tertinggi pada semua penampang adalah pada variasi 0wt% dengan nilai kekerasan rata-rata 103,32 VHN; kemudian variasi *E-glass* 7,5wt% dengan nilai 86,84 VHN; ketiga variasi *E-glass* 5wt% dengan nilai 75,413 VHN; dan terakhir menurun hingga variasi 10wt% dengan nilai 64,64 VHN.

Kecenderungan nilai kekerasan menurun hingga variasi 10wt% ini dikarenakan pada setiap penambahan fraksi berat *E-glass*, *E-glass* hanya menjadi sebuah gumpalan yang diakibatkan proses *stir casting* yang kurang sempurna dan juga suhu peleburan yang lebih dari 710°C, karena kandungan Al₂O₃ yang berfungsi sebagai selimut untuk melindungi logam cair menjadi pecah akibat *overheat*, sehingga ada kontaminasi dari hidrogen (H₂) yang masuk dan membuat beberapa rongga yang berisi gumpalan *E-glass* yang tidak berikatan, membuat *E-glass* yang mempunyai sifat mekanik yang sangat baik, tidak dapat memberikan fungsi penguat pada matriks Al6061. Sehingga pada pengujian kekerasan *vickers*, saat indenter memberikan gaya tekan pada permukaan spesimen yang diisi oleh penguat *E-glass*, *E-glass* yang diharapkan mampu menjadi penguat menambah kekuatan *matrix* (Al6061), justru tidak berfungsi karena

menggumpal, membuat yang bekerja menerima gaya tekan dari indentor adalah *matrix* itu sendiri, dan menyebabkan nilai kekerasan menurun. Ini berlaku pada setiap penambahan fraksi berat *E-glass*, semakin banyak fraksi berat *E-glass* yang ditambahkan, maka gumpalan *E-glass* akan semakin banyak dan menyebabkan terjadinya rongga pada setiap penambahan variasi *E-glass* juga semakin banyak, sehingga kekerasannya juga ikut menurun. Dapat dilihat foto spesimen pengujian kekerasan berikut ini :



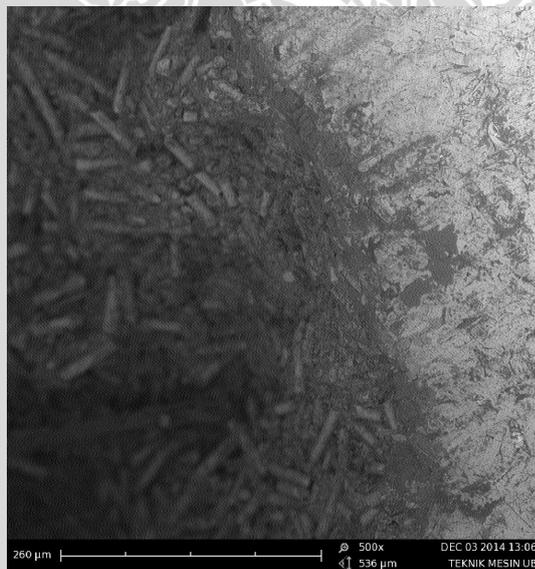
Gambar 4.2 Foto Makrostruktur Spesimen Kekerasan pada Penampang Atas.

Pada penelitian ini *squeeze casting* dan *aging treatment* kurang berpengaruh dikarenakan pengaruh semakin besar fraksi berat *E-glass* yang ditambahkan akan mengakibatkan kekentalan dari Al6061 semakin tinggi, sehingga pada saat logam cair dituangkan pada cetakan, terjadi solidifikasi dini sebelum diberikan tekanan oleh *plunger*.

Berikut foto SEM (*Scanning Electron Microscope*) pada spesimen variasi *E-glass* 10wt% pada rongga yang menunjukkan bahwa partikel-partikel *E-glass* tidak berikatan dan menggumpal :



(a)

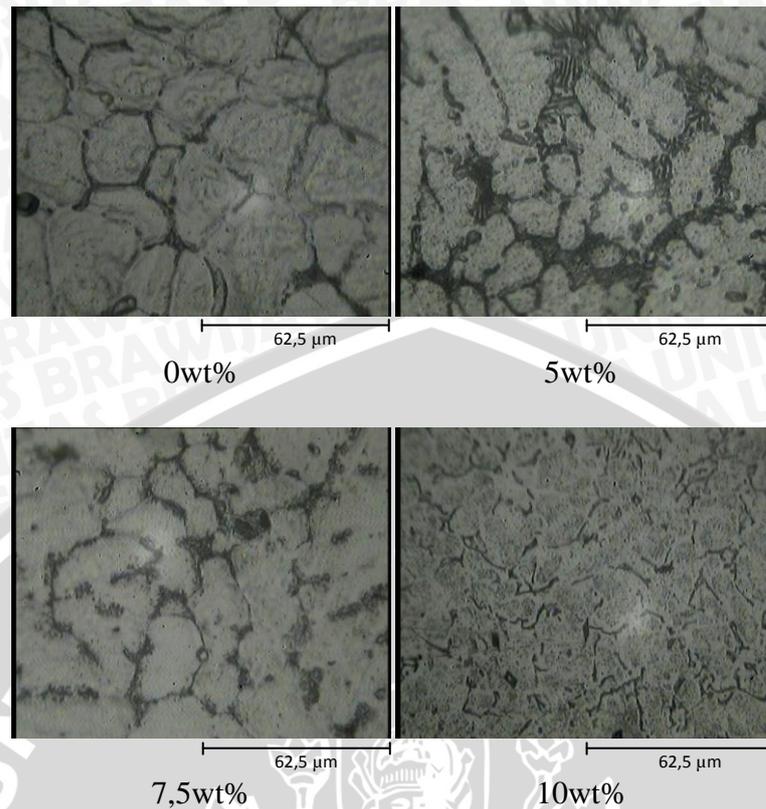


(b)

Gambar 4.3 Foto SEM (a) Variasi *E-glass* 10wt% Perbesaran 250 Kali (b) Variasi *E-glass* 10wt% Perbesaran 500 Kali.

4.1.2. Hasil dan Pembahasan Pengujian Mikrostruktur

Setelah melakukan pengujian mikrostruktur, didapat foto mikro dengan perbesaran 400 kali seperti pada gambar dibawah ini :



Gambar 4.4 Foto Mikrostruktur Hasil *Squeeze Casting* dan *Aging Treatment* pada Penampang Atas dengan Perbesaran 400 Kali.

Setelah didapat foto mikrostruktur pada masing-masing penampang (penampang tengah dan penampang bawah dilampirkan), dapat dilihat pada gambar 4.4 foto mikro pada penampang atas dengan variasi 0wt%; 5wt%; 7,5wt% dan 10wt%, seiring bertambahnya variasi fraksi berat *E-glass*, butiran tampak terlihat semakin berukuran kecil, ini karena semakin banyak fraksi berat *E-glass* yang ditambahkan dapat membuat kekentalan dari logam cair semakin tinggi, sehingga dapat berakibat terjadinya solidifikasi dini atau pembekuan logam cair yang cepat akibat efek campuran partikel *E-glass*, dimana berdasarkan tinjauan pustaka tentang pembekuan logam, daerah yang mengalami pembekuan logam yang cepat cenderung memiliki ukuran butir yang kecil, sehingga mempunyai kekerasan atau kekuatan yang baik. Namun berdasarkan data kekerasan yang didapat, dengan ukuran butir yang semakin kecil justru menurunkan kekerasannya. Berdasarkan analisa pada pengujian kekerasan, terjadi penggumpalan serbuk *E-glass* dan membuat rongga di beberapa daerah pada matriks Al6061 terutama pada bagian permukaan, sehingga walau *E-glass* membuat efek kekentalan logam cair tinggi dan membuat pembekuan cepat, namun karena menggumpal justru membuat kekerasan Al6061 turun.

BAB V PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Semakin bertambahnya *E-glass* akan mempengaruhi nilai kekerasan Al6061 semakin turun, karena semakin bertambahnya *E-glass* akan membuat banyak rongga yang terjadi yang terisi oleh gumpalan *E-glass*, sehingga menyebabkan kekuatan *matrix* Al6061 berkurang.
2. Pada pengujian mikrostruktur, semakin bertambahnya fraksi berat *E-glass* akan membuat ukuran butir semakin kecil, ini disebabkan semakin bertambah *E-glass* akan membuat kekentalan semakin tinggi dan mengalami pembekuan yang cepat, mengakibatkan butir tidak berkembang sehingga butiran yang dihasilkan kecil.
3. Kekerasan rata-rata tertinggi ada pada variasi *E-glass* 0wt% dengan nilai kekerasan rata-rata 103,95 VHN. Sedangkan terendah adalah variasi *E-glass* 10wt% dengan nilai kekerasan rata-rata 64,64 VHN.

5.2. Saran

Dari penelitian yang telah dilakukan ada beberapa hal yang perlu diperhatikan untuk penelitian selanjutnya, antara lain:

1. Suhu yang digunakan untuk meleburkan aluminium harus berkisar antara 660-710°C dikarenakan pada suhu 900°C, dikarenakan kelarutan hidrogen akan semakin tinggi dan dapat menyebabkan porositas pada produk coran.
2. Pada saat proses *stir casting*, besar putaran sekitar 400-500 rpm, karena pada putaran 2900-3000 rpm dapat menyebabkan penggumpalan pada serbuk *E-glass* disebabkan putaran yang terlalu tinggi.
3. Pada penambahan penguat serbuk *E-glass* sebaiknya tidak lebih dari 6%, karena dapat menjadikan kekentalan pada logam cair tinggi, sehingga dapat menjadikan salah satu faktor porositas dan juga bertujuan meminimalisir terjadinya gumpalan.
4. Perlu diberikannya tambahan bahan pengikat seperti *fly ash* agar serbuk *E-glass* dapat berikatan dengan aluminium.
5. Melakukan penelitian sesuai dengan prosedur yang baik dan literatur yang akurat agar dalam pembuatan produk komposit menghasilkan produk yang maksimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Brook C.R., Crampton D.K., Matsuda T., Heyer R.H., Samans C.H., Mehl R.F., Marzke G.T. 1991. *ASM Handbook vol. 4 Heat Treating*. Detroit: ASM International.
- El- Khair, M.T.A., 2005. *Microstructure characterization and tensile properties of squeeze-cast AlSiMg alloys*. Materials Letter 59.
- Heine, R. W. 1976. *Principles of Metal Casting*. New Delhi: Tata McGraw -Hill,
- Kalpakjian, S. 1990. *Manufacturing Engineering and Technology*. Massachusetts: Adison-Wesley Publish Company.
- Kumar, Arum M.B., and Swamy, R.P., 2011. *Evaluation of Mechanical Properties of Al6061, Flyash and E-glass Fiber Reinforced Hybrid Metal Matrix Composites*. Departemen of Mechanical Engineering, Government Engineering College, Haveri, Karnataka, India.
- Matthews, F. L. & Rawlings, R. D., 1994. *Composite Material: Engineering and Science*. London, UK: Imperial College of Science, Technology and Medicine.
- Mulyanti, Juriyah. 2011. *Pengaruh Temperatur Proses Aging Terhadap Karakteristik Komposit Logam Al-Sic Hasil Stir Casting*. Jakarta : Universitas Janabadra.
- Ramadhonal, Syahru., 2010. *Pembuatan Komposit Matriks Logam Berpenguat Keramik (Al/SiC) Dicampur Kayu dengan Metode Metalurgi Serbuk*. Jakarta : UIN Syarif Hidayatullah Jakarta.
- Reinhart T.J., 1987. *ASM Handbook vol.1 Reprinted with Permission from Engineered Materials*. Composites, ASM International.
- Schwartz, MM., 1984. *Composite Materials Handbook*. McGraw Hill Inc, New York.
- Smallman, R.E., 1991. *Metalurgi Fisik Modern Edisi Keempat*. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Smith, William F., 1993. *Foundations of Material Science and Engineering*. McGraw Hill International Edition. Orlando, Florida.
- Sriwidarto. 1996. *Petunjuk Kerja Las*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Surdia, T. Dan Shinroku, S., 1992. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Pradnya Paramita. Jakarta.
- Taufikurrahman. 2013. *Effect of The Pressure of the Squeeze Process on the Hardness and Micro Structure of Recycled Aluminum Materials*. Indonesia : Sriwijaya University
- Van Vlack, L. H., 1989. *Ilmu dan Teknologi Bahan-bahan (Logam dan Bukan Logam)*, Edisi kelima, Erlangga, Jakarta.
- Voort, G.F.V., 2000. *ASM Handbook vol. 8 Mechanical Testing and Evaluation*. Buehler: ASM International.
- Wiyono, Peter., 2014. *Pengaruh Aging Treatment Terhadap Cacat Permukaan dan Distribusi Kekerasan Silinder Al-Mg-Si Pada Squeeze Casting*. Malang: Universitas Brawijaya.

Lampiran 1. Dokumentasi Penelitian

Proses Pembagian Fraksi Berat *E-glass*



Proses *Sand Blasting*



Burner



Squeeze Casting



Stir Casting



Dapur dan pengukuran rpm poros



Quenching



Uji kekerasan & mikrostruktur



Lampiran 2. Foto Spesimen Al6061 – E-glass Hasil Squeeze Casting dan Aging Treatment

Spesimen variasi E-glass 0wt%



Spesimen variasi E-glass 5wt%



Spesimen variasi E-glass 7,5wt%



Spesimen variasi E-glass 10wt%



Lampiran 3. Foto Spesimen Uji Kekerasan

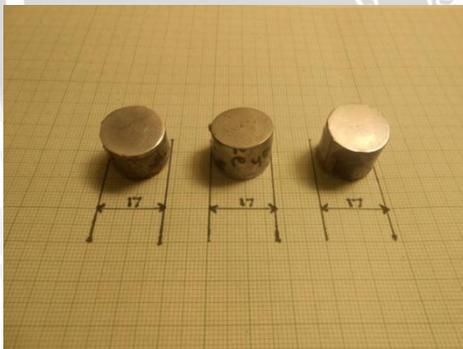
Spesimen uji kekerasan variasi *E-glass* 0wt%



Spesimen uji kekerasan variasi *E-glass* 5wt%



Spesimen uji kekerasan variasi *E-glass* 7,5wt%



Spesimen uji kekerasan variasi *E-glass* 10wt%

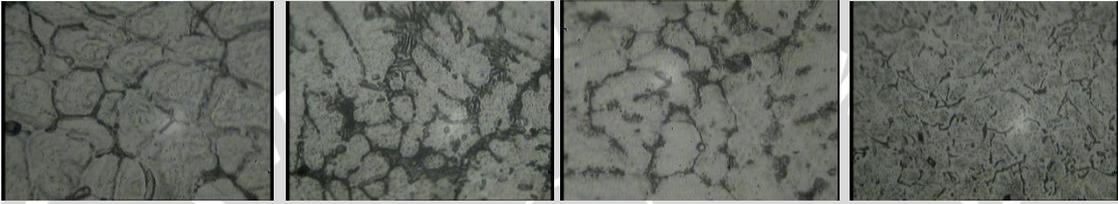


Lampiran 4. Foto Mikrostruktur

Al6061 tanpa *Squeeze Casting* dan *Aging Treatment*



Aging Treatment penampang atas



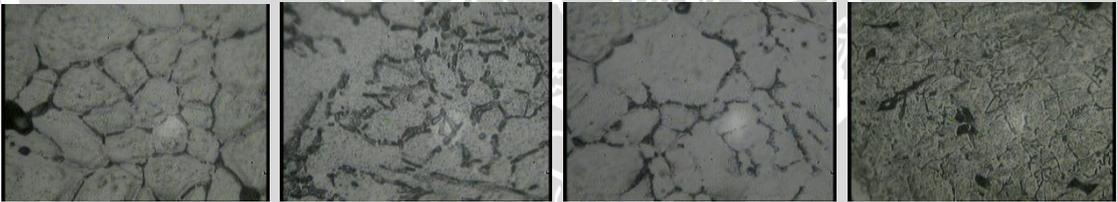
0wt%

5wt%

7,5wt%

10wt%

Aging Treatment penampang tengah



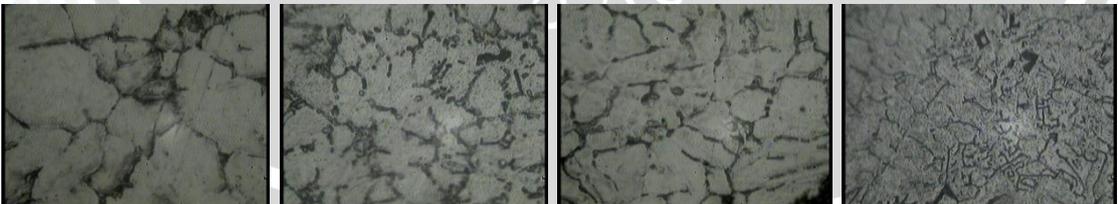
0wt%

5wt%

7,5wt%

10wt%

Aging Treatment penampang bawah



0wt%

5wt%

7,5wt%

10wt%

Lampiran 5. Foto SEM (Scanning Electro Microscope)

Foto SEM serat *E-glass* perbesaran 1500 kali

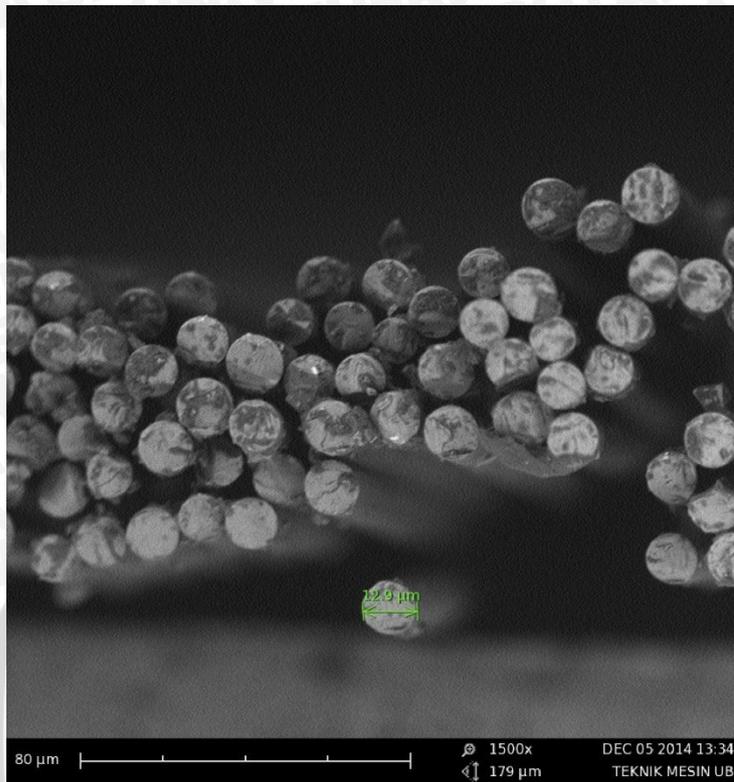


Foto SEM rongga pada variasi *E-glass* 10wt% perbesaran 250 kali



Foto SEM rongga pada variasi *E-glass* 10wt% perbesaran 500 kali

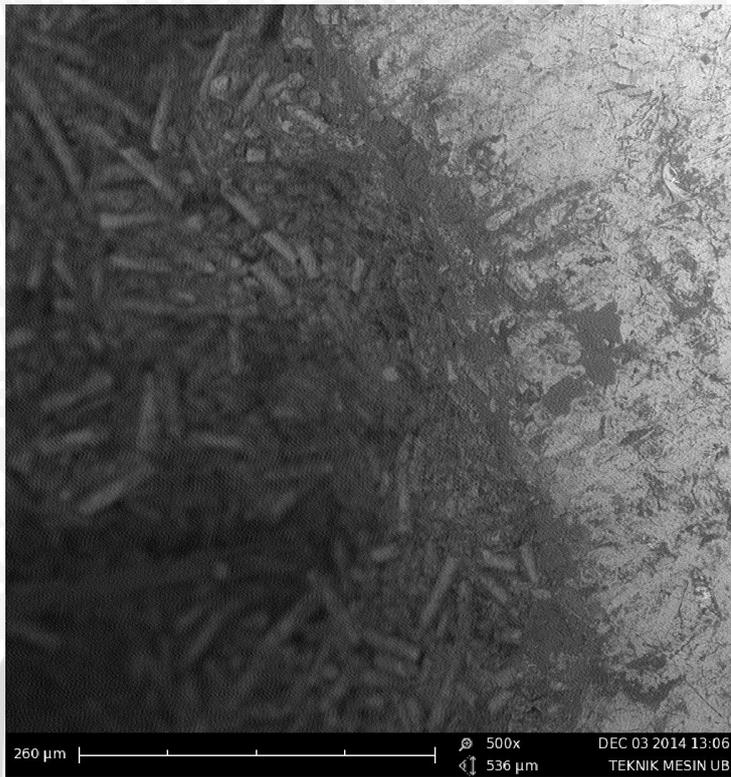
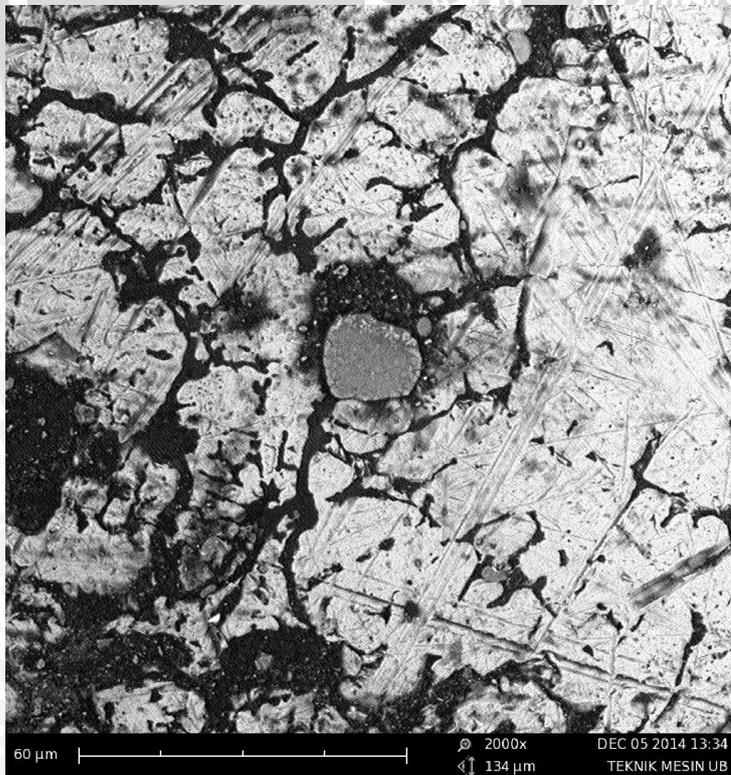


Foto SEM rongga pada variasi *E-glass* 5wt% perbesaran 500 kali



Lampiran 6. Uji Komposisi Aluminium

Uji Komposisi Bahan


122804
PT.H.P.METALS INDONESIA

Method: AI-SS-6063 5/8/2014 11:03:28 AM
 Comment: AI-Base SS-6063 Element Concentration
 Sample No.: **3** Sample ID:

	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti
	%	%	%	%	%	%	%	%
1	0.538	0.341	0.218	0.0313	0.811	0.0679	0.0530	0.0145
2	0.541	0.335	0.218	0.0313	0.804	0.0679	0.0507	0.0144
3	0.530	0.322	0.213	0.0316	0.802	0.0679	0.0499	0.0144

	Na	Ca	Ni	Pb	P	Sn	Sb	Sr
	%	%	%	%	%	%	%	%
1	0.0064	0.00073	0.0069	0.0032	0.00052	0.00068	0.0018	0.00014
2	0.0071	0.00070	0.0068	0.0031	0.00055	0.00066	0.00075	< 0.00010
3	0.0050	0.00057	0.0067	0.0030	0.00060	0.00066	0.00088	< 0.00010

	Be	Zr	Bi	Cd	Al			
	%	%	%	%	%			
1	0.00006	0.0016	< 0.00030	0.0012	97.9			
2	0.00006	0.0015	< 0.00030	0.0012	97.9			
3	0.00006	0.0015	< 0.00030	0.0012	97.9			


122804
PT.H.P.METALS INDONESIA

Method: AI-SS-6063 5/8/2014 11:03:28 AM
 Comment: AI-Base SS-6063 Element Concentration
 Sample No.: **3** Sample ID:

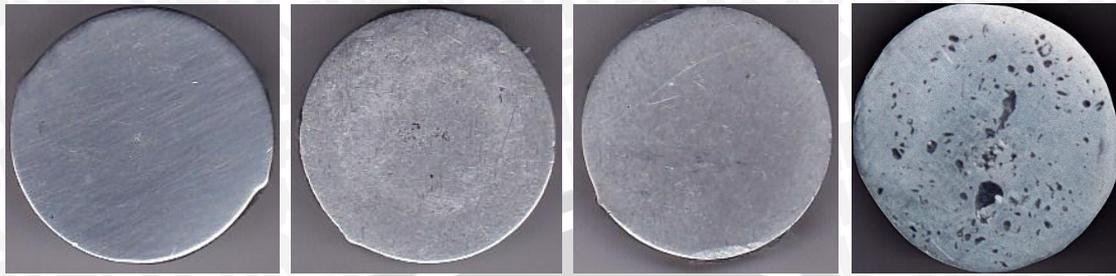
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti
	%	%	%	%	%	%	%	%
Ø (3)	0.536	0.333	0.216	0.0314	0.806	0.0679	0.0512	0.0145

	Na	Ca	Ni	Pb	P	Sn	Sb	Sr
	%	%	%	%	%	%	%	%
Ø (3)	0.0061	0.00066	0.0068	0.0031	0.00056	0.00067	0.0012	0.00011

	Be	Zr	Bi	Cd	Al			
	%	%	%	%	%			
Ø (3)	0.00006	0.0015	< 0.00030	0.0012	97.9			

Lampiran 7. Foto Makro Spesimen

Foto Makro Spesimen Penampang Atas



0wt%

5wt%

7,5wt%

10wt%

Foto Makro Spesimen Penampang Tengah



0wt%

5wt%

7,5wt%

10wt%

Foto Makro Spesimen Penampang Bawah



0wt%

5wt%

7,5wt%

10wt%