

**PENGARUH AGING TREATMENT TERHADAP POROSITAS DAN KEKUATAN
LENTUR PRODUK SILINDER Al-Mg-Si HASIL SQUEEZE CASTING**

**SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI**

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh :

**HILMI IMAN FIRMANSYAH
NIM. 0910620057-62**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

FAKULTAS TEKNIK

JURUSAN MESIN

MALANG

2014

LEMBAR PERSETUJUAN

**PENGARUH AGING TREATMENT TERHADAP POROSITAS DAN
KEKUATAN LENTUR PRODUK SILINDER Al-Mg-Si HASIL SQUEEZE
CASTING**

**SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI**



Disusun Oleh :

**HILMI IMAN FIRMANSYAH
NIM. 0910620057-62**

Telah diperiksa dan disetujui oleh

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

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

**Tjuk Oerbandono, Ir., MSc.CSE
NIP. 19670923 199303 1 002**

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH AGING TREATMENT TERHADAP POROSITAS DAN
KEKUATAN LENTUR PRODUK SILINDER Al-Mg-Si HASIL SQUEEZE
CASTING**

**SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh :

**HILMI IMAN FIRMANSYAH
NIM. 0910620057-62**

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
Tanggal 3 Januari 2014

DOSEN PENGUJI

Skripsi I

Skripsi II

Dr. Ir. Wahyono Suprpto, MT., Met
NIP. 19551117 198601 1 001

Ir. Erwin Sulisty, MT
NIP. 19661213 199802 1 001

Komprehensif

Khairul Anam, ST., MSc,
NIP. 861127 06 3 1 0032

Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Mesin

Dr. Eng. Nurkholis Hamidi, ST., M. Eng.
NIP. 19740121 199903 1 001

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang senantiasa melimpahkan berkat dan rahmat-Nya sehingga penyusun dapat menyelesaikan skripsi ini 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 Aging Treatment Terhadap Porositas dan Kekuatan Lentur Produk Silinder Al-Mg-Si Hasil Squeeze Casting”**.

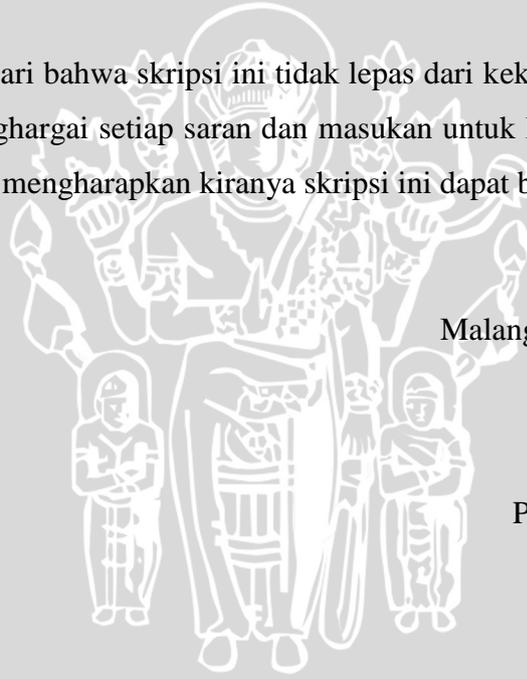
Skripsi ini tidak dapat diselesaikan dengan baik tanpa bantuan, bimbingan, serta motivasi dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada:

- Bapak Dr.Eng. Nurkholis Hamidi , ST., M.Eng., selaku Ketua Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- Bapak Purnami, ST., MT., selaku Sekretaris Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- Bapak Ir. Tjuk Oerbandono, M.Sc., CSE., selaku Ketua Konsentrasi Teknik Produksi Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya dan dosen pembimbing kedua
- Bapak Dr. Eng. Yudy Surya Irawan, ST., M.Eng., selaku dosen pembimbing pertama
- Bapak Ir. Djoko Sutikno, M. Eng selaku dosen wali yang selalu memberi masukan saat perkuliahan.
- Bapak Gatot Siswanto, selaku Laboran Laboratorium Pengecoran Logam Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- Seluruh dosen, staf dan karyawan Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- Keluarga Besarku yang ada di Desa Ketawanggede, kec. Lowokwaru, Malang
- Ayah (Wirawan), Ibu (Siti Fatimah), dan adikku (Fiqi Iman Darmawan) yang telah memberi semangat dan doa pada semua yang penulis lakukan.
- Rekan-rekan Keluarga Besar Mahasiswa Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, khususnya Mesin angkatan 2009 (BLACK MAMBA).

- Keluarga Besar Laboratorium Pengecoran Logam Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- Keluarga besar divisi AEROKREASI Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- Sobat skripsi (Anditya Adi, Petter Wiyono Arfian Hardianto), terimakasih telah berjuang bersama menyelesaikan skripsi ini dari awal sampai akhir. Semoga sukses untuk kita semua.
- Dyah Ayu Angreini, terimakasih segala bentuk dukungan dan doamu selama ini.
- Pak Rofik, selaku teknisi bengkel Teknik Mesin Politeknik Negeri Malang.

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 2014

Penyusun

DAFTAR ISI

PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR LAMPIRAN	viii
RINGKASAN	ix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah	3
1.4. Tujuan Penelitian	3
1.5. Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1. Penelitian Sebelumnya	4
2.2. Pengecoran Logam	5
2.3. Pengecoran <i>Squeeze</i>	8
2.3.1 <i>DSC Direct Squeeze Casting</i>	8
2.3.2 <i>ISC Indirect Squeeze Casting</i>	9
2.3.3 Parameter Pengecoran <i>Squeeze</i>	9
2.3.4 Aplikasi Pengecoran <i>Squeeze</i>	10
2.4. Pembekuan Logam	11
2.4.1 Pembekuan Logam Murni	11
2.4.2 Pembekuan Logam Paduan	12
2.5. Alumunium	12
2.5.1 Pengolahan Alumunium	12
2.5.2 Sifat-sifat Alumunium	13
2.5.3 Aluminium Paduan	14
2.6. <i>Aging Treatment</i>	15
2.6.1 <i>Artificial Aging</i>	15
2.6.2 <i>Natural Aging</i>	16
2.6.3 <i>Precipitation Hardening</i>	16
2.7. Pengujian Porositas	18



2.7.1 Porositas dalam Pengecoran Logam	18
2.7.2 Perhitungan Porositas	19
2.7.3 Densitas.....	19
2.7.3.1 Macam Densitas	19
2.7.4 Pengukuran Densitas Dengan Menggunakan Piknometri	20
2.8. Pengujian Lentur (<i>Bending Test</i>)	21
2.8.1 Sudut Lentur	21
2.8.2 Macam-Macam Pengujian Lentur	21
2.8.3 Tegangan Bending Maksimal	23
2.9. Hipotesa	23
BAB III METODE PENELITIAN.....	23
3.1. Tempat dan Waktu Penelitian.....	25
3.2. Variabel Penelitian.....	25
3.3. Peralatan dan Bahan yang Digunakan	26
3.4 Instalasi Penelitian	27
3.5. Dimensi Cetakan.....	28
3.6 Dimensi Produk	28
3.7 Dimensi Spesimen Uji Kekuatan Lentur	28
3.8 Instalasi Alat Uji Kekuatan Lentur	29
3.9 Prosedur Penelitian	29
3.9.1 Prosedur Pengecoran	29
3.9.2 Prosedur <i>Artificial Aging Treatment</i>	30
3.9.3 Prosedur Pengujian Porositas	31
3.9.4 Prosedur Pengujian Lentur	32
3.10 Diagram Alir Penelitian.....	33
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	35
4.1. Data Hasil Pengujian	35
4.1.1 Data Hasil pengujian Porositas	35
4.1.1.1 Perhitungan Hasil <i>True Density</i>	35
4.1.1.2 Perhitungan Hasil <i>Apparent Density</i>	36
4.1.2 Data Defleksi Rata-Rata Hasil Pengujian Bending	36
4.1.3 Data Tegangan <i>Bending</i> Maksimal hasil Pengujian	37
4.2. Pembahasan	38
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	41

5.1. Kesimpulan	41
5.2. Saran	41

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Sifat-Sifat Fisik Aluminium	13
Tabel 4.1	Data Pengujian Porositas	35
Tabel 4.2	Perhitungan Densitas Unsur dan Prosentase Berat	35
Tabel 4.3	Defleksi Pengujian <i>Bending</i>	36
Tabel 4.4	Tegangan <i>Bending</i> Maksimal Hasil Pengujian Pengujian.	37

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

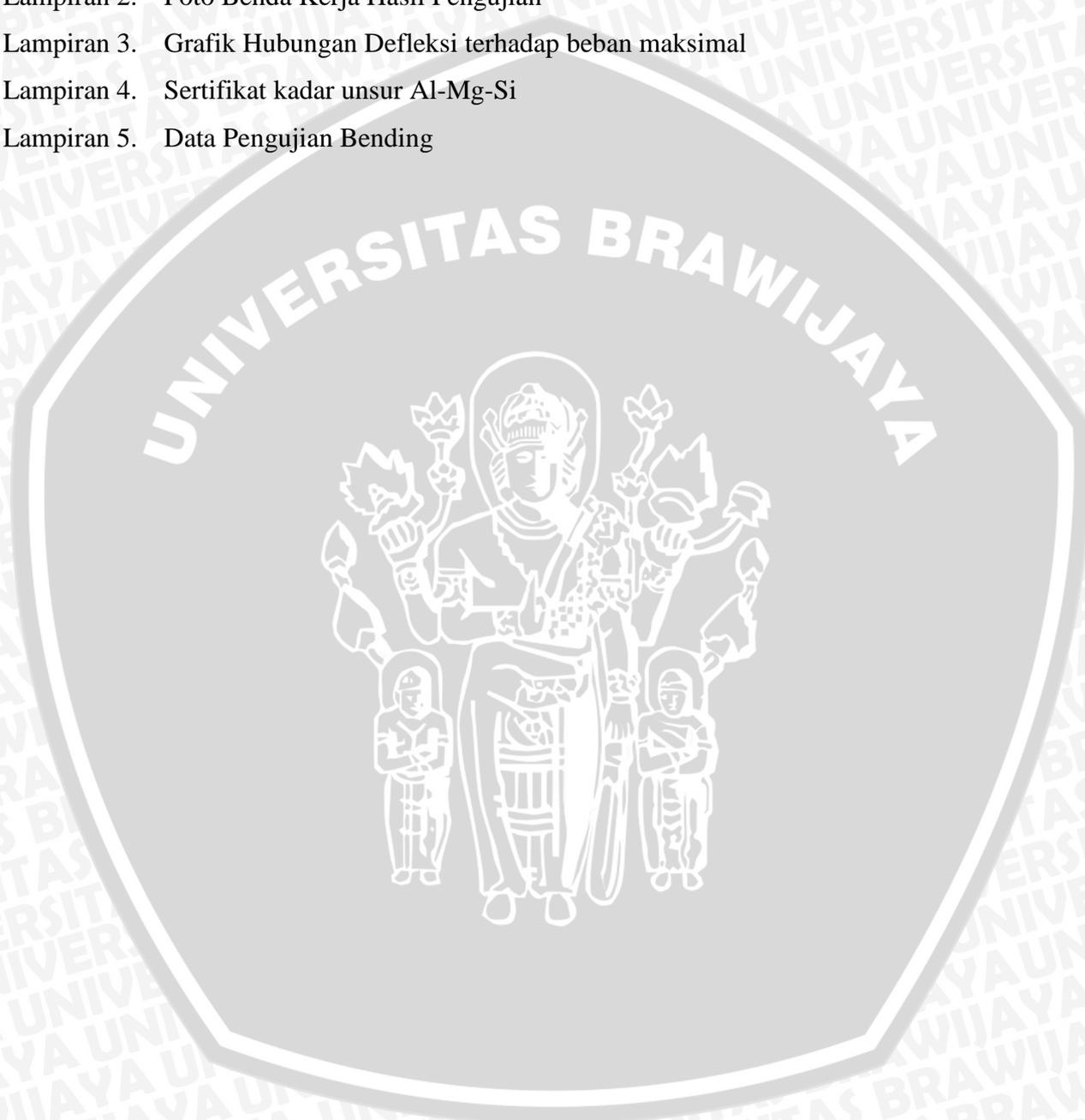


DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Skema <i>Direct Squeeze Casting</i>	9
Gambar 2.2	Skema <i>Indirect Squeeze Casting</i>	9
Gambar 2.3	Berbagai jenis part <i>ferrous</i> dan <i>non-ferrous</i> yang dibuat menggunakan pengecoran <i>Squeeze</i>	11
Gambar 2.4	Ilustrasi Skematis Dari Pembekuan Logam	11
Gambar 2.5	Diagram Fasa	16
Gambar 2.6	Struktur butiran <i>single-phase solid solution</i>	17
Gambar 2.7	Struktur butiran <i>super saturated solid solution</i>	17
Gambar 2.8	Struktur Atom <i>Precipitation Hardening</i>	18
Gambar 2.9	Skema Piknometri	20
Gambar 2.10	Skema <i>Free Bend Test</i>	21
Gambar 2.11	Skema <i>Guided Bend Test</i>	22
Gambar 2.12	Skema <i>Semi-Guided Bend</i>	22
Gambar 2.13	<i>Three-Point Loading</i>	23
Gambar 3.1	Instalasi Penelitian	27
Gambar 3.2	<i>Plunger</i> dan Cetakan	27
Gambar 3.3	Dimensi Cetakan	28
Gambar 3.4	Dimensi Produk	28
Gambar 3.5	Dimensi Spesimen Uji Kekuatan Lentur	29
Gambar 3.6	Instalasi Alat Uji Lentur	29
Gambar 3.7	Grafik <i>Heat Treatment</i>	31
Gambar 3.8	Skema <i>Guided Bend Test</i>	32
Gambar 3.9	Diagram Alir Penelitian	34

DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul
Lampiran 1.	Foto Proses Penelitian
Lampiran 2.	Foto Benda Kerja Hasil Pengujian
Lampiran 3.	Grafik Hubungan Defleksi terhadap beban maksimal
Lampiran 4.	Sertifikat kadar unsur Al-Mg-Si
Lampiran 5.	Data Pengujian Bending



RINGKASAN

Hilmi Iman Firmansyah, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Januari 2014, *Pengaruh Aging Treatment Terhadap Porositas dan Kekuatan Lentur Produk Silinder Al-Mg-Si Hasil Squeeze Casting*, Dosen Pembimbing: Yudy Surya Irawan dan Tjuk Oerbandono.

Squeeze Casting termasuk salah satu metode pengecoran logam. *Squeeze casting* adalah proses pengecoran logam dimana logam cair dibekukan dibawah tekanan eksternal yang relative tinggi. *Squeeze Casting* menurut prosesnya dibedakan menjadi dua yaitu DSC (*Direct Squeeze Casting*) dan ISC (*Indirect Squeeze Casting*). DSC adalah proses pengecoran logam dimana logam cair didinginkan melalui pemberian tekanan secara langsung yang diharapkan mampu mencegah munculnya porositas gas dan penyusutan. ISC adalah injeksi logam cair ke dalam cetakan menggunakan piston kecil dimana mekanisme penekan ini dipertahankan sampai logam cair membeku.

Aging Treatment 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 di matriks nya yang nantinya akan meningkatkan kekuatan material tersebut. *Aging Treatment* itu sendiri dibagi menjadi dua, yaitu *Natural Aging* dan *Artificial aging*.

Dalam penelitian ini dibahas tentang pengaruh *aging treatment* dengan variasi suhu 100°C, 125°C, 150°C, 175°C dan 200°C terhadap cacat porositas dan kekuatan lentur hasil coran yang berbentuk silinder dengan bahan alumunium paduan Al-Mg-Si. Setelah dilakukannya penelitian ini didapatkan hasil berupa semakin tinggi suhu *aging* porositas yang dihasilkan semakin kecil namun semakin tinggi suhu *aging* kekuatan lenturnya semakin meningkat.

Semakin menurunnya prosentase porositas dikarenakan Semakin tinggi suhu *aging* maka semakin cepat atom tersebut untuk menyebar, sehingga akan lebih cepat membentuk struktur butiran yang padat, yang memungkinkan kecilnya udara yang terperangkap dalam coran dan menyebabkan porositas semakin turun. Hal ini dapat dilihat dari nilai prosentase porositas rata-rata yang semakin menurun seiring meningkatnya suhu *aging* yaitu, 0,4%; 0,39%; 0,37%; 0,31%; 0,27%. *Aging treatment* juga menyebabkan hasil coran yang dihasilkan akan semakin kuat sehingga nilai kekuatan lentur juga akan semakin tinggi. Nilai kekuatan lentur rata-rata yang dihasilkan adalah 315,66 MPa, 322,84 MPa, 349,15 MPa, 406,56 MPa dan 461,57 MPa.

Kata Kunci : *squeeze casting*, cacat porositas, kekuatan lentur, *aging treatment*.

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Di era globalisasi sekarang ini, dimana teknologi sudah semakin maju dan menuntut agar modernisasi diberlakukan di segala bidang, terutama bidang industri. Berdampak pada semakin banyaknya ditemukan komponen-komponen industri yang memiliki kualitas unggulan, banyak diantaranya yang berbahan dasar aluminium. Aluminium dipilih sebagai bahan dasar dari komponen-komponen industri karena memiliki beberapa keunggulan. Beberapa sifat-sifat aluminium seperti berat jenisnya ringan (hanya $2,7 \text{ gr/cm}^3$, sedangkan besi $\pm 8,1 \text{ gr/cm}^3$), kekuatannya rendah tetapi pemaduan (*alloying*) kekuatannya bisa ditingkatkan, mampu dibentuk yang bagus, tahan korosi yang bagus, membuat aluminium menjadi kandidat ideal untuk mengganti material yang lebih berat (pada umumnya baja) didalam produk industri. Pengecoran logam adalah salah satu teknologi dalam menghasilkan atau memproduksi komponen-komponen industri berbahan material aluminium.

Sekarang ini sudah banyak metode yang digunakan dalam proses pengecoran logam, salah satunya adalah *squeeze casting*. *Squeeze casting* adalah salah satu metode pengecoran yang dapat digunakan untuk mendapatkan produk hasil yang presisi dan dapat memproduksi banyak produk. Pengecoran *squeeze* sering digambarkan sebagai suatu proses dimana logam cair dibekukan di bawah tekanan eksternal yang relatif tinggi. Proses ini pada dasarnya mengkombinasikan keuntungan-keuntungan pada proses *forging* dan *casting*. Pengecoran *squeeze* sering disebut juga penempaan logam cair (*liquid metal forging*). Proses pemadatan logam cair dilaksanakan 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*) (De Garmo, 1997:408).

Berdasarkan mekanisme pengisian logam cair ke cetakan pengecoran *squeeze casting* diklasifikasikan menjadi dua, yaitu :

1. DSC (*Direct Squeeze Casting*) merupakan proses pengecoran logam dimana logam cair langsung dituang ke cetakan dan diberikan tekanan.

2. ISC (*Indirect Squeeze Casting*) merupakan proses pengecoran logam dimana logam cair tidak langsung dituang melainkan dibantu dengan piston untuk masuk ke cetaknya.

Dan metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah DSC (*Direct Squeeze Casting*).

Akhir-akhir ini teknologi pengolahan bahan berkembang sangat pesat. Terutama dalam bidang industri banyak sekali dijumpai komponen-komponen yang berbahan aluminium. Seperti yang telah diketahui mengapa aluminium banyak digunakan sebagai material komponen industri karena sifat mekanik aluminium yang tahan korosi, berat jenis yang ringan, dan mudah dibentuk. Salah satunya adalah Al-Mg-Si. Namun material ini memiliki beberapa kekurangan pada sifat mekaniknya, diantaranya adalah kekuatan. kekuatan bahan aluminium murni sangatlah rendah. Oleh karena itu perlu adanya perlakuan panas yang bertujuan untuk memperbaiki sifat mekaniknya tersebut, Perlakuan panas ini disebut *precipitation hardening (aging treatment)*. *Precipitation hardening (Aging treatment)* 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 di matriksnya yang nantinya akan meningkatkan kekuatan material tersebut.

Kekuatan lentur adalah suatu nilai yang konstan dan merupakan perbandingan antara tegangan dan regangan dibawah batas proporsi. Tegangan didefinisikan sebagai distribusi gaya per satuan luas, sedangkan regangan adalah perubahan panjang per unit panjang bahan.

Dalam penelitian ini aluminium Al-Mg-Si diberi perlakuan panas *aging treatment*. Dengan tujuan ingin mengetahui apakah *aging treatment* pada aluminium Al-Mg-Si hasil *squeeze casting* dapat mempengaruhi sifat mekaniknya pada saat di uji lentur.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, permasalahan yang akan diungkap dalam dalam penelitian kali ini adalah “Bagaimana pengaruh *aging treatment* terhadap porositas dan kekuatan lentur silinder Al-Mg-Si pada *squeeze casting*”

1.3 Batasan Masalah

Agar permasalahan tidak terlalu meluas, maka perlu dilakukan batasan-batasan sebagai berikut :

1. Pembahasan difokuskan pada porositas dan kekuatan lentur produk
2. Spesifikasi bahan adalah aluminium paduan Al-Mg-Si
3. Temperatur peleburan aluminium hingga 900°C
4. Kecepatan penuangan dijaga konstan
5. Proses pengecoran dikondisikan sesuai dengan standar prosedur
6. Temperatur cetakan 150°C
7. Tekanan *plunger* adalah 75 MPa
8. *Artificial aging* temperatur 100°C, 125°C, 150°C, 175°C, 200°C

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin diperoleh dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh *aging treatment* terhadap porositas dan kekuatan lentur silinder Al-Mg-Si hasil *squeeze casting*.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mampu menerapkan teori yang didapat pada saat perkuliahan terutama yang berkenaan dengan proses pengecoran logam
2. Memberikan masukan yang bermanfaat dalam industri pengecoran logam terutama untuk peningkatan kualitas hasil coran
3. Memberikan referensi tambahan bagi penelitian mengenai pengecoran logam
4. Memberikan referensi tambahan mengenai proses pengecoran logam dengan perlakuan panas.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Duskiardi, et al. (2002) melakukan riset tentang “Pengaruh Tekanan dan Temperatur Die Proses *Squeeze Casting* Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro pada Material Piston Komersial Lokal”. Riset yang dihasilkan adalah hasil produk *squeeze casting* terutama sifat kekerasan mengalami peningkatan sebesar 5,29% setelah dilakukan perlakuan panas dengan T6. Dalam penelitian ini belum dilakukan penelitian tentang *aging treatment* dan kekuatan impact serta cacat porositas.

Dimas Eka (2012) melakukan penelitian tentang “Pengaruh Tekanan *Plunger* Terhadap Porositas dan Kelelahan Produk Silinder Al-Mg-Si Hasil *Squeeze Casting*”. Penelitian yang dihasilkan adalah bahwa dengan semakin bertambahnya tekanan *plunger* berpengaruh terhadap porositas dan kekuatan leleh hasil coran dari pengecoran *squeeze*. Dengan semakin bertambahnya tekanan *plunger*, maka prosentase porositas menurun karena udara terdesak keluar cetakan. Kekuatan leleh semakin naik seiring dengan bertambahnya tekanan *plunger* karena mengakibatkan struktur butiran semakin kecil sehingga hasil coran mampu menahan beban secara berulang.

Chee Fai Tan dan Mohamad R. Said (2009) melakukan penelitian kekerasan pada paduan aluminium 6061-T6 dengan *precipitation hardening*. Dengan memvariasikan suhu *aging* antara 175 – 420^oC dan waktu yang berbeda. Dari hasil penelitiannya terlihat bahwa ada pengaruh *precipitation hardening* terhadap kekerasan spesimen. Dihasilkan kekerasan optimal pada *precipitation hardening* antara suhu 175 – 195^oC dengan lama waktu 2 – 6 jam. Pada penelitian ini, spesimen tidak menggunakan hasil dari *squeeze casting*.

R. Ehsani dan S.M Seyed Reihani (2004) melakukan penelitian tentang “*Aging Behaviour and tensile Properties of squeeze Cast Al 6061/SiC Metal Matrix Composites*”. Penelitian ini menganalisa komposit Al 6061/SiC hasil dari *squeeze casting*. SiC *performs* dibuat dengan mencampur bubuk SiC yang memiliki ukuran partikel 16 dan 22 μm dengan koloid Al silika sebagai pengikat. Al6061 yang melebur diinjeksikan dengan *squeeze casting* ke dalam pori-pori dari SiC *performs* untuk dibuat sebuah DRA komposit yang mengandung 30 v/o penguatan. Perlakuan

aging, sifat tarik, dan mekanisme patahan dari pengecoran logam juga dipelajari. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa kekerasan yang tinggi, kekuatan luluh, kekuatan tarik, dan *modulus young* dapat diperoleh dengan menambahkan partikel SiC ke campuran Al6061, sedangkan perpanjangan tariknya menurun.

Toto Rusianto dan Lilik Dwi Setyana (2005) melakukan penelitian mengenai aluminium serbuk sebagai matrik dan TiO₂ dengan metode metalurgi serbuk. Menggunakan kompaksi sebesar 400 dan 500 Mpa dan proses sinter pada suhu 550°C selama 2 jam, dengan penambahan variasi penguat 0, 2, 4, 6 dan 8 % berat TiO₂ dengan pengujian *bending* dan kekerasan *brinell*. Hasil penelitian menunjukkan kekerasan dan kekuatan *bending* meningkat seiring meningkatnya kompaksi. Komposisi optimal yaitu pada komposisi Al/ TiO₂ 4% berat, dengan kekuatan *bending* sebesar 82 kg/mm² dan kekerasan 42 BHN pada pembentukan dengan kompaksi sebesar 500 MPa.

2.2 Pengecoran Logam

Pada dasarnya pengecoran logam adalah mencairkan logam dalam dapur kemudian menuangkan logam cair yang telah lebur tersebut kedalam sebuah cetakan, dan tentunya cetakan tersebut memiliki kemampuan untuk tahan terhadap temperatur tinggi dengan membentuk rongga cetakan (*cavity*) sesuai bentuk logam yang di buat, kemudian dibiarkan dingin sampai membeku. Ada beberapa hal yang perlu dilakukan dalam pengecoran logam diantaranya membuat cetakan, pencairan logam, pembersihan logam, dan pemeriksaan hasil coran, Keuntungan proses pengecoran logam dibanding proses pembentukan logam adalah :

- Dapat membuat bentuk yang kompleks, baik di bagian luar maupun bagian dalam, sehingga banyak proses yang dapat diminimalisir.
- Dapat digunakan untuk produksi massal.
- Dapat membuat benda dengan ukuran yang sangat besar dan berat.
- Beberapa sifat mekanik yang lebih baik bisa diperoleh dengan proses pengecoran.
- Sangat ekonomis.

Proses pengecoran berdasarkan cetakannya dikelompokkan menjadi dua, yaitu:

- *Expandable mold casting*.
- *Permanent mold casting*.

Expandable mold casting adalah cetakan yang harus dibuat setiap akan melakukan proses pengecoran atau cetakan tersebut dapat didaur ulang. Bahan cetakan umumnya adalah pasir, gips, keramik, dan material sejenis yang dicampur dengan bahan pengikat. *Permanent mold casting* adalah pengecoran dengan cetakan tetap, bahan cetakan umumnya terbuat dari baja atau logam tahan panas yang lain. Berdasarkan metode pengecorannya, maka proses pengecoran dapat dibagi menjadi:

1. *Permanent Mold Casting*

Proses ini biasa digunakan untuk produksi massal dan umumnya cetakannya lebih besar daripada *pressure diecasting*, dengan berat *part* maksimum sekitar 10 kg.

Memiliki komponen yang lebih murah daripada *pressure diecasting*. Intinya dapat menggunakan pola yang kompleks. Dengan menggunakan gaya gravitasi untuk menuangkan logam cair sehingga kecepatan penuangannya relatif rendah. Cetakan yang berbahan logam akan mempercepat proses pembekuan. Proses ini bisa menghasilkan hasil coran yang memiliki sifat mekanik yang baik, serta bisa menggunakan perlakuan panas untuk meningkatkan sifat mekaniknya. Untuk sifat mekanik yang maksimal, pemanasan hingga fase cair-padat, dilanjutkan dengan *quenching*, dan penuaan (*aging*) baik secara alami maupun buatan.

2. *Sand Casting* (cetakan pasir)

Proses pembuatan cetakannya dengan cara memadatkan pasir diatas pola, sehingga ketika pola dicabut akan membentuk rongga cetakan. Kemudian Logam cair di tuang ke dalam cetakan, dan setelah membeku cetakannya dapat dihancurkan. Jika ingin membuat cetakan yang serbaguna dan biaya murah serta dapat diuganakan dengan berbagai paduan sangat cocok untuk menggunakan proses ini. Namun proses ini memiliki kekurangan yaitu hasil coran kurang presisi dan cenderung kasar permukaannya. Keuntungannya ada pada fleksibilitas dari jumlah coran, yaitu bisa sedikit atau banyak.

3. *Shell Mould Casting*

Cetakan ini dibuat dari campuran resin dengan pasir dengan ketebalan 10-20 mm. Bila dibandingkan dengan cetakan pasir hasil corannya lebih bagus proses ini, permukaan coran lebih halus atau rata dan dimensinya lebih presisi. Akan tetapi komponennya relatif mahal dan polanya tidak bisa terlalu kompleks.

4. *Investment Casting*

Proses ini intinya menggunakan cetakan dari bahan refraktori yang dibentuk pada pola dari lilin atau bahan *thermoplastic*. Adonan refraktori dituang pada pola yang berbahan lilin dan dibiarkan mengering kemudian pola tersebut dikeluarkan dengan cara dipanaskan. Logam kemudian dituang ke dalam cetakan yang terbakar. Produk yang dihasilkan hampir tidak perlu dilakukan proses permesinan lagi. Dengan menghasilkan produk cor yang presisi dimensinya dan permukaan yang halus. Bisa digunakan untuk membuat komponen *engineering* yang presisi.

5. *Plaster Casting*

Cetakan dibuat dari bahan gips. Adonan gips dituang di sekitar pola, dibakar, kemudian pola diambil dari cetakan. Cetakan bisa dipakai lagi dan memungkinkan coran dibuat dengan detail yang cukup akurat. Permukaan coran yang dihasilkan cukup halus. Walaupun biaya peralatan murah tetapi biaya operasinya tinggi.

6. *Pressure Die Casting*

Proses ini sangat cocok untuk produksi massal *part-part* dengan ukuran yang kecil. Berat dari *part-part* tersebut bisa mencapai 5 kg. Dibagi menjadi 2 berdasarkan prosesnya yaitu :

- *High Pressure Diecasting*

Proses ini dilakukan dengan cara memasukkan logam cair ke dalam cetakan dengan tekanan dibawah tekanan atmosfer. Dengan mengkombinasikan pemasukan logam yang cepat dan pembekuan yang cepat dalam tekanan yang tinggi akan menghasilkan produk yang padat dan memiliki permukaan yang halus, sehingga sifat mekaniknya menjadi lebih baik.

- *Low Pressure Diecasting*

Pada proses ini logam cair dimasukkan ke dalam cetakan pada tekanan mencapai 170 kPa. Jika ingin memproduksi plat tipis lebih baik menggunakan proses ini.

7. *Centrifugal Casting* (Pengecoran Sentrifugal)

Pengecoran sentrifugal adalah pengecoran dengan metode logam cair dituangkan ke dalam cetakan yang berputar dengan kecepatan tertentu, sumbu putar posisi horizontal, vertikal atau dengan kemiringan yang sesuai. Cetakan

dapat dibuat dari baja, gips, dan besi cor. Pengecoran dengan metode ini memiliki keterbatasan, yaitu bentuk dan ukuran dari produk yang akan dihasilkan dan biayanya tinggi.

2.3 Pengecoran Squeeze (Squeeze Casting)

Pengecoran squeeze bisa dikatakan sebagai suatu proses dimana logam cair dibekukan dibawah tekanan eksternal yang relatif tinggi. Proses ini mengkombinasikan keuntungan-keuntungan pada proses *forging* dan *casting*.

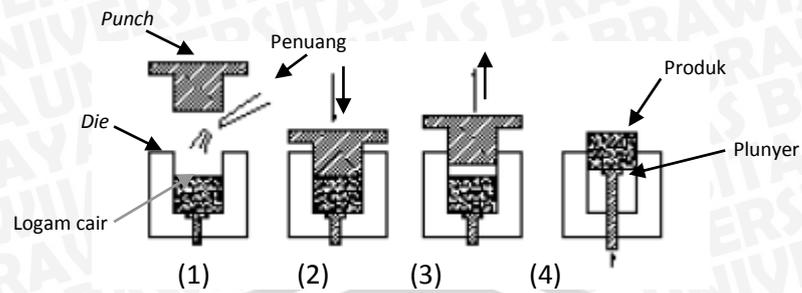
Pengecoran squeeze bisa disebut juga dengan penempaan logam cair (*liquid metal forging*). Proses pemadatan logam cair dilakukan didalam cetakan dan diberi tekanan bertenaga hidrolis. Penekanan logam cair oleh permukaan cetakan akan menghasilkan perpindahan panas dan menghasilkan penurunan porositas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

Hasil proses penempaan logam cair adalah produk yang mendekati ukuran standarnya (*near-net shape*) dengan kualitas yang baik. Sedangkan struktur mikro hasil pengecoran *squeeze* tampak lebih padat dibandingkan dengan hasil pengecoran dengan cara gravitasi. Hal ini terjadi karena kontak logam cair dengan permukaan cetakan memungkinkan terjadinya perpindahan panas yang cukup cepat sehingga menghasilkan struktur mikro yang homogen dengan sifat mekanik yang baik.

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

2.3.1 DSC (Direct Squeeze Casting)

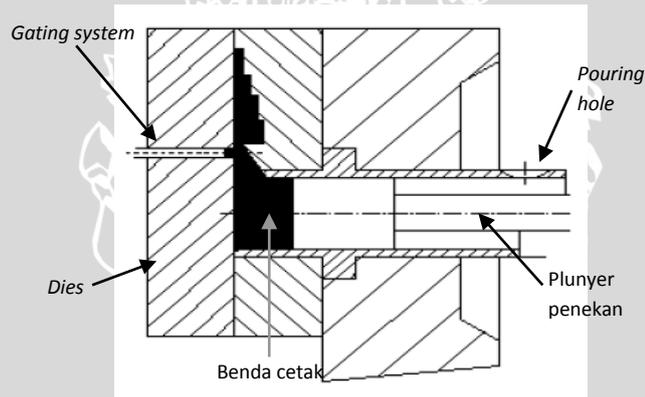
DSC merupakan suatu istilah untuk proses pengecoran dimana logam cair didinginkan melalui pemberian tekanan secara langsung yang diharapkan mampu mencegah munculnya porositas gas dan penyusutan. Dalam proses ini logam cair dimasukkan kedalam cetakan yang sudah dipanaskan dulu sebelumnya kemudian logam cair yang sudah diisi kecetakan tersebut langsung diberi tekanan oleh *plunger*, seperti pada gambar 2.1 berikut :



Gambar 2.1 Skema *Direct Squeeze Casting*
 Sumber : Tjitro, S. 2000: 110

2.3.2 ISC (Indirect Squeeze Casting)

Istilah *indirect* digunakan untuk menggambarkan injeksi logam cair ke dalam cetakan menggunakan piston kecil dimana mekanisme penekan ini dipertahankan sampai logam cair membeku.



Gambar 2.2 Skema *Indirect Squeeze Casting*
 Sumber : Tjitro, S. 2000: 110

2.3.3 Parameter Pengecoran Squeeze

Ada beberapa variabel yang perlu diperhatikan untuk menghasilkan produk cor yang memenuhi syarat-syaart ideal :

- a) Volume Cairan Logam (*Melt Volume*)

Diperlukan kontrol yang akurat saat logam cair dituangkan ke dalam rongga cetak (*die cavity*).

- b) Temperatur Perkakas (*Tooling Temperature*)

Temperatur normal adalah 190–315°C. Umumnya temperatur *punch* diatur 15–30°C di bawah temperatur *die* terendah untuk memungkinkan adanya kelonggaran atau ventilasi yang memadai di antara keduanya

c) Waktu Tunggu (*Time Delay*)

Waktu Tunggu adalah lamanya waktu yang diukur mulai saat pertama logam cair dituangkan ke dalam rongga cetak hingga saat permukaan *punch* menyentuh dan mulai menekan permukaan logam cair.

d) Batas Tekanan (*Pressure Level*)

Rentang tekanan normal adalah 50–140 MPa, tergantung pada bentuk geometri komponen serta sifat mekanis yang dibutuhkan. Tetapi dimungkinkan tekanan minimum adalah 40 MPa.

e) Temperatur Tuang (*Casting Temperature*)

Temperatur ini tergantung pada jenis paduan dan bentuk coran/komponen. Biasanya temperatur tuang diambil 6–55°C di atas temperatur cair (*liquidus*).

f) Durasi Penekanan (*Pressure Duration*)

Durasi penekanan dihitung dari saat *punch* di titik terendah atau dasar sampai saat *punch* diangkat (penekanan dilepaskan). Produk cor dengan berat 9 kg, Durasi penekanannya bervariasi antara 30–120 detik. Tetapi biasanya durasi ini juga tergantung pada bentuk geometri coran yang diinginkan.

g) Pelumasan (*Lubrication*)

Pengecoran *squeeze* membutuhkan pelumas pada permukaan *dies* untuk memudahkan proses pengeluaran produk cor dari cetaknya. Untuk paduan aluminium, magnesium, dan tembaga, permukaan *dies* biasanya disemprot dengan pelumas *colloidal graphite*. Sedangkan *ferrous casting*, permukaan *dies* biasanya dilapisi dengan sejenis bahan keramik untuk mencegah efek pengelasan antara produk cor dengan permukaan *dies*.

h) Kecepatan Pengisian (*Filling Rate*)

Makin rendah kecepatan pengisian maka kemungkinan terjadi aliran laminernya besar

2.3.4 Aplikasi Pengecoran Squeeze

Proses pengecoran *squeeze* telah dipergunakan untuk sejumlah aplikasi menggunakan berbagai macam jenis logam dan paduan. Beberapa *part* ditunjukkan dalam Gambar 2.3 meliputi *aluminium dome*, *ductile iron mortar shell*, dan *steel bevel*

gear. Part-part lain yang telah dan sedang dicor dengan metode *squeeze* meliputi *stainless steel blades*, *superalloy disks*, *aluminum automotive wheels* dan piston, dan *gear blanks* yang terbuat dari *brass* dan *bronze*



Gambar 2.3 Berbagai Jenis Part *Ferrous* dan *Non-Ferrous* yang Dibuat Menggunakan Pengecoran *Squeeze*.

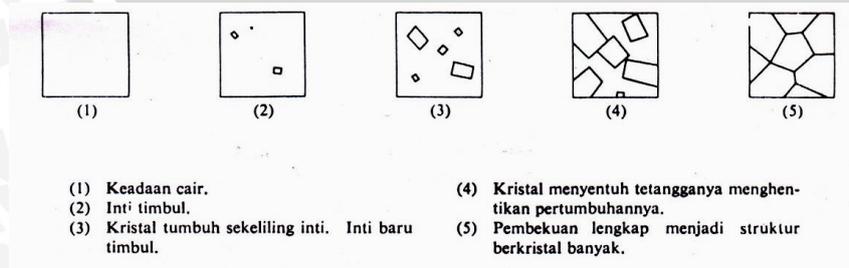
Sumber :ASM Handbook Vol. 9 Casting 1998: 718

2.4 Pembekuan Logam

2.4.1 Pembekuan Logam Murni

Jika logam cair murni perlahan-lahan didinginkan, maka pembekuan terjadi pada temperatur yang konstan. Temperatur ini disebut titik beku, yang khusus bagi logam. Sedangkan, titik leleh tembaga adalah 1.083°C , perak 961°C , aluminium 660°C dan timah 232°C .

Pada saat awal pembekuan logam cair tumbuh butir-butir kristal. Kemudian kerystal-kerystal tumbuh disekeliling inti-inti tersebut. Dan inti lain yang baru terbentuk pada saat yang sama. Akhirnya seluruhnya ditutupi oleh butir kristal sampai logam cair habis. Ini mengakibatkan seluruh logam menjadi susunan kelompok-kelompok butir kristal dan batas-batasnya yang terjadi diantaranya, disebut batas butir seperti pada gambar 2.4



Gambar 2.4 Ilustrasi Skematis Dari Pembekuan Logam

Sumber: Surdia, 1980 : 14

Ukuran butir kristal tergantung pada laju pengintian dan pertumbuhan inti. Jika laju pertumbuhan lebih besar dari laju pengintian, maka didapat kelompok butir-butir kristal yang besar dan sebaliknya jika laju pengintian lebih besar dari laju pertumbuhan ini, maka didapat kelompok butir-butir kristal kecil.

2.4.2 Pembekuan Logam Paduan

Jika logam yang terdiri dari dua unsur atau lebih didinginkan dari keadaan cair, maka butir-butir kristalnya akan berbeda dengan butir-butir kristal logam murni. Apabila suatu paduan yang terdiri dari komponen A dan komponen B membeku, maka sulit didapat susunan butir-butir kristal A dan kristal B tetapi umumnya didapat butir-butir kristal campuran dari keduanya. Apabila hal ini dipelajari secara rinci, ada dua hal yaitu pertama bahwa A larut dalam B atau B larut dalam A dan kedua, bahwa A dan B terikat satu sama lain dengan perbandingan tertentu. Hal pertama disebut larutan padat dan yang kedua disebut senyawa antar-logam. Larutan padat adalah keadaan dimana beberapa atom dari konfigurasi atom A didistribusikan oleh atom-atom B, dimana tidak merupakan campuran mekanis tetapi keadaan larut secara atom. Senyawa antar logam terdiri dari ikatan A dan B dan mempunyai kisi kristal yang berbeda dari A dan B. Selain dari dua hal tersebut diatas ada hal yang jarang dimana sebagian kecil dari keduanya atau salah satu dari A dan B muncul dalam keadaan murni.

Dengan demikian maka struktur paduan dapat terdiri dari tiga macam : larutan padat, senyawa antar-logam dan logam murni, sehingga kenaikan komposisi paduan menyebabkan bertambahnya kristal dan struktur.

2.5 Aluminium

2.5.1 Pengolahan Aluminium

Aluminium berasal dari biji aluminium yang disebut bauksit. Untuk mendapatkan aluminium murni dilakukan proses pemurnian pada bauksit yang menghasilkan oksida aluminium atau alumina. Kemudian alumina ini di *elektrosa* sehingga berubah menjadi oksigen dan aluminium.

Aluminium adalah logam terpenting dari logam nonferro. Penggunaan aluminium adalah yang kedua setelah besi dan baja (Surdia, 1999 : 129). Keutamaan aluminium dalam bidang teknik adalah beberapa sifatnya yang mudah untuk

pengerjaan lanjutan, beratnya ringan, ketahanan korosi yang baik, konduktifitas listrik dan panas yang baik. (De Geromo.1998 : 157).

2.5.2 Sifat-sifat Aluminium

Aluminium memiliki beberapa sifat fisik seperti yang ditunjukkan pada tabel 2.1 berikut :

Tabel 2.1 Sifat-sifat fisik aluminium

Sifat-sifat	Kemurnian Al (%)	
	99,99	>99,99
Massa jenis (Kg / dm ³) (20 ⁰ C)	2,6989	2,71
Titik cair (⁰ C)	660,2	653 – 657
Panas jenis (Cal/g. ⁰ C) (100 ⁰ C)	0,2226	0,2297
Hantaran listrik (%)	64,91	59 (dianil)
Tahanan listrik koefisien temperatur (/ ⁰ C)	0,00429	0,0115
Koefisien pemuai (M / ⁰ C) (20-100 ⁰ C)	23,86 × 10 ⁶	23,5 × 10 ⁻⁶
Jenis kristal, Konstanta kisi	Fcc, $\alpha = 4,013 \text{ kX}$	Fcc, $\alpha = 4,04 \text{ Kx}$

Sumber: Surdia dan Saito, 1999:134

Sifat-sifat aluminium meliputi :

1. Modulus elastisitas

Modulus elastisitas aluminium rendah, jadi harus dipertimbangkan pada saat bahan tersebut dikerjakan dingin karena adanya *springback* atau pengurangan regangan pada saat beban pembentukan dihilangkan. Keburukan yang paling mendasar dari segi teknik adalah sifat elastisitas aluminium sangat rendah hampir tidak dapat diperbaiki baik dengan pemaduan maupun dengan *heat treatment* dan sifatnya yang getas.

2. Kekuatan *creep*

Kekuatan *creep* aluminium biasanya dibatasi penggunaannya hanya pada temperatur yang rendah. Sebagai contoh untuk campuran jenis 20185-T61 memiliki kekuatan luluh 48000 psi pada temperatur ruang, namun hanya akan memiliki kekuatan luluh 17000 psi pada temperatur 250° C. Kekuatan luluh beberapa campuran yang lain menunjukkan penurunan yang serupa pada temperatur yang sama.

3. Ketahanan Korosi

Sifat tahan korosi aluminium diperoleh akibat pembentukan lapisan oksida aluminium pada permukaan aluminium, lapisan oksida ini

melekat pada permukaan yang kuat dan rapat serta sangat stabil. Paduan aluminium tahan terhadap konsentrasi asam nitrit, asam organik, dan asam sulfur. Ketahanan korosi aluminium juga menunjukkan ketahanan yang bagus.

4. Ketahanan aus

Ketahanan aus dari aluminium sangat jelek, hal ini bisa dilihat dari harga batas luluh dan kekerasan yang sangat rendah. Namun sifat ini dapat diperbaiki dengan aluminium dengan logam lainnya seperti Cu.

5. Kekuatan Lentur

Kekuatan lentur adalah kekuatan aluminium untuk menahan gaya-gaya yang berusaha melengkungkan aluminium. Pada balok sederhana yang dikenai beban maka bagian bawah akan mengalami bagian tarik dan bagian atas mengalami tegangan tekan maksimal. Tegangan ini secara perlahan-perlahan menurun kebagian tengah dan menjadi nol pada sumbu netral. Kekuatan lentur aluminium biasanya dinyatakan dengan modulus patah.

2.5.3 Aluminium Paduan

Logam aluminium dapat dipadukan dengan mudah dengan logam lain. Paduan aluminium yang penting antara lain :

1. Paduan Al-Zn

Paduan ini lebih banyak mengandung aluminium dan merupakan paduan yang memiliki ketahanan korosi yang baik. Aplikasinya dapat digunakan untuk konstruksi tempat duduk pesawat terbang, perkantoran, dan konstruksi lainnya yang membutuhkan perbandingan antara ketahanan korosi dan berat yang tidak terlalu besar. Titik lebur aluminium paduan Al-Zn 476-657 °C.

2. Paduan Al-Mn

Mn merupakan unsur yang memperkuat aluminium tanpa mengurangi ketahanan korosinya dan dipakai untuk membuat paduan yang tahan korosi. Jumlah paduan yang terkandung dalam paduan ini adalah 25,3% (Surdia Tata, 1986 :136).

3. Paduan Al-Si

Paduan Al-Si adalah paduan yang sangat baik kecairannya yang memiliki permukaan coran yang sangat baik tanpa kegetasan panas. Sebagai tambahan, Si memiliki ketahanan korosi yang baik, penghantar panas yang baik, dan ringan.

4. Paduan Al-Mg-Si

Paduan Al-Mg-Si merupakan jenis paduan aluminium seri 6xxx, sebagai paduan praktis dapat diperoleh paduan 6053, 6063 dan 6061. Paduan Aluminium-Magnesium-Silikon termasuk dalam jenis yang dapat diperlakukan dan mempunyai sifat mampu potong, mampu las dan tahan korosi yang cukup (Wirjosumarto, 2000). Magnesium dan Silikon bila dipadukan bersama Aluminium, maka akan terbentuk Magnesium Silikat (Mg_2Si), kebanyakan paduan Aluminium mengandung Si, sehingga penambahan Magnesium diperlukan untuk memperoleh efek pengerasan dari Mg_2Si . Tetapi sifat paduan ini menjadi getas, sehingga untuk mengurangi hal tersebut, penambahan dibatasi antara 0,03% - 0,1% (Hiene, 1995:320).

2.6 Aging Treatment

Pengerasan material dapat dicapai dengan temperatur ruangan (*natural aging*) atau pun percepatan perlakuan panas (*artificial aging*). Dalam beberapa paduan, percepatan dapat berlangsung beberapa hari, dalam temperatur ruang untuk menghasilkan produk stabil dengan sifat yang baik untuk berbagai aplikasi. 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.

2.6.1 Artificial Aging

Biasanya dilakukan pada suhu rendah dan proses yang lama. Suhu berkisar antara 115 – 190°C (240-375°F); variasi waktu dari 5 – 48 jam.

Keuntungan dari *artificial aging* adalah meningkatkan sifat mekaniknya, seperti kekerasan, tarik, dan puntir, selain itu dapat juga mengurangi tegangan sisa. Pemilihan siklus suhu-waktu harus dipertimbangkan secara teliti. Semakin besar partikel paduan, maka dibutuhkan waktu yang lebih lama dan suhu yang lebih tinggi, namun partikel yang besar dibutuhkan jarak yang lebih besar antar partikelnya. Tujuannya adalah untuk memilih siklus yang menghasilkan kekuatan mekanik yang maksimal.

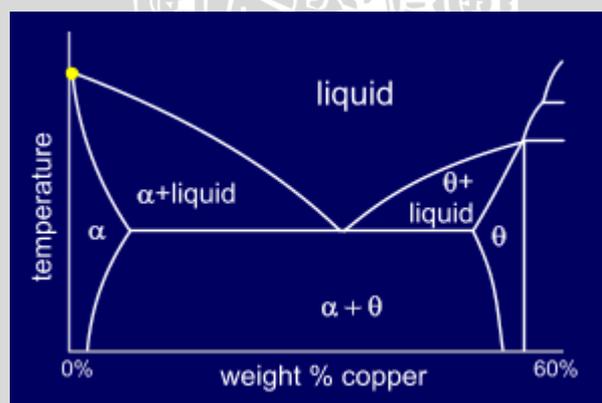
Jika menginginkan sifat mekanik yang baik, maka pemilihan suhu dan waktu harus lebih spesifik. Perawatan umum yang dianjurkan sering berhubungan dengan waktu, faktor biaya dan probabilitas untuk mendapatkan sifat yang diinginkan, dengan pertimbangan tunjangan untuk variabel seperti komposisi dalam jangkauan 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.

2.6.2 Natural Aging

Pada paduan dengan dengan seri tempa 6xxx, paduan dengan kandungan tembaga seri 7xxx, dan semua seri 2xxx menggunakan proses ini. Pada beberapa paduan ini terutama pada paduan seri 2xxx dengan menggunakan *natural aging* menghasilkan rasio yang tinggi baik kekuatan tarik, luluh, ketangguhan, dan *fatigue*. Namun pada paduan seri 6xxx dan 7xxx jauh kurang stabil pada suhu kamar dan terus menurun setelah bertahun – tahun.

2.6.3 Precipitation Hardening

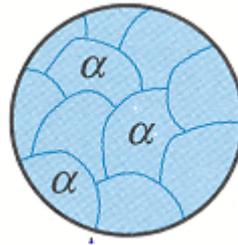
Spesimen dipanaskan dahulu dengan suhu 530°C selama 8 jam. Tujuannya supaya kondisi spesimen berada pada titik yang ditunjukkan pada diagram fasa di bawah ini :



Gambar 2.5 Diagram Fasa

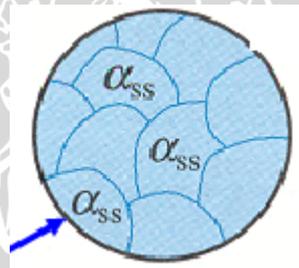
Sumber : Lawrence H. Van Vlack, 1989

Pada bagian yang semua daerahnya alfa (α), proses awal ini disebut *solution treatment*. Pada proses ini semua atom membentuk *single-phase solid solution*. Atau dihomogenkan dulu strukturnya.



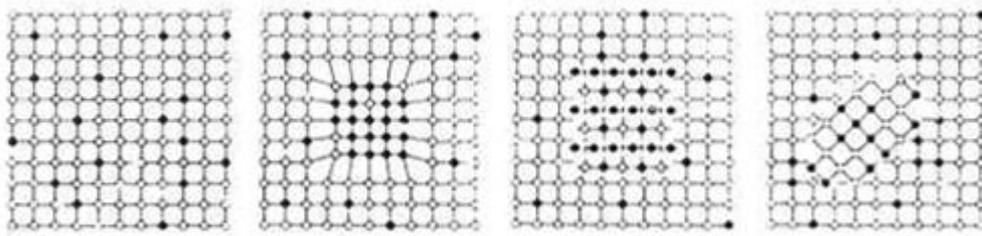
Gambar 2.6 Struktur butiran *single-phase solid solution*
Sumber : gogetitnararia.wordpress.com

setelah itu, sampel dikeluarkan dari dapur dan langsung didinginkan cepat. caranya adalah dengan langsung mencelupkannya ke air. tahap ini disebut *quenching*. *Quenching* ini bertujuan untuk mencegah difusi atom yang dapat membentuk fasa – fasa yang tidak diinginkan. Karena gerak atom yang kadang suka tidak terduga, jadi dengan *quenching* ini langsung aja si atom itu disuruh diam, tidak bergerak sekalian. Struktur pada tahap *quenching* ini disebut *super saturated solid solution*.



Gambar 2.7 Struktur butiran *super saturated solid solution*
Sumber : gogetitnararia.wordpress.com

Tahap *quenching* ini berada di bagian bawah dari diagram fasa. temperaturnya sudah temperatur ruang. Setelah tahap *quenching* inilah tahap yang sebenarnya baru dilakukan, yaitu *precipitation hardening*. *Precipitation hardening* ini prosesnya yaitu memanaskan kembali spesimen yang sudah di *quenching*. Atau dengan kata lain menata kembali atom – atom yang “dipaksa” diam setelah *quenching*, supaya mereka bisa menemukan kembali tempatnya masing – masing dan membentuk presipitat penguat tapi larut dengan baik di matriksnya. Strukturnya kurang lebih seperti ini. Sebutan lain untuk proses *precipitation hardening* ini adalah proses *aging*, atau penuaan.



Gambar 2.8 Struktur Atom *Precipitation Hardening*.
Sumber : gogetitnararia.wordpress.com

2.7 Pengujian Porositas

2.7.1 Porositas Dalam Pengecoran Logam

Porositas dapat terjadi karena gas yang terjebak pada logam cair ketika dituangkan kedalam cetakan (Budinski, 1996 : 460). Porositas pada produk cor dapat menurunkan kualitas produk cor. Salah satu penyebab terjadinya porositas pada penuangan logam adalah gas hidrogen. Porositas oleh gas hidrogen dalam benda cetak paduan aluminium akan memberikan pengaruh yang buruk pada kekuatan, serta kesempurnaan dari produk cor tersebut. Penyebabnya antara lain kurang memperhatikan gas yang terasorpsi dengan logam selama peleburan dan penuangan.

Faktor-faktor penting yang berhubungan dengan pembentukan porositas gas antara lain ialah :

- Unsur-unsur gas atau sumber gas yang terkandung dalam paduan.
- Tekanan udara yang berlebih.
- Temperatur cetakan.
- Teknik dan kondisi peleburan.
- Teknik atau cara pengeluaran gas dari logam cair.
- Temperatur logam cair.
- Uap air dalam udara.
- Permeabilitas cetakan.
- Uap air yang terkandung dalam cetakan
- Sumber-sumber gas yang terkandung dalam cetakan
- Bentuk saluran penuangan ataupun kecepatan penuangan

Pada proses penuangan, hidrogen yang larut selama peleburan akan tertinggal setelah proses pembekuan karena kelarutannya pada fase cair lebih tinggi dari pada fase padat. Gas dikeluarkan dari larutan akan terperangkap pada struktur padat. Gas tersebut bernuklasi pada cairan selama pembekuan dan diantara fase padat-cair.

2.7.2 Perhitungan Porositas

Perhitungan prosentase porositas yang terjadi dapat diketahui dengan membandingkan densitas sampel atau *apparent density* dengan densitas teoritis atau *true density* (Taylor, 2000), yaitu:

$$\% P = \left(1 - \frac{\rho_s}{\rho_{th}} \right) \times 100\% \quad (2-1)$$

dengan :

$\%P$ = Prosentase porositas

ρ_s = Densitas sampel atau *Apparent Density* (gr/cm³).

ρ_{th} = Densitas teoritis atau *True Density* (gr/cm³).

2.7.3 Densitas

Densitas (simbol: ρ – Greek: rho) adalah sebuah ukuran massa per volum. Rata-rata kepadatan dari suatu obyek yang sama massa totalnya dibagi oleh volume totalnya.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2-2)$$

ρ = kepadatan sebuah benda (gr/cm³)

m = massa total benda (gr)

V = volum benda (cm³)

2.7.3.1 Macam Densitas

Dalam perhitungan porositas menggunakan perbandingan antara dua macam densitas, yaitu *Thru Density* dan *Apparent Density*.

- *True density*

Adalah kepadatan pada benda tanpa adanya porositas didalamnya. Dapat didefinisikan sebagai perbandingan massa terhadap volume sebenarnya (gr/cm³).

Persamaanya menurut ASTM E252-84 yaitu

$$\rho_{th} = \frac{100}{\left\{ \left(\frac{\%Al}{\rho_{Al}} \right) + \left(\frac{\%Cu}{\rho_{Cu}} \right) + \left(\frac{\%Fe}{\rho_{Fe}} \right) + etc. \right\}} \quad (2-3)$$

dengan :

ρ_{th} = Densitas teoritis atau *True Density* (gr/cm³).

$\rho_{Al}, \rho_{Cu}, \rho_{Fe}, etc$ = Densitas unsur (gr/cm³)

$\%Al, \%Cu, etc$ = Prosentase berat unsur (%).

- *Apparent density*

Adalah berat setiap unit volume material termasuk cacat yang terdapat pada material yang akan diuji (gr/cm^3). Menurut ASTM B311-93 rumusnya adalah :

$$\rho_s = \rho_w \frac{W_s}{W_s - (W_{sb} - W_b)} \quad (2-4)$$

dengan :

ρ_s = Densitas sampel atau *Apparent Density* (gr/cm^3).

ρ_w = Densitas air (gr/cm^3).

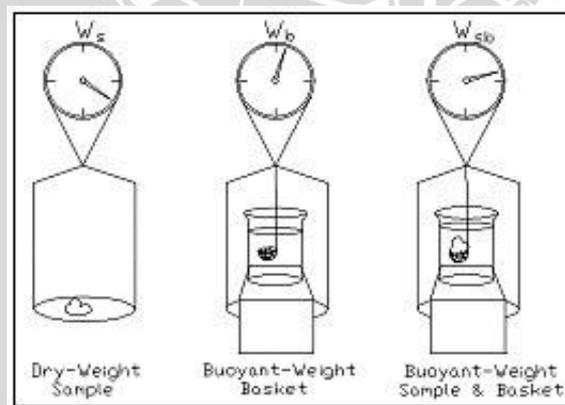
W_s = Berat sampel di luar air (gr)

W_b = Berat keranjang di dalam air (gr)

W_{sb} = Berat sampel dan keranjang di dalam air (gr)

2.7.4 Pengukuran Densitas Dengan Menggunakan Piknometri

Piknometri adalah sebuah proses membandingkan densitas relatif dari sebuah padatan dan sebuah cairan. Jika densitas diketahui, densitas dari sebuah padatan dapat dihitung. Dengan proses seperti pada gambar berikut ini



Gambar 2.9 Skema Piknometri

Sumber : Taylor, 2000

Dengan tiga pengukuran berat, yaitu W_s = pengukuran berat keranjang (*dry weight*) W_{sb} = pengukuran berat apung dan keranjang dan sampel, dan W_b = pengukuran berat apung keranjang. Pengukuran berat dengan menggantungkan spesimen dengan keranjang kawat pada sebuah bejana berisi air yang disangga oleh sebuah penyeimbang dengan menggunakan kawat penggantung

2.8 Pengujian Lentur (*Bending Test*)

2.8.1 Sudut Lentur

Perubahan sudut antara dua kaki spesimen selama uji lentur diukur sebelum gaya lentur dilepas atau dihilangkan. Sudut lentur diukur sebelum gaya yang diberikan pada spesimen dilepas.

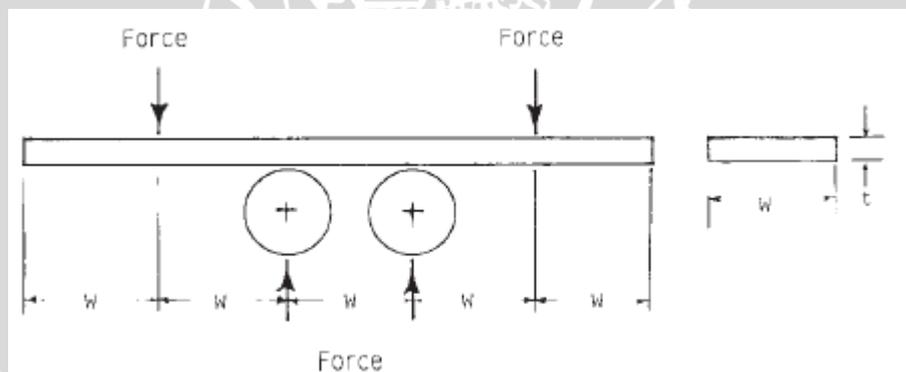
2.8.2 Macam-macam Pengujian Lentur

Pengujian untuk menunjukkan keuletan bisa didapat dengan menggunakan menekuk atau melipat spesimen. Biasanya dengan menerima gaya secara terus menerus, tapi dalam beberapa kejadian bisa berupa tumbukan.

Terdapat 4 macam pengujian lentur berdasarkan cara spesimen dalam menerima gaya untuk menjadi lentur, yaitu :

- Lentur bebas (*Free Bend*)

Lentur yang didapat dengan menerima gaya sampai akhir spesimen tanpa menentukan gaya maksimal pada titik lentur.



Gambar 2.10 Skema *Free Bend Test*
Sumber : ASTM E290-92, 1998 : 3

dengan :

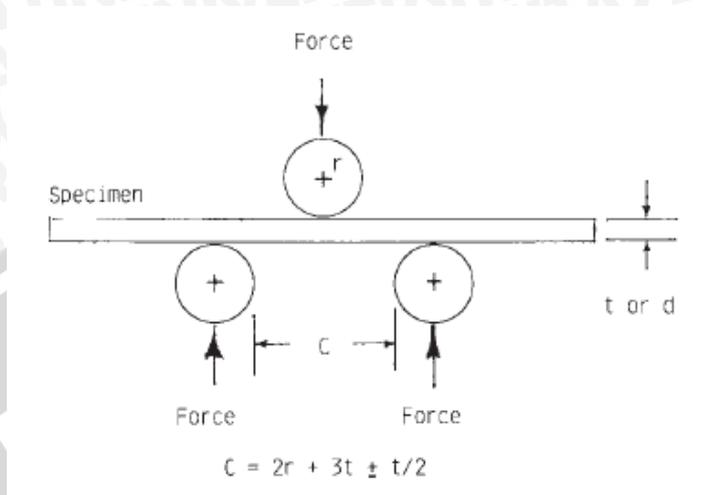
t = Ketebalan spesimen

w = Lebar spesimen

- Lentur Kendali (*Guided Bend*)

Lentur yang didapat dengan menggunakan mandrel untuk membengkokkan spesimen antara dua tumpuan. Mandrel itu sendiri adalah

suatu alat untuk mengontrol regangan pada sisi cekung pada bengkokan uji lentur.



Gambar 2.11 Skema *Guided Bend Test*
 Sumber : ASTM E290-92, 1998 : 2

dengan :

C = Jarak antara tumpuan paling bawah

r = Radius akhir *mandrel* atau *plunger*

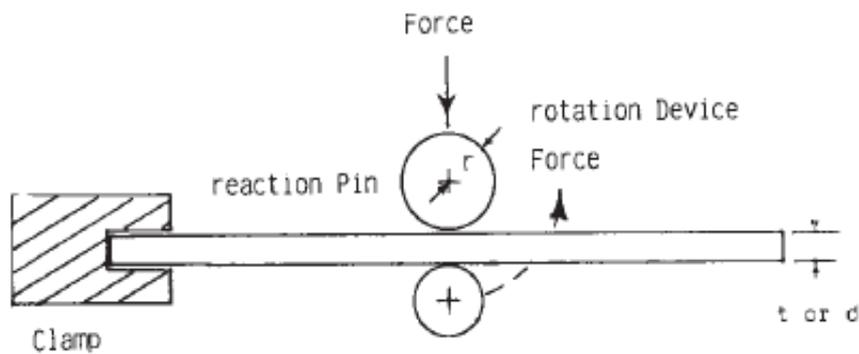
t = Ketebalan spesimen

d = Diameter spesimen

w = Lebar spesimen

- Lentur Kendali Sebagian (*Semi-Guided Bend*)

Lentur yang didapat dengan memberikan gaya langsung pada spesimen sesuai porsinya untuk bisa dibengkokkan.



Gambar 2.12 Skema *Semi-Guided Bend*
 Sumber : ASTM E290-92, 1998 : 3

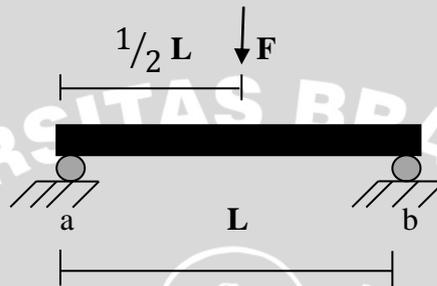
dengan :

t = Ketebalan spesimen

r = Radius akhir *mandrel* atau *plunger*

2.8.3 Tegangan Bending Maksimal

Besar tegangan bending maksimal dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :



Gambar 2.13 *Three-Point Loading*
 Sumber : ASTM E855-90, 1998;2

Three-Point Loading

$$\sigma_B = \frac{1.5 F x l}{b x h^2} \quad (\text{ASTM E855-90, 1998;2}) \quad (2-5)$$

dengan :

F : Gaya maksimal saat patah

l : Jarak tumpuan

b : Tebal spesimen

h : Lebar spesimen

2.9 Hipotesa

Dengan adanya *aging treatment* berdasarkan variasi suhu yang ada dan diturunkan suhunya sampai suhu kamar porositas yang terjadi akan semakin kecil. Hal ini disebabkan semakin tinggi suhu pemanasan spesimen dan menurunkan suhunya sampai suhu ruangan, struktur butirannya akan homogen sehingga kemungkinan celah-celah udara masuk spesimen akan rendah.

Aging treatment juga mempengaruhi kekuatan lentur (*bending*) karena proses *aging treatment* membuat struktur atom menyebar dan mengumpul pada matriks dan batas butir. Sehingga akan diperlukan energi yang lebih besar untuk membuat deformasi.



BAB III

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian eksperimental nyata (*true experimental research*) yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh *aging treatment* terhadap porositas dan kekuatan lentur silinder Al-Mg-Si pada *squeeze casting*. Dengan asumsi variabel yang lain konstan. Kajian literatur dari berbagai sumber baik dari buku, jurnal yang ada di perpustakaan maupun dari internet juga dilakukan untuk menambah informasi yang diperlukan.

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Tempat yang digunakan untuk melakukan penelitian adalah:

- Laboratorium Pengecoran Logam Teknik Mesin Universitas Brawijaya.
- Bengkel Teknik Mesin Politeknik Negeri Malang.

Waktu penelitian :

- Kamis, 23 Januari 2014

3.2 Variabel Penelitian

Variabel-variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang besarnya ditentukan sebelum penelitian.

Variabel bebas yang digunakan adalah:

- Tekanan *plunger* 75 MPa
- Suhu aging 100° C, 125° C, 150° C, 175° C, 200° C
- Waktu aging 8 jam

2. Variabel Terikat

Variabel terikat adalah variabel yang besarnya tergantung dari variabel bebas.

Variabel terikatnya adalah:

- a. Porositas hasil coran (%)
- b. Kekuatan lentur

3. Variabel Terkontrol

Variabel terkontrol adalah variabel yang besar nilainya dibuat konstan. Dalam penelitian ini variabel terkontrolnya adalah:

- a. Temperatur penuangan : 900 °C
- b. Temperatur cetakan : 150 °C

c. Time delay : 5 menit

3.3 Peralatan dan Bahan yang Digunakan

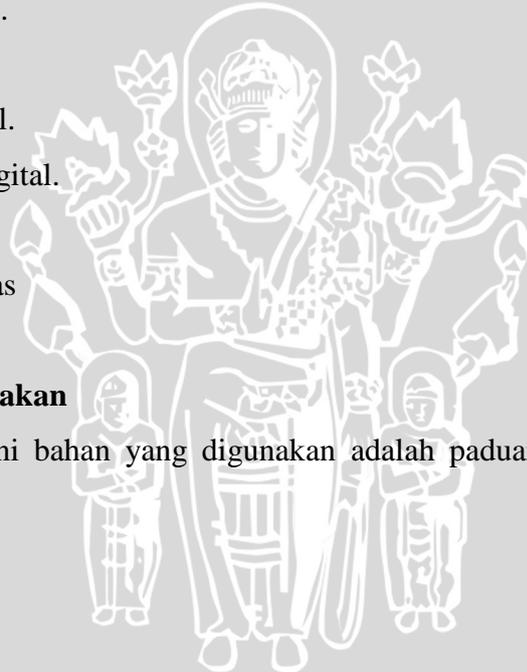
3.3.1 Peralatan yang digunakan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

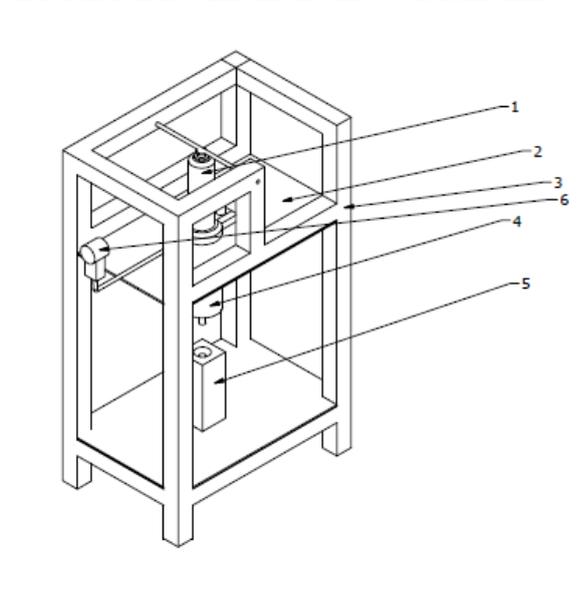
1. Dapur peleburan logam
2. Cetakan logam.
3. Alat pengecoran *squeeze casting*.
4. Cawan tuang (ladel).
5. *Infrared thermometer*
6. *Stopwatch*.
7. Alat uji lentur (*Universal Strength Machine*)
8. Mesin bubut.
9. Jangka sorong.
10. Gergaji.
11. Kamera digital.
12. Timbangan digital.
13. *Burner*.
14. Dapur pemanas

3.3.2 Bahan yang Digunakan

Pada penelitian ini bahan yang digunakan adalah paduan aluminium-silikon-magnesium (Al-Mg-Si).



3.4 Instalasi Penelitian

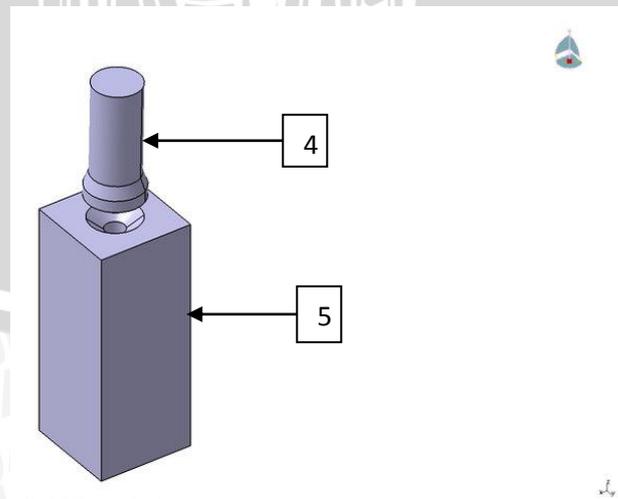


Gambar 3.1 Instalasi Penelitian

Keterangan :

1. Dongkrak
2. Meja penggerak
3. Besi penopang alat
4. *Plunger*
5. Cetakan
6. *Pressure Gauge*

Berikut ini adalah gambar cetakan dan *plunger* dari instalasi penelitian jika diperbesar.



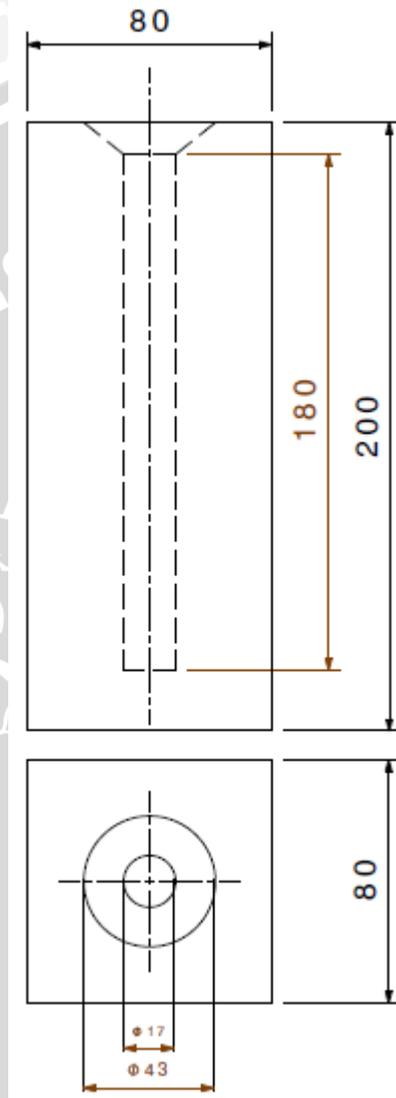
Gambar 3.2 *Plunger* dan Cetakan

Keterangan :

- 4. *Plunger*
- 5. Cetakan

3.5 Dimensi Cetakan

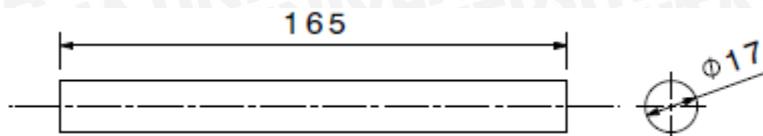
Berikut ini adalah gambar dimensi cetakan untuk membuat spesimen.



Gambar 3.3 Dimensi Cetakan

3.6 Dimensi Produk

Berikut ini adalah dimensi spesimen hasil cor

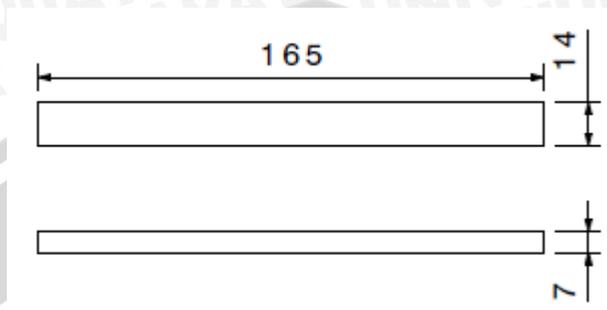


Gambar 3.4 Dimensi Produk



3.7 Dimensi Spesimen Uji Kekuatan Lentur

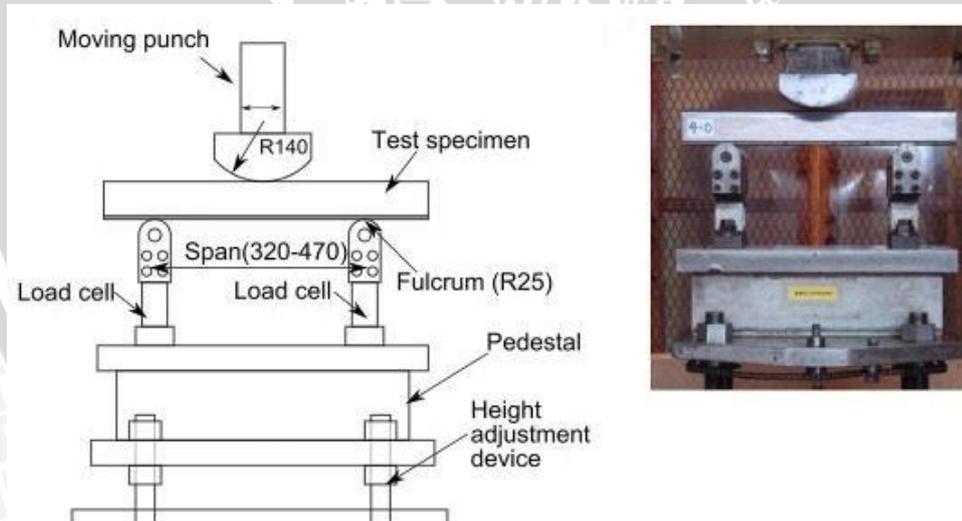
Berikut ini adalah dimensi dan bentuk dari spesimen uji lentur atau *bending* menurut ASTM E290-92,



Gambar3.5 Dimensi Spesimen Uji Kekuatan Lentur

Dalam ASTM E290-92 dijelaskan bahwa lebar dan tebal spesimen harus memiliki perbandingan 2:1.

3.8 Instalasi Alat Uji Kekuatan lentur



Gambar 3.6 Instalasi Alat Uji Lentur

Sumber : Kentaro Sato, Akihide Yoshitake, Sheng-Dong Liu, 2013

Keterangan instalasi alat uji kekuatan lentur adalah :

1. *Moving Punch*
2. *Test Specimen*
3. *Load Cell*
4. *Span*

5. *Fulcrum*
6. *Height adjustment device*

3.9 Prosedur Penelitian

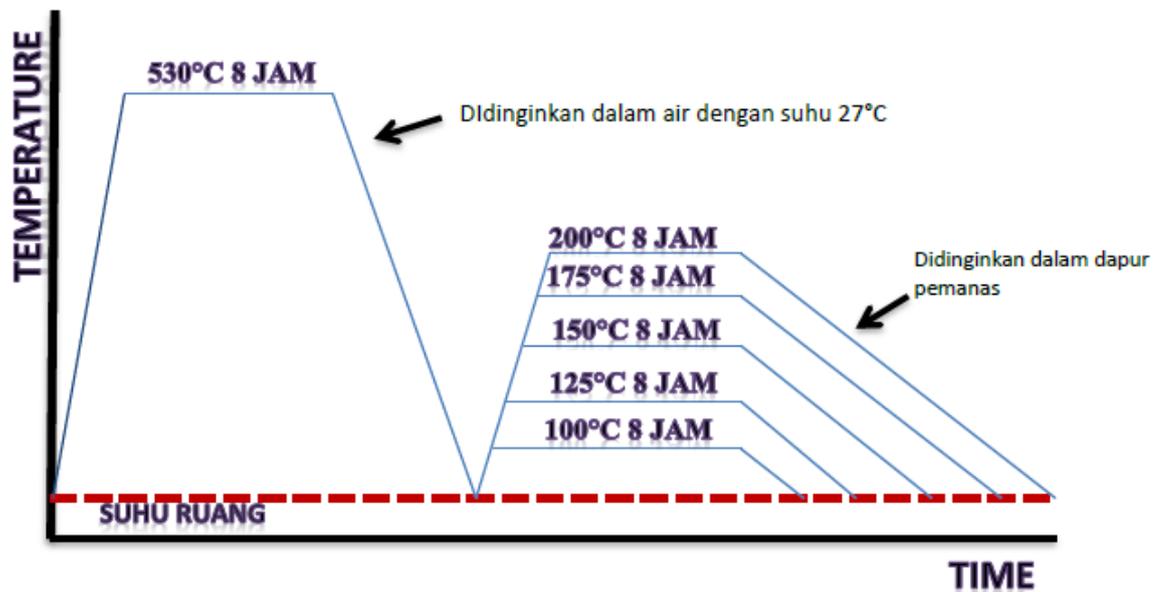
3.9.1 Prosedur Pengecoran

Langkah- langkah pengerjaan dalam penelitian ini adalah:

1. Persiapan percobaan, yaitu menyiapkan dapur peleburan, menyiapkan cetakan logam, dan menyiapkan alat-alat yang digunakan.
2. Membuat cetakan spesimen beserta saluran yang digunakan
3. Peleburan Al-Si-Mg sampai temperatur $\pm 900\text{ }^{\circ}\text{C}$
4. Menghitung tekanan *plunger* 75MPa menjadi tekanan pada *hydraulic*.
5. Pengecoran pertama dilakukan dengan menuangkan logam cair ke dalam cetakan dengan variasi tekanan *plunger* 75 MPa dan tekanan dipertahankan selama 5 menit. Selanjutnya dilakukan pembongkaran cetakan.

3.9.2 Prosedur *Artificial Aging treatment*

- a. Dilakukan proses *quenching* pada produk hasil coran dengan cara direndam kedalam air dengan suhu $27\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- b. Produk hasil coran dikeringkan dari air sisa pada proses *quenching*.
- c. Lakukan proses *artificial aging* dengan memasukkan produk coran ke dalam oven dengan variasi suhu $100\text{ }^{\circ}\text{C}$; $125\text{ }^{\circ}\text{C}$; $150\text{ }^{\circ}\text{C}$; $175\text{ }^{\circ}\text{C}$; $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ selama 8 jam, dengan langkah-langkah sebagai berikut :
 1. Dari proses *squeeze casting* penurunan suhu spesimen sampai suhu kamar
 2. Panaskan spesimen pada dapur pemanas sampai suhu $530\text{ }^{\circ}\text{C}$.
 3. Diamkan (*holding*) spesimen sampai 8 jam.
 4. Turunkan suhu spesimen setelah didiamkan (*holding*) dari dapur pemanas dari $530\text{ }^{\circ}\text{C}$ sampai mencapai suhu kamar $27\text{ }^{\circ}\text{C}$ dengan cara dicelupkan ke air.
 5. Masukkan kembali spesimen ke dapur pemanas kemudian naikkan suhu dapur pemanas dari suhu kamar $27\text{ }^{\circ}\text{C}$ sesuai dengan variasinya, yaitu $100\text{ }^{\circ}\text{C}$; $125\text{ }^{\circ}\text{C}$; $150\text{ }^{\circ}\text{C}$; $175\text{ }^{\circ}\text{C}$; $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ selama 8 jam.
 6. Matikan dapur, diamkan spesimen dalam dapur sampai suhu kamar $27\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Gambar 3.7 Grafik Heat Treatment

3.9.3 Prosedur Pengujian Porositas Dengan Metode Piknometri

Untuk specimen sebelum di *finishing* langkah-langkah pengerjaannya adalah :

1. Timbang specimen diluar air untuk mendapatkan W_s , kemudian catat
2. Timbang keranjang didalam air untuk mendapatkan W_b , kemudian catat
3. Timbang berat specimen dan keranjang didalam air untuk mendapatkan W_{sb} , kemudian catat
4. Lakukan langkah 1-3 untuk specimen *artificial aging* 100, 125, 150, 175, 200°C
5. Olah data yg didapat.

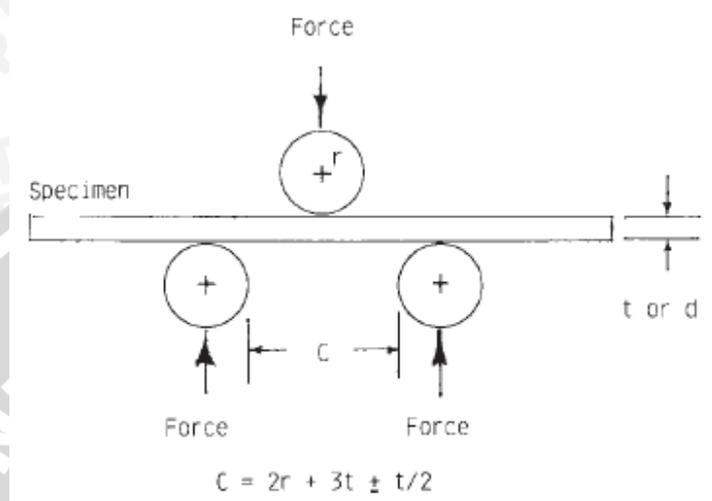
Untuk specimen yang sudah di *finishing* langkah-langkah pengerjaannya adalah :

1. Timbang specimen diluar air untuk mendapatkan W_s , kemudian catat
2. Timbang keranjang didalam air untuk mendapatkan W_b , kemudian catat
3. Timbang berat specimen dan keranjang didalam air untuk mendapatkan W_{sb} , kemudian catat
4. Lakukan langkah 1-3 untuk specimen *artificial aging* 100°C, 125°C, 150°C, 175°C, 200°C.
5. Olah data yg didapat

3.9.4 Prosedur pengambilan dan pengolahan data uji lentur

Prosedur untuk pengujian lentur adalah :

1. Letakkan specimen diatas dua penyangga atau penyokong yang berbentuk bulat yang terpisah dengan *clearance* (C) adalah $(2r + 3t)$, $6(t/2)$, seperti yang d tunjukkan pada gambar berikut dimana (t) adalah ketebalan spesimen

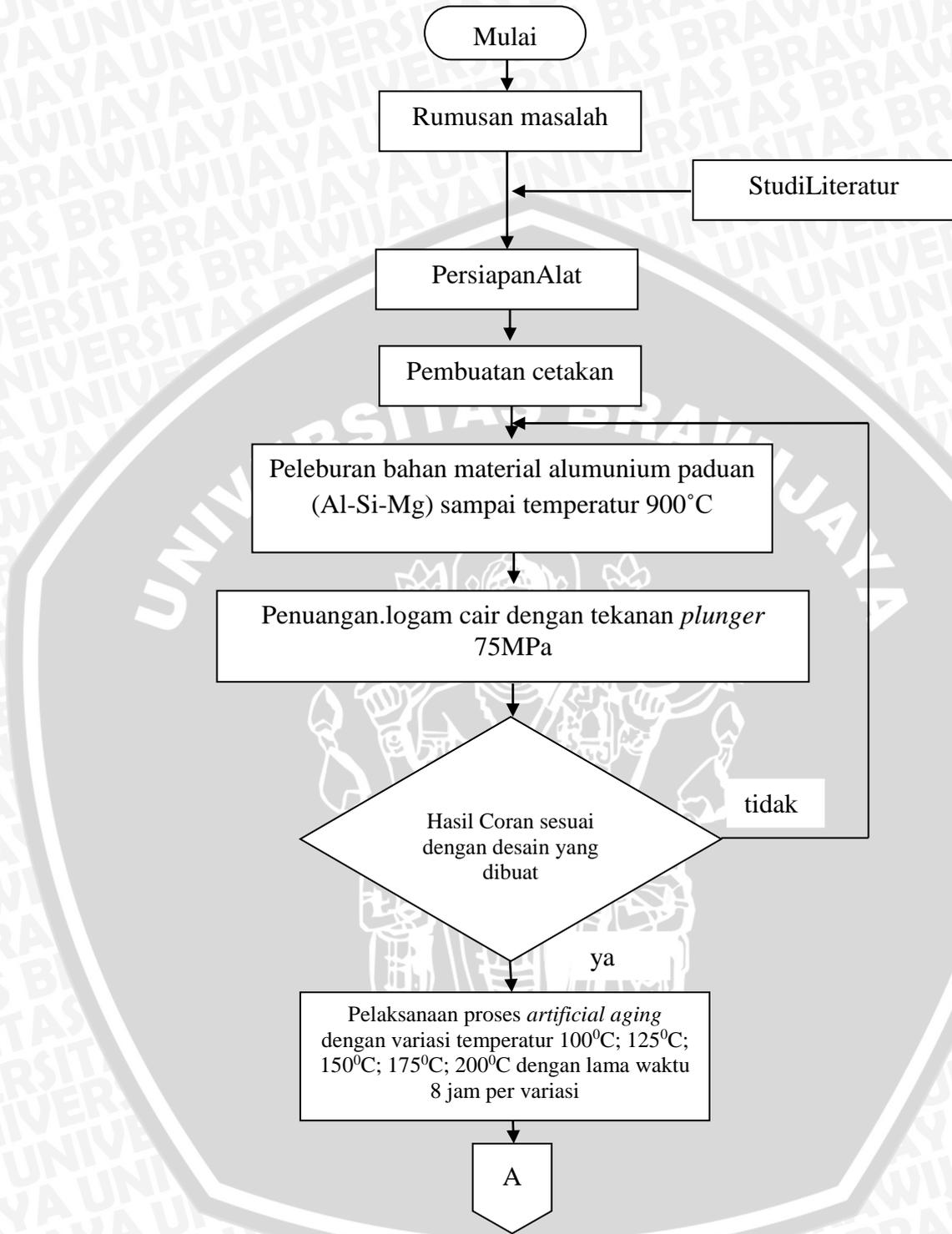


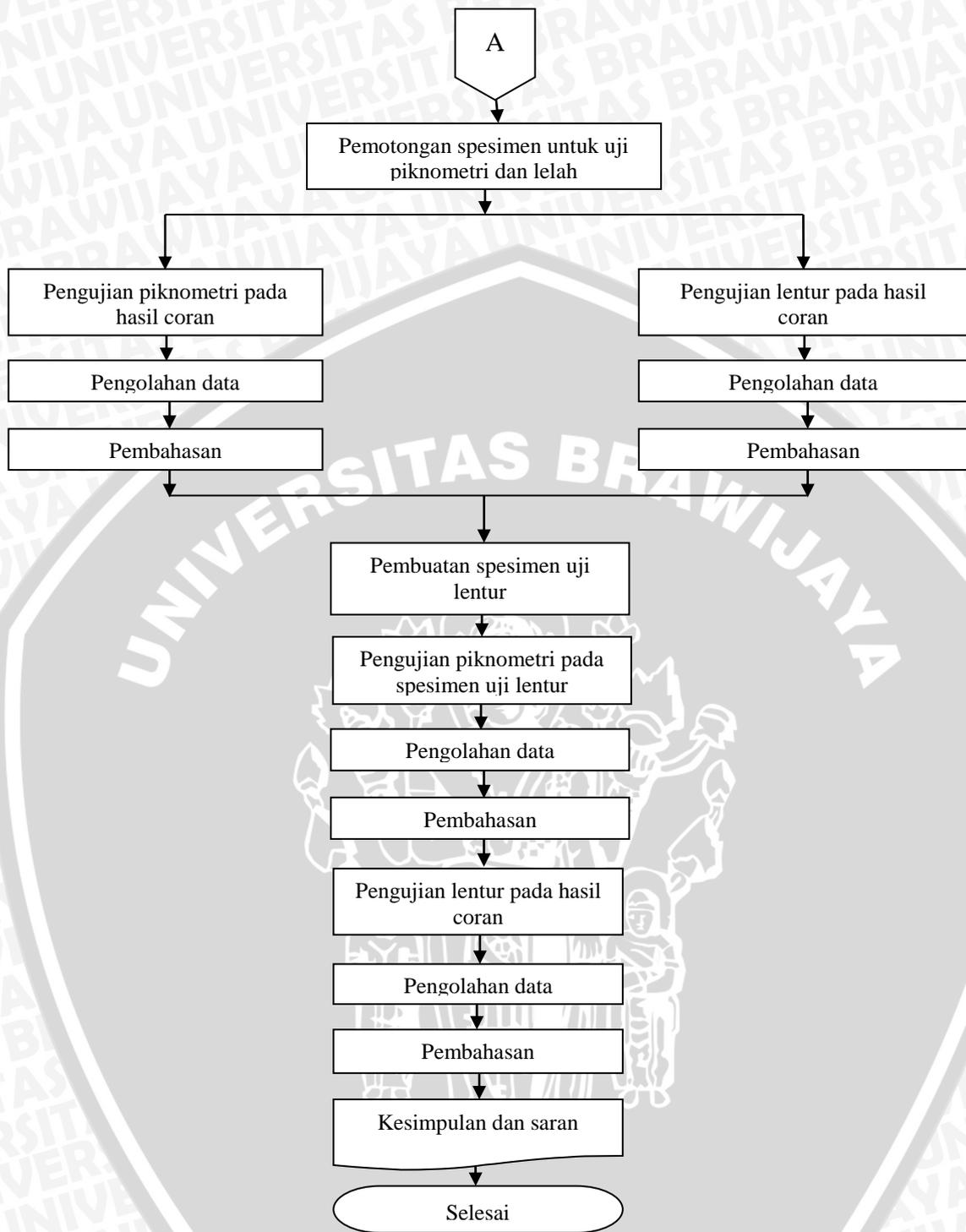
Gambar 3.8 Skema *Guided Bend Test*

Sumber : ASTM E290-92, 1998 : 2

2. Bengkokkan spesimen dengan memberikan gaya melalui *plunger* atau *mandrel* menyentuh/kontak dengan spesimen di tengah-tengah jarak antar tumpuan atau penyokong (C/2) pada sisi sisi berlawanan. Berikan gaya lentur atau tekuk dengan halus tanpa kejutan.
3. Pada saat awal pemberian gaya abaca dial indicator untuk mengetahui berapa defleksi yang terjadi.
4. Lanjutkan pembengkokkan sampai terjadi kegagalan.
5. Catat dan olah data apa saja yang didapat saat pengujian. Dalam penelitian ini data yang didapat adalah defleksi (μm) dan F (N)

3.10 Diagram Alir Penelitian





Gambar 3.9 Diagram Alir Penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Pengujian

4.1.1 Data Hasil Pengujian Porositas

Porositas adalah gas atau udara yang terperangkap didalam hasil coran pada saat logam cair dituangkan didalam cetakan. Dari hasil Pengujian piknometri didapatkan data hasil pengujian seperti pada tabel 4.1 berikut ini.

Tabel 4.1 Data Pengujian Porositas

Pengulangan	%Porositas Dengan Variasi Suhu Aging					
	26 °C	100 °C	125 °C	150 °C	175 °C	200 °C
1	1.163	0.375	0.824	0.453	0.018	0.300
2	2.871	0.209	0.35	0.455	0.865	0.164
3	0.734	0.637	0.0175	0.224	0.052	0.367
Rata-rata	1.589	0.407	0.397	0.377	0.312	0.277

4.1.1.1 Hasil Perhitungan True Density

Tabel 4.2 Perhitungan Densitas Unsur dan Prosentase Berat

Unsur	Massa Jenis (g/cm ³)	Prosentase Berat (%)	Prosentase Berat / Massa Jenis
Si	2,33	0,84	0,36
Fe	7,86	0,22	0,027
Cu	8,96	0,21	0,023
Mn	7,86	0,08	0,012
Mg	1,74	1,01	0,58
Zn	7,14	0,08	0,011
Ti	11,85	0,08	0,006
Cr	7,19	0,05	0,006
Al	2,7	97,43	36,085
TOTAL	57,63	100	37,112

Perhitungan *True Density* :

$$\rho_{th} = \frac{100}{\left\{ \left(\frac{\%Al}{\rho_{Al}} \right) + \left(\frac{\%Cu}{\rho_{Cu}} \right) + \left(\frac{\%Fe}{\rho_{Fe}} \right) + etc, \right\}}$$

$$\rho_{th} = \frac{100}{Total}$$

$$= \frac{100}{37,11267507}$$

$$= 2,69 \text{ gr / cm}^3$$

4.1.1.2 Perhitungan *Apparent Density*

Hasil Perhitungan *Apparent Density* variasi suhu aging 100°C :

$$\rho_s = \rho_w \frac{W_s}{W_s - (W_{sb} - W_b)}$$

$$= 1 \frac{50,24}{50,24 - (34,13 - 2,61)}$$

$$= 2,6838 \text{ gr / cm}^3$$

- Hasil Perhitungan Porositas

$$\%P = \left(1 - \frac{\rho_s}{\rho_{th}} \right) \times 100\%$$

$$= \left(1 - \frac{2,68}{2,69} \right) \times 100\%$$

$$= 0,37572 \%$$

4.1.2 Data Defleksi Rata-Rata Hasil Pengujian *Bending*

Setelah dilakukan pengujian *bending* didapatkan data defleksi seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.3

Tabel 4.3 Defleksi Pengujian *Bending*

Pengulangan	Defleksi (μm) Dengan Variasi Suhu Aging					
	26 °C	100 °C	125 °C	150 °C	175 °C	200 °C
1	2050	2050	1210	460	340	365
2	2050	2200	960	340	495	1340
3	2050	2150	1630	550	545	1400
Rata-rata	2050	2133.33	1266.66	450.00	460.00	1033.33

4.1.3 Data Tegangan *Bending* Maksimal Hasil Pengujian

Tegangan bending maksimal didapat setelah data yang didapat saat pengujian dihitung dengan rumus :

$$\sigma_B = \frac{1.5 F x l}{b x h^2}$$

dengan :

F : Gaya maksimal saat patah

l : Jarak tumpuan

b : Tebal spesimen

h : Lebar specimen

Seperti pada tabel 4.4 berikut

Tabel 4.4 Tegangan *Bending* Maksimal Hasil Pengujian

Pengulangan	Tegangan Bending Maks (σ_{max}) Dengan Variasi Suhu Aging					
	26 °C	100 °C	125 °C	150 °C	175 °C	200 °C
1	279.81	286.98	330	358.73	358.73	358.73
2	380	330	286.98	330	430.48	480.7
3	279.81	330	351.56	358.73	430.48	545.28
Rata-rata	313.24	315.66	322.84	349.15	406.56	461.57

Hasil perhitungan tegangan *bending* maksimal :

Diketahui :

F_{max} : 2300 N (Terlampir pada lampiran 5)

l : 15 cm = 150 mm

b : 8 mm

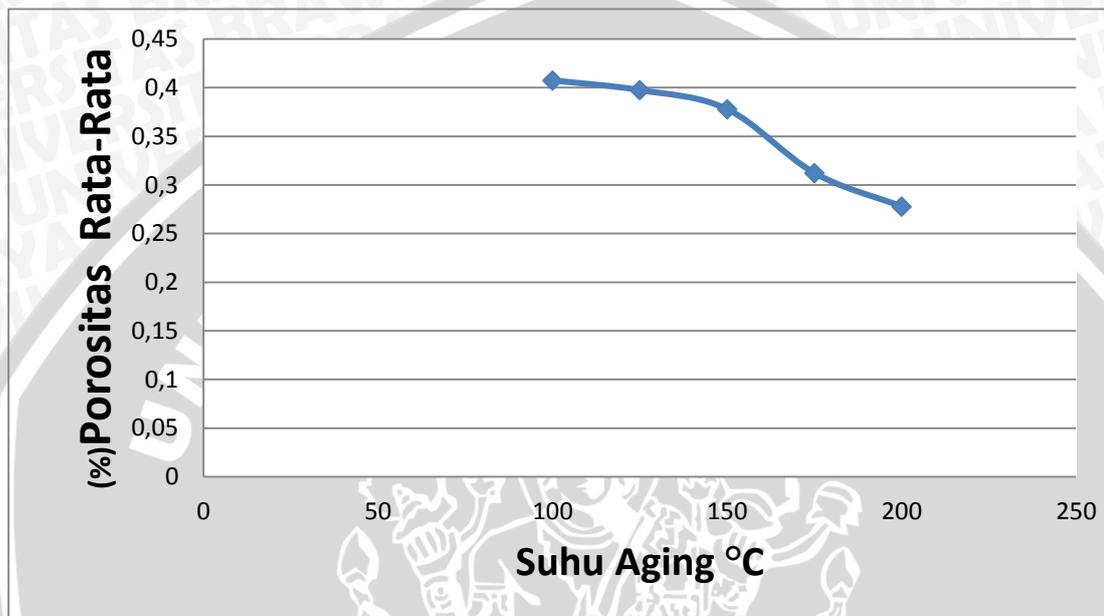
h : 14 mm

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{1,5 F.l}{b.h^2} \\ &= \frac{1,5 \cdot 2300N \cdot 150mm}{8mm \cdot 14mm^2} \\ &= \frac{517500N}{1568mm^2} \\ &= 330 N/mm^2 \\ &= 330 MPa \end{aligned}$$

4.2 Pembahasan

Proses *aging treatment* berpengaruh pada prosentase porositas produk silinder Al-Mg-Si hasil *Squeeze casting*. Semakin tinggi variasi suhu *aging* prosentase porositas yang dihasilkan semakin kecil.

Hubungan variasi suhu *aging treatment* dengan porositas produk silinder Al-Mg-Si hasil *squeeze casting* dapat dilihat pada gambar 4.1 berikut ini :



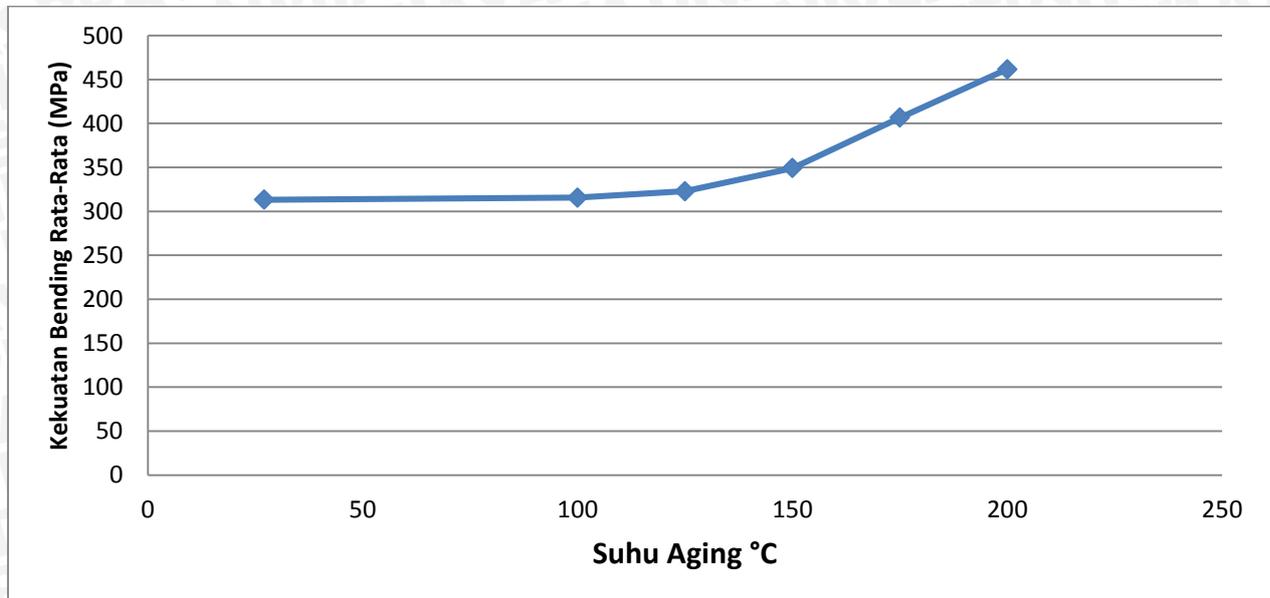
Gambar 4.1 Pengaruh *Aging Treatment* Terhadap Porositas (%)

Pada grafik hubungan antara *Aging Treatment* terhadap porositas aluminium paduan (Al-Mg-Si) hasil *squeeze casting* tersebut (Gambar 4.1) dapat dilihat bahwa terjadi penurunan porositas. Nilai porositas rata-rata tertinggi yaitu pada variasi suhu *aging* 100°C dengan nilai porositas yaitu 0,40 %. dan nilai porositas rata-rata terendah yaitu pada variasi suhu *aging* 200°C. Penurunan porositas disebabkan karena adanya *aging treatment* itu sendiri. Inti dari *aging treatment* adalah proses menata kembali atom yang dipaksa diam karena *quenching* agar dapat kembali mengisi tempatnya semula sehingga membentuk presipitat penguat yang larut dalam matriksnya. Semakin tinggi suhu *aging* maka semakin cepat atom tersebut untuk kembali ke tempat semula, sehingga akan lebih cepat membentuk struktur butiran yang padat, yang memungkinkan kecilnya udara yang terperangkap dalam coran dan menyebabkan porositas semakin turun.

Dalam penelitian ini juga dibahas mengenai bagaimana pengaruh *aging treatment* terhadap kekuatan lentur. Setelah dilakukan penelitian ternyata didapatkan hasil bahwa *aging*

treatment berpengaruh pada kekuatan lentur silinder Al-Mg-Si hasil *squeeze casting*. Semakin tinggi suhu *aging* maka kekuatan lenturnya semakin besar.

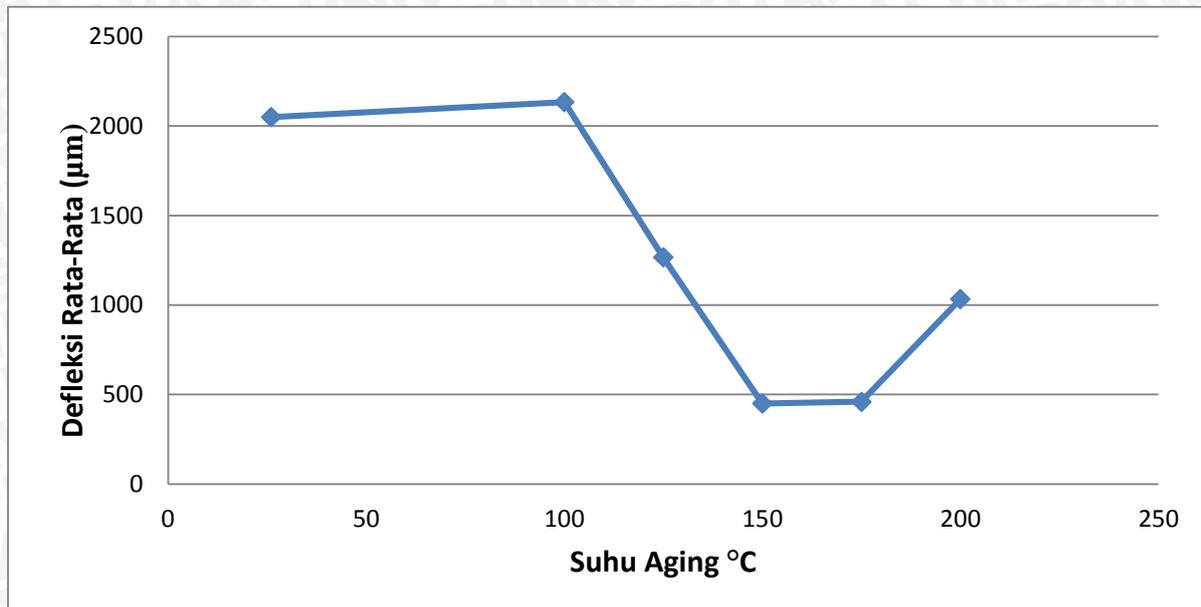
Hubungan variasi suhu *aging treatment* dengan kekuatan lentur produk silinder Al-Mg-Si hasil *squeeze casting* dapat dilihat pada gambar 4.2 berikut ini :



Gambar 4.2 Pengaruh *Aging Treatment* Terhadap Kekuatan Lentur

Pada grafik hubungan antara *Aging Treatment* terhadap kekuatan lentur aluminium paduan (Al-Mg-Si) hasil *squeeze casting* tersebut (Gambar 4.2) dapat dilihat bahwa terjadi kenaikan kekuatan lentur. Nilai kekuatan lentur tertinggi yaitu pada variasi suhu *aging* 200°C dengan nilai kekuatan lentur rata-rata 461,57 MPa, dan nilai kekuatan lentur terendah yaitu pada suhu ruang 26°C dengan nilai kekuatan rata-rata 313,24 MPa. Kenaikan nilai kekuatan lentur ini disebabkan oleh *precipitation hardening (aging treatment)* itu sendiri, pada saat proses *solution treatment* struktur atom mengalami sedikit persebaran dalam hal ini adalah Mg-Si nya. Kemudian setelah atom-atom tersebut mulai meninggalkan posisi asalnya, atom-atom tersebut dipaksa diam dengan cara didinginkan cepat atau *quenching* pada saat dicelupkannya spesimen ke dalam air. Kemudian pada saat proses *aging treatment* inilah yang menyebabkan kekuatan meningkat. Pada saat *aging treatment* dilakukan Mg-Si yang tadinya dipaksa diam mulai menyebar ke matriks dan batas butir. Semakin tinggi suhu *aging* maka semakin cepat Mg-Si menyebar dan menggumpal pada matriks dan batas butir, sehingga semakin besar energi yang dibutuhkan untuk mengalami deformasi akibat dihambat oleh Mg-Si yang menggumpal pada matriks dan batas butir.

Dalam penelitian ini juga didapat data defleksi silinder Al-Mg-Si hasil *squeeze casting* yang bias dilihat pada gambar 4.3 berikut ini :



Gambar 4.3 Defleksi Rata-Rata hasil pengujian *bending*

Dari grafik diatas menunjukkan defleksi rata-rata dari variasi suhu aging 100°C-200°C. Defleksi mengalami kenaikan pada suhu 125°C kemudian turun pada suhu 150°C dan naik kembali pada variasi suhu 200°C.

Dapat dilihat dalam grafik yaitu pada suhu 150°C dan 175°C defleksi mengalami penurunan drastis. Hal ini bisa disebabkan karena pada spesimen dengan variasi suhu aging 150°C dan 175°C kemungkinan terdapat porositas yang cukup banyak sehingga spesimen mengalami *cracking* atau retak lebih cepat dibanding spesimen variasi suhu aging lainnya sehingga menyebabkan penurunan grafik defleksi yang drastis. Untuk spesimen dengan variasi suhu *aging* 200°C defleksi mengalami peningkatan, hal ini bias disebabkan karena porositas pada spesimen 200°C lebih sedikit daripada specimen 150°C dan 175°C, sehingga spesimen cenderung lebih ulet dan mengalami *cracking* atau retak lebih lambat yang menyebabkan defleksinya lebih tinggi.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

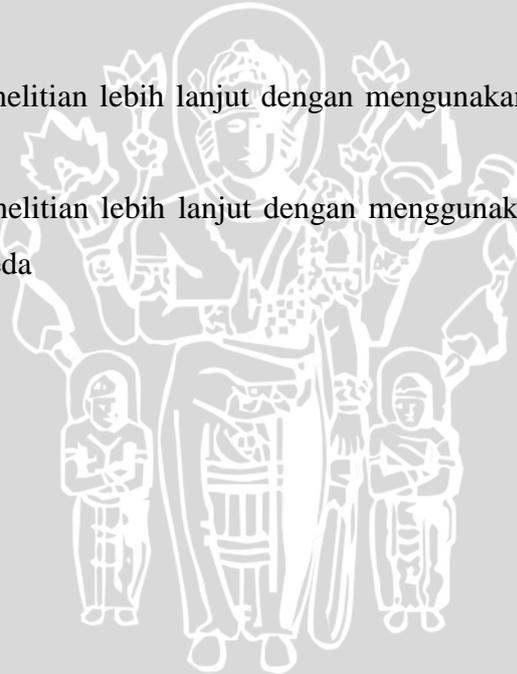
5.1 Kesimpulan

Dari penelitian ini telah didapatkan hasil yaitu *aging* treatment berpengaruh terhadap porositas dan kekuatan lentur silinder Al-Mg-Si sehingga dapat disimpulkan bahwa:

- Semakin tinggi suhu *aging* dihasilkan porositas yang semakin menurun. Porositas yang terendah yaitu pada suhu *aging* 200°C dengan nilai porositas rata-rata 0,27 %
- Semakin tinggi suhu *aging* didapatkan kekuatan lentur yang semakin meningkat. Kekuatan lentur rata-rata tertinggi yaitu pada suhu *aging* 200°C dengan nilai kekuatan lentur rata-rata 461,57 MPa.

5.2 Saran

- Perlu diadakan penelitian lebih lanjut dengan menggunakan metode pengecoran yang berbeda.
- Perlu diadakan penelitian lebih lanjut dengan menggunakan variasi penekanan plunger yang berbeda



DAFTAR PUSTAKA

- ASM Handbook Vol. 4. 1991. *Heat Treating*. Materials Park, OH : ASM International
- ASM Handbook Vol.15. 1998. *Casting*. Materials Park, OH : ASM International
- Chee Fai Tan dan Mohamad R. Said. 2009. *Effect of Hardness Test on Precipitation Hardening Aluminium Alloy 6061- T6*. Fakultas Teknik Mesin, Universitas Teknikal Malaysia Melaka.
- De Garmo, E. P. 1990. *Materials and Processes In Manufacturing*. John Wiley and Sons, Inc.
- Duskiardi,2002. *Pengaruh Tekanan dan Temperatur Die Proses Squeeze Casting Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro Pada Material Piston*. Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Kristen Petra.
- Fitria, Dian. 2012. *Pengaruh Tekanan Plunger pada Squeeze Casting Terhadap Porositas dan Kekuatan Tarik Produk Coran Silinder Al-Mg-Si*. Malang: Universitas Brawijaya.
- Heine, R. W. 1990. *Principles of Metal Casting*. New Delhi: Tata McGraw -Hill,
- Purnomo, Mayvendra R.S, 2012. *Pengaruh Tekanan Plunger pada Squeeze Casting Terhadap Porositas dan Kekuatan Puntir Silinder Al-Mg-Si*. Malang: Universitas Brawijaya.
- Surdia,Tata. & Chijiiwa Kenji. 1996. *Teknik Pengecoran Logam*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Tjitro, S. et al.2001. *Pengecoran Squeeze*. Surabaya: Jurnal Teknik Mesin Vol.3 UK Petra hal. 109-113.
- ASTM E855-90.2000. *Standard Test Methods for Bend Testing of Metallic Flat Materials for Spring Applications Involving Static Loading I*. ASTM Internasional.
- ASTM B 311. 2001. *Test Method for Density Determination for Powder Metallurgy (P/M) Materials Containing Less Than Two Percent Porosity*. ASTM International

Lampiran 1. Foto Proses Penelitian

Proses Pengecoran



Proses Pengujian Lentur



Proses Aging Treatment



Lampiran 2. Foto Benda Kerja Hasil Pengujian

Tanpa Perlakuan



Aging Treatment 100°C



Aging Treatment 125°C



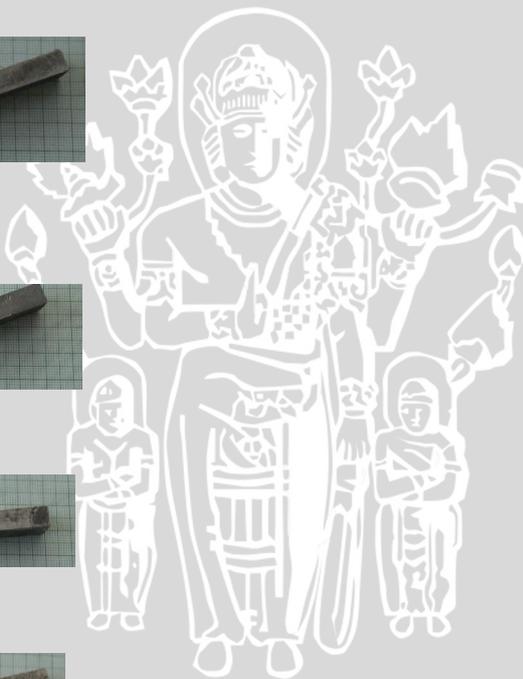
Aging Treatment 150°C



Aging Treatment 175°C

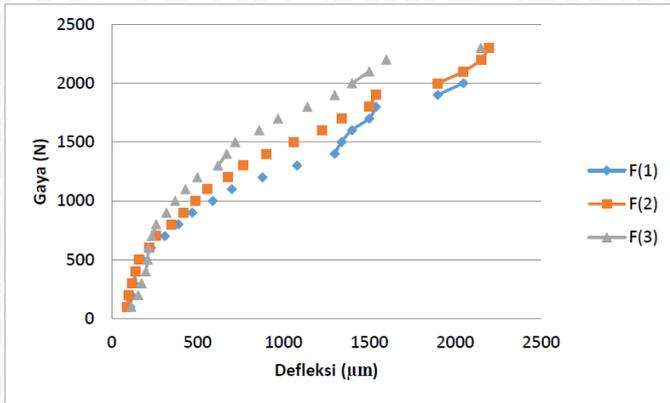


Aging Treatment 200°C

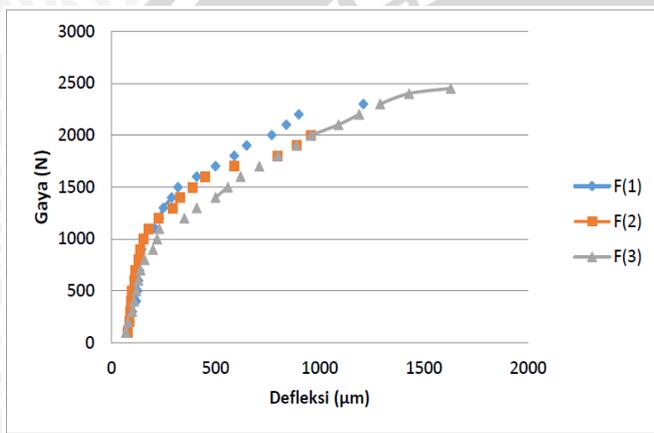


Lampiran 3. Grafik Hubungan Defleksi Terhadap Beban Maksimal

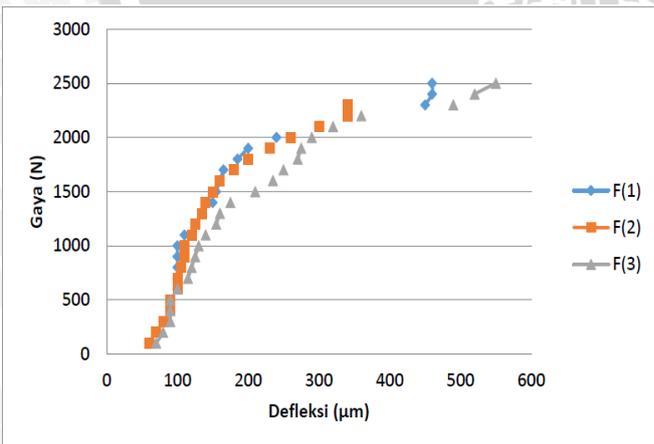
Aging Treatment 100°C



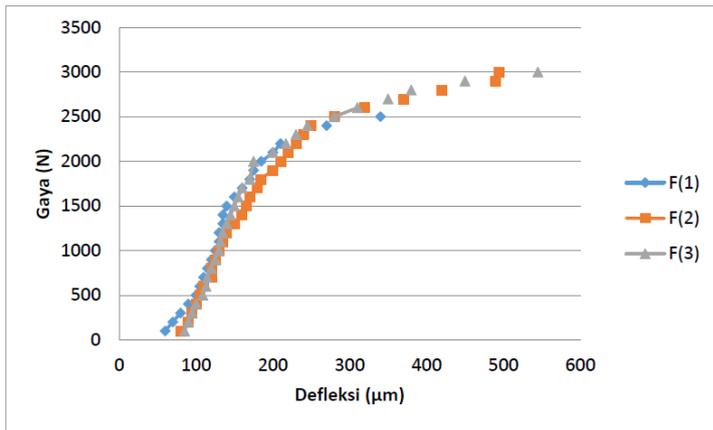
Aging Treatment 125°C



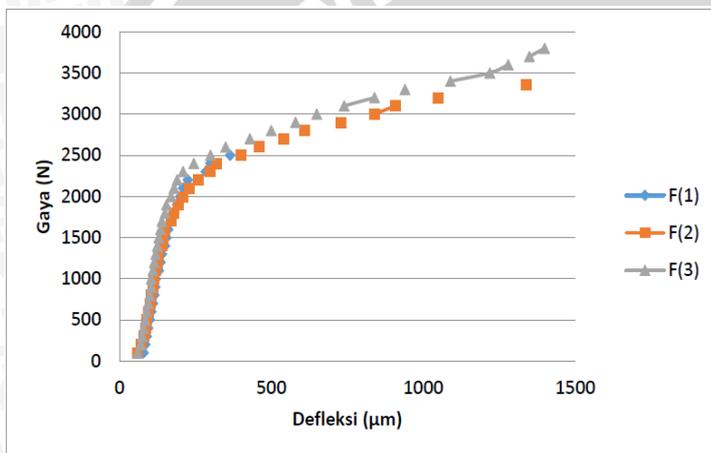
Aging Treatment 150°C



Aging Treatment 175°C



Aging Treatment 200°C



Lampiran 4. Sertifikat kadar unsur Al-Mg-Si

FROM : FAX NO. : Oct. 30 2012 09:58AM P

INSPECTION CERTIFICATE No 11.9585

EN 10204 - 3.1

KUM-04



Consigner:										
Consignee:					Quantity: 29					
Contract number: V1263-S					Net Weight, kg.: 1422					
Article number: PO-KL M-01/170111 part 1					Specification No: V1263					
					Lot No: 1					
					Package No: 715210					
Description of Goods: Sheet:										
Grade of Product			Dimensions, Inch/mm			Requirements on the Product:				
			8.000X1216.2X2438.4			Material conforms to quality of alloy: 6081 T651				
Product conforms to all requirements of: ASTM B208-07 This product conforms to European Union RoHS Directive 2002/95/EC										
Mechanical Properties										
The Condition of Tested Standards	Lot Number	Cast Number	Number of Tests	Tensile Strength		Yield Strength (0.2% offset)		Elongation, %		Hardness HB
				ksi	ksi	min	max	min	max	
Required				-	-	-	-	-	-	-
	070190	13-6158	5	45.2	45.7	41.0	42.5	12.0	14.0	
Chemical Composition, %										
Element	Silicon Si	Iron Fe	Copper Cu	Manganese Mn	Magnesium Mg	Chromium Cr	Nickel Ni	Zinc Zn	Titanium Ti	Zirconium Zr
Required	0.4-0.8	0.7	0.15-0.40	0.15	0.8-1.2	0.04-0.35	-	0.25	0.15	-
Contents	0.88	0.22	0.21	0.08	1.01	0.06	-	0.08	0.08	-
Element	Ti+Zr	Al	Tin Sn	Bismuth Bi	Plumbum Pb	Mn+Cr	Ce	Other Elements		Al
								Each	Total	
Required	-	-	-	-	-	-	-	0.06	0.15	remainder
Contents	-	-	-	-	-	-	-	0.06	0.15	remainder
Other Tests										
Method	Macro-structure	Micro-structure	USI	Electro-conductivity	SCF	Contents H2 of metals cm3/100gr				
Result	-	-	-	-	-	-				



Lampiran 5 Data Pengujian *Bending*

Variasi 100°C

Spesimen 1

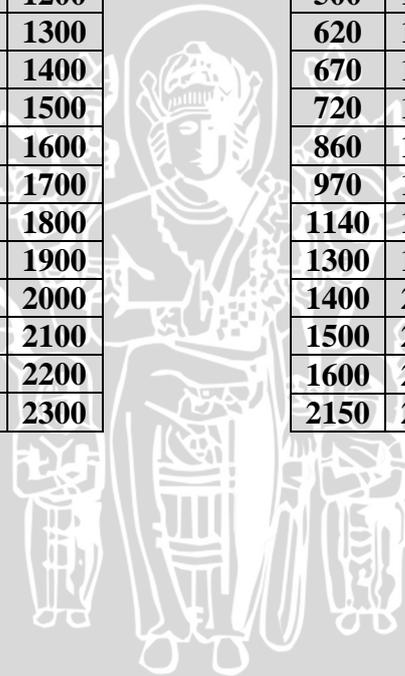
ΔL	F
110	100
120	200
130	300
140	400
180	500
230	600
310	700
390	800
470	900
590	1000
700	1100
880	1200
1080	1300
1540	1400
1580	1500
1600	1600
1650	1700
1720	1800
1900	1900
2050	2000

Spesimen 2

ΔL	F
90	100
100	200
120	300
140	400
160	500
220	600
260	700
350	800
420	900
490	1000
560	1100
680	1200
770	1300
900	1400
1060	1500
1225	1600
1340	1700
1500	1800
1540	1900
1900	2000
2050	2100
2150	2200
2200	2300

Spesimen 3

ΔL	F
115	100
155	200
175	300
200	400
210	500
215	600
235	700
260	800
320	900
370	1000
430	1100
500	1200
620	1300
670	1400
720	1500
860	1600
970	1700
1140	1800
1300	1900
1400	2000
1500	2100
1600	2200
2150	2300



Variasi 125° C

Spesimen 1

ΔL	F
80	100
90	200
100	300
120	400
125	500
130	600
135	700
140	800
145	900
150	1000
210	1100
230	1200
250	1300
290	1400
320	1500
410	1600
500	1700
590	1800
650	1900
770	2000
840	2100
900	2200
1210	2300

Spesimen 2

ΔL	F
80	100
85	200
90	300
95	400
100	500
110	600
115	700
130	800
140	900
155	1000
180	1100
225	1200
295	1300
330	1400
390	1500
450	1600
590	1700
800	1800
890	1900

Spesimen 3

ΔL	F
70	100
80	200
100	300
110	400
120	500
130	600
140	700
160	800
200	900
220	1000
230	1100
350	1200
410	1300
500	1400
560	1500
620	1600
710	1700
800	1800
890	1900
960	2000
1090	2100
1190	2200
1290	2300
1430	2400
1630	2450

Variasi 150° C

Spesimen 1

ΔL	F
60	100
70	200
80	300
90	400
90	500
100	600
100	700
100	800
100	900
100	1000
110	1100
125	1200
135	1300
150	1400
155	1500
160	1600
165	1700
185	1800
200	1900
240	2000
300	2100
340	2200
450	2300
460	2400
460	2500

Spesimen 2

ΔL	F
60	100
70	200
80	300
90	400
90	500
100	600
100	700
105	800
110	900
110	1000
120	1100
125	1200
135	1300
140	1400
150	1500
160	1600
180	1700
200	1800
230	1900
260	2000
300	2100
340	2200

Spesimen 3

ΔL	F
70	100
80	200
90	300
90	400
90	500
100	600
115	700
120	800
125	900
130	1000
140	1100
155	1200
160	1300
175	1400
210	1500
235	1600
250	1700
270	1800
275	1900
290	2000
320	2100
360	2200
490	2300
520	2400
550	2500

Variasi 175° C

Spesimen 1

ΔL	F
60	100
70	200
80	300
90	400
100	500
105	600
110	700
115	800
120	900
125	1000
130	1100
130	1200
135	1300
135	1400
140	1500
150	1600
160	1700
170	1800
175	1900
185	2000
200	2100
210	2200
240	2300
270	2400
340	2500

Spesimen 2

ΔL	F
80	100
90	200
95	300
100	400
105	500
110	600
120	700
120	800
125	900
130	1000
135	1100
140	1200
150	1300
160	1400
165	1500
170	1600
180	1700
185	1800
200	1900
210	2000
220	2100
230	2200
240	2300
250	2400
280	2500
320	2600
370	2700
420	2800
490	2900
495	3000

Spesimen 3

ΔL	F
85	100
90	200
95	300
100	400
109	500
113	600
115	700
120	800
125	900
130	1000
132	1100
135	1200
140	1300
145	1400
150	1500
155	1600
160	1700
170	1800
175	1900
180	2000
200	2100
217	2200
230	2300
245	2400
280	2500
310	2600
350	2700
380	2800
450	2900
545	3000

Variasi 200° C

Spesimen 1

ΔL	F
80	100
85	200
90	300
95	400
100	500
105	600
110	700
115	800
118	900
120	1000
130	1100
135	1200
140	1300
150	1400
155	1500
160	1600
170	1700
180	1800
190	1900
200	2000
210	2100
225	2200
285	2300
300	2400
365	2500

Spesimen 2

ΔL	F
60	100
70	200
80	300
85	400
90	500
95	600
100	700
105	800
110	900
115	1000
120	1100
125	1200
130	1300
140	1400
145	1500
150	1600
170	1700
180	1800
195	1900
210	2000
230	2100
260	2200
300	2300
320	2400
400	2500
460	2600
540	2700
610	2800
730	2900
840	3000
910	3100
1050	3200
1340	3350

Spesimen 3

ΔL	F
60	100
70	200
75	300
80	400
85	500
90	600
95	700
100	800
105	900
105	1000
110	1100
115	1200
120	1300
125	1400
130	1500
135	1600
140	1700
150	1800
155	1900
170	2000
180	2100
190	2200
210	2300
245	2400
300	2500
350	2600
430	2700
500	2800
580	2900
650	3000
740	3100
840	3200
940	3300
1090	3400
1220	3500
1280	3600
1350	3700
1400	3800