

**PENGARUH AGING TREATMENT TERHADAP CACAT PERMUKAAN DAN
DISTRIBUSI KEKERASAN SILINDER Al-Mg-Si PADA SQUEEZE CASTING**

**SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI**

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh :

PETTER WIYONO
NIM. 0910623015-62

KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

JURUSAN MESIN

MALANG

2014

LEMBAR PERSETUJUAN

**PENGARUH AGING TREATMENT TERHADAP CACAT PERMUKAAN DAN
DISTRIBUSI KEKERASAN SILINDER Al-Mg-Si PADA SQUEEZE CASTING**

**SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI**



Disusun Oleh :

**PETTER WIYONO
NIM. 0910623015-62**

Telah diperiksa dan disetujui oleh

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

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

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

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH AGING TREATMENT TERHADAP CACAT PERMUKAAN DAN
DISTRIBUSI KEKERASAN SILINDER Al-Mg-Si PADA SQUEEZE CASTING**

**SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh :

**PETTER WIYONO
NIM. 0910623015-62**

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
Tanggal 29 Januari 2014

DOSEN PENGUJI

Skripsi I

Skripsi II

Dr. Eng. Denny Widhiyanuriawan, ST., MT.
NIP. 19750113 200012 1 001

Dr. Eng. Eko Siswanto, ST., MT.
NIP. 19701017 199802 1 001

Komprehensif

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

Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Mesin

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

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 Tekanan Plunger pada Squeeze Casting Terhadap Porositas dan Kekuatan Puntir Silinder Al-Mg-Si”**.

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 Prof.. Dr. Ir. Rudy Soenoko, M.Eng.Sc selaku dosen wali
- Bapak Ir. Tjuk Oerbandono, M.Sc., CSE., selaku Ketua Konsentrasi Teknik Produksi dan dosen pembimbing kedua Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- Bapak Dr. Eng. Yudy Surya Irawan, ST., M.Eng., selaku dosen pembimbing pertama
- 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.
- Ayah (Bambang Wiyono), Ibu (Mie Ngiek), dan kakakku (Liana Dewi)
- Sobat Skripsi (Hilmi Iman F.; Arfian Hardianto; Anditya Adi P.)
- Keluarga besar PMK Yehezkiel, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
- Rekan – rekan PMK Yehezkiel 2009 (Rio Rama P.; Ryan Cendyriawan; Fredrick Yohanes P.; Gentha Fernanda; Shinta Retno P.)
- 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.

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	v
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR LAMPIRAN	viii
RINGKASAN	ix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah	2
1.4. Tujuan Penelitian	3
1.5. Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1. Penelitian Sebelumnya	4
2.2. Pengecoran Logam	4
2.2.1 Definisi Pengecoran Logam	4
2.2.2 Macam-Macam Pengecoran Logam	5
2.2.3 Pengecoran <i>Squeeze (Squeeze Casting)</i>	7
2.2.4 Parameter Proses <i>Squeeze Casting</i>	8
2.2.5 Aplikasi <i>Squeeze Casting</i>	10
2.3. Sifat-Sifat Logam Cair	10
2.3.1 Perbedaan Logam Cair dan Air	10
2.3.2 Fluiditas	11
2.4. Pembekuan Logam	12
2.5. Alumunium	15
2.5.1 Pengolahan Alumunium	15
2.5.2 Sifat-sifat Alumunium	15
2.5.3 Pengaruh Unsur-Unsur Paduan	16
2.5.4 Alumunium Paduan	17
2.6. <i>Aging Treatment</i>	18
2.6.1 <i>Natural Aging</i>	18
2.6.2 <i>Artificial Aging</i>	18

2.6.3 Pengaruh <i>Aging Treatment</i> Terhadap Mikrostruktur	
Al-Mg-Si	21
2.7. Macam-macam Cacat Coran.....	22
2.8. Pengujian Kekerasan.....	24
2.8.1 Pengujian Kekerasan <i>Brinell</i>	24
2.8.2 Pengujian Kekerasan <i>Vickers</i>	25
2.8.3 Pengujian Kekerasan <i>Rockwell</i>	26
2.9. Hipotesa	26
BAB III METODE PENELITIAN	27
3.1. Tempat Penelitian	27
3.2. Variabel Penelitian.....	27
3.3. Alat dan Bahan Penelitian.....	28
3.4. Prosedur Penelitian	29
3.4.1 Prosedur <i>Squeeze Casting</i>	29
3.4.2 Prosedur Proses <i>Solution Treatment</i> dan <i>Artificial Aging Treatment</i>	31
3.4.3 Prosedur Pengujian Cacat Permukaan	32
3.4.4 Prosedur Pengujian dan Pengambilan Data Kekerasan	32
3.4.5 Prosedur Pengujian Mikrostruktur.....	33
3.5 Diagram Alir Penelitian	34
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	36
4.1. Hasil Pengujian	36
4.1.1 Hasil dan Pembahasan Cacat Permukaan	36
4.1.2 Hasil dan Pembahasan Distribusi Kekerasan.....	37
4.1.3 Hasil dan Pembahasan Foto Mikrostruktur	41
BAB V PENUTUP	42
5.1. Kesimpulan	42
5.2. Saran	42

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Koefisien Kekentalan dan Tegangan Permukaan dari Logam	11
Tabel 2.2	Sifat-sifat Fisik Aluminium	17
Tabel 4.1	Data hasil Inspeksi Jumlah <i>Pin Holes</i>	33
Tabel 4.2	Data hasil Inspeksi Jumlah <i>Blow Holes</i>	34
Tabel 4.3	Data hasil Pengujian Kekerasan Bagian I	34
Tabel 4.4	Data hasil Pengujian Kekerasan Bagian II	35
Tabel 4.5	Data hasil Pengujian Kekerasan Bagian III	35



DAFTAR GAMBAR

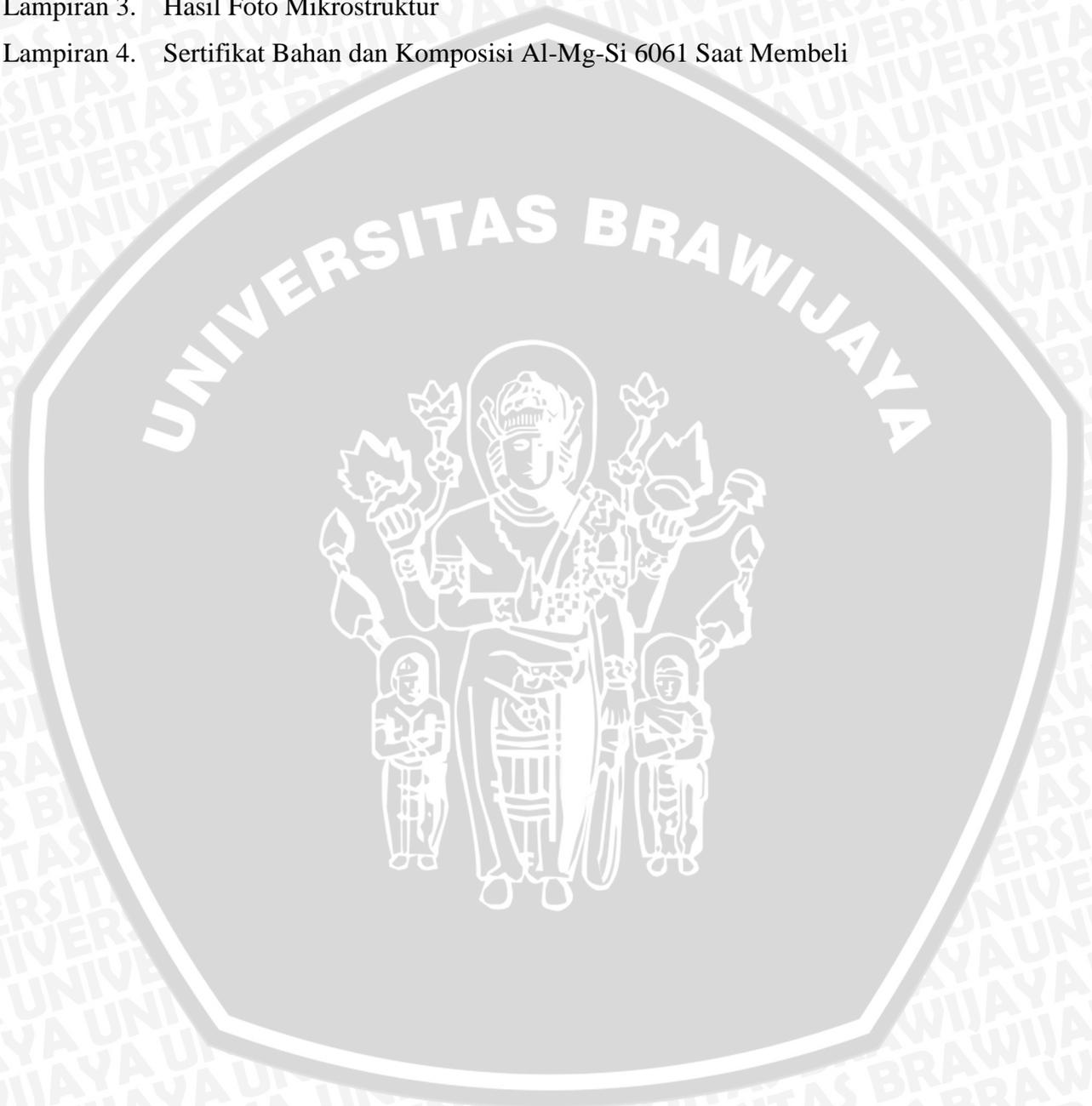
No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Mekanisme <i>Direct Squeeze Casting</i>	8
Gambar 2.2	Mekanisme <i>Indirect Squeeze Casting</i>	8
Gambar 2.3	Berbagai jenis part <i>ferrous</i> dan <i>non-ferrous</i> yang dibuat menggunakan pengecoran <i>Squeeze</i>	10
Gambar 2.4	Grafik hubungan antara fluiditas terhadap panas dari logam	12
Gambar 2.5	Ilustrasi skematis dari pembekuan logam	13
Gambar 2.6	Struktur <i>Chill</i> , <i>Columnar</i> , dan <i>Equiaxed Zone</i>	14
Gambar 2.7	Grafik Hubungan Lama Waktu <i>Artificial Aging</i> dengan Kekuatan Tarik pada Paduan Al-6061	19
Gambar 2.8	Grafik Hubungan Lama Waktu <i>Artificial Aging</i> dengan Kekuatan Luluh pada Paduan Al-6061	20
Gambar 2.9	Grafik Hubungan Lama Waktu <i>Artificial Aging</i> dengan Perpanjangan pada Paduan Al-6061	20
Gambar 2.10	Mikrostruktur Al-Mg-Si Hasil Aging Treatment (a) Casting (b) <i>Squeeze Casting</i> dengan Tekanan 70 MPa	21
Gambar 2.11	Cacat <i>Pin Holes</i>	22
Gambar 2.12	Cacat <i>Blow Holes</i>	23
Gambar 2.13	Cacat <i>Shift</i>	23
Gambar 2.14	Cacat <i>Porosity</i>	24
Gambar 2.15	Pengujian Kekerasan <i>Brinell</i>	25
Gambar 2.16	Pengujian Kekerasan <i>Vickers</i>	26
Gambar 3.1	Cetakan <i>Squeeze Casting</i> (ukuran dalam mm)	30
Gambar 3.2	Instalasi <i>Squeeze Casting</i>	30
Gambar 3.3	Grafik Hubungan Antara Waktu dan Temperatur dalam Proses <i>Solution Treatment</i> dan <i>Artificial Aging</i>	31
Gambar 3.4	Spesimen Uji Kekerasan	32
Gambar 3.5	Spesimen Uji Mikrostruktur	33
Gambar 3.6	Diagram Alir Penelitian	34
Gambar 4.1	(a) <i>Pin Holes</i> (b) <i>Blow Holes</i>	36
Gambar 4.2	Grafik Nilai Kekerasan pada Variasi <i>Aging Treatment</i> Spesimen Hasil <i>Squeeze Casting</i> Penampang A	38

Gambar 4.3	Grafik Nilai Kekerasan pada Variasi Aging Treatment Spesimen Hasil Squeeze Casting Penampang B	39
Gambar 4.4	Grafik Nilai Kekerasan pada Variasi Aging Treatment Spesimen Hasil Squeeze Casting Penampang C	40
Gambar 4.5	Foto Mikrostruktur (a) Tanpa Perlakuan (b) Aging Treatment 200 °C	41



DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul
Lampiran 1.	Foto Spesimen Hasil <i>Aging Treatment</i>
Lampiran 2.	Foto Spesimen Hasil Pengujian <i>Micro Vickers</i>
Lampiran 3.	Hasil Foto Mikrostruktur
Lampiran 4.	Sertifikat Bahan dan Komposisi Al-Mg-Si 6061 Saat Membeli



RINGKASAN

Petter Wiyono, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Januari 2014, *Pengaruh Aging Treatment Terhadap Cacat Permukaan dan Distribusi Kekerasan Silinder Al-Mg-Si pada Squeeze Casting*, Dosen Pembimbing: Yudy Surya Irawan dan Tjuk Oerbandono.

Dengan berkembangnya zaman, maka teknologi juga semakin maju. Dalam dunia perindustrian menuntut adanya perkembangan juga. Dalam beberapa produk industri, ada berbagai macam sifat mekanik yang di harapkan, salah satunya adalah kekerasan. Kekerasan adalah kemampuan suatu benda untuk dapat menahan gaya penetrasi, selain itu porositas pada produk hasil coran juga berpengaruh terhadap kekerasan. *Squeeze Casting* adalah suatu proses pengecoran dimana logam cair dibekukan di bawah tekanan eksternal yang relatif tinggi. Proses ini pada dasarnya mengkombinasikan keuntungan-keuntungan pada proses *forging* dan *casting*. *Squeeze Casting* 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. Proses penuangan harus dilakukan secara singkat untuk mencegah terjadinya solidifikasi dini. Tekanan yang digunakan sangat bervariasi dengan menggunakan material AL-Mg-Si. Saat proses *squeeze casting*, cetakan perlu dipanaskan terlebih dahulu untuk mengurangi terjadinya solidifikasi dini. Setelah produk hasil pengecoran selesai, maka akan dilanjutkan proses *aging treatment*. *Aging treatment* adalah proses yang dilakukan untuk meningkatkan kekerasan dengan mengkondisikan suhu lingkungan sesuai yang diinginkan dengan waktu tertentu. Diharapkan dengan perlakuan *aging* dapat meningkatkan kekerasan yang lebih baik dibandingkan dengan produk hasil *squeeze casting* saja.

Ada beberapa variabel dalam penelitian ini, antara lain, Variabel bebasnya adalah variasi temperatur perlakuan *aging* 100°C; 125°C; 150°C; 175°C; 200°C. Variabel terikatnya adalah cacat permukaan (*pin holes*, *blow holes*) dan kekerasan (VHN). Kemudian untuk variabel terkontrolnya adalah temperatur tuang logam cair sebesar 900 °C, time delay dengan lama waktu 5 menit, temperatur cetakan sebesar 150 °C, tekanan plunger sebesar 75 MPa, lama waktu *solution treatment* dan *artificial aging* adalah 8 jam

Setelah dilakukan penelitian, maka diperoleh hasil distribusi kekerasan yang lebih merata setelah dilakukan *aging treatment* pada spesimen variasi suhu *aging* 175°C penampang A dengan hasil dari titik satu sampai lima sebesar 95.24 VHN; 97.72 VHN; 96.88VHN; 94.98VHN; 96.33VHN.

Kata Kunci : *squeeze casting*, *aging treatment*, cacat permukaan, distribusi kekerasan.

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring berkembangnya teknologi di era globalisasi ini, maka semakin banyak pula dunia perindustrian yang berkembang. Bagaimana sebuah teknologi yang maju mempermudah setiap pengerjaan yang ada. Hal ini menuntut dunia perindustrian untuk bersaing lebih ketat dalam proses produksinya. Untuk memproduksi sebuah produk terdapat beberapa langkah. Salah satu langkah awal dari proses tersebut adalah pembentukan dengan pengecoran.

Pengecoran logam sudah sangat berkembang dari saat pertama ditemukan. Banyak metode pengecoran yang telah ditemukan, antara lain *centrifugal casting*, *die casting*, *slush casting*, dan lain-lain. Semuanya memiliki kelemahan dan kelebihan tergantung dari produk yang akan digunakan. Untuk membuat produk dengan proses pengecoran, kita harus memilih metode pengecoran yang tepat, untuk menghasilkan kemampuan suatu produk yang optimal. Salah satu perkembangannya adalah ditemukannya pengecoran logam dengan metode *Squeeze Casting*.

Secara garis besar *Squeeze Casting* adalah 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 dalam cetakan pengecoran *squeeze* diklasifikasikan menjadi 2, yaitu:

- a. DSC (*Direct Squeeze Casting*) merupakan proses pengecoran dimana logam cair langsung dituang ke cetakan dan diberi tekanan.
- b. ISC (*Indirect Squeeze Casting*), merupakan proses pengecoran dimana logam cair tidak langsung dituang melainkan akan dibantu dengan piston untuk masuk ke cetakannya.

Setelah produk hasil pengecoran selesai, maka akan dilanjutkan proses *aging treatment*. *Aging treatment* adalah proses yang dilakukan untuk meningkatkan kekerasan dengan mengkondisikan suhu lingkungan sesuai yang diinginkan dengan waktu tertentu (Brook dkk. 1991: 1915). Diharapkan produk hasil *squeeze casting* dengan prosentase porositas yang rendah tadi memiliki kekerasan yang tinggi pula.

Dalam penelitian ini produk yang dihasilkan berupa silinder dengan menganalisa pengaruh parameter pada *aging treatment* agar diperoleh produk yang memiliki kualitas baik. Parameter yang divariasikan yaitu temperatur pada saat proses *aging*. Dalam prosesnya, logam cair dari dapur listrik dicor menggunakan *squeeze casting* dengan menggunakan tekanan tertentu. Tekanan disini sangat berpengaruh terhadap hasil coran. Hal ini disebabkan karena semakin besar tekanan maka gaya pendorong untuk mendorong logam cair semakin besar sehingga dapat menyebabkan udara lebih cepat keluar sebelum logam cair membeku dan cacat porositas produknya akan semakin berkurang. Terbukti dengan semakin besarnya tekanan pada plunger maka semakin kecil cacat porositasnya jadi produk hasil akan semakin baik pula kualitasnya. (Firdaus. 2002). Setelah spesimen didinginkan pada suhu ruangan, kemudian dilanjutkan proses *aging* dengan memanaskannya didalam dapur pemanas.

Dari penjelasan di atas maka dalam penelitian ini akan dicari pengaruh *aging treatment* pada *squeeze casting* terhadap cacat permukaan dan distribusi kekerasan pada silinder Al-Mg-Si.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, pokok permasalahan dalam skripsi ini adalah “Bagaimana pengaruh *aging treatment* terhadap cacat permukaan dan distribusi kekerasan produk hasil *squeeze casting*”

1.3 Batasan Masalah

Berdasarkan rumusan masalah, hal yang menjadi prioritas utama masalah adalah sebagai berikut :

1. Pembahasan pada cacat permukaan berupa *blow holes* dan *pin holes*, serta distribusi kekerasan produk dengan metode visual menggunakan kaca pembesar.
2. Spesifikasi bahan yang digunakan adalah campuran Aluminium Al-Mg-Si yang dianggap homogen.
3. Temperatur penuangan aluminium hingga 900°C dilihat pada panel dapur listrik.

4. Kecepatan penuangan dijaga konstan yaitu $7,5 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$, sehingga penurunan suhu udara lingkungan diabaikan.
5. Pengujian kekerasan sebanyak lima titik segaris melewati titik tengah penampang dengan asumsi dapat mewakili nilai kekerasan diseluruh titik tiap penampang.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin diperoleh dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh *aging treatment* terhadap cacat permukaan dan distribusi kekerasan produk hasil proses *squeeze casting*.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mampu menerapkan teori yang didapatkan selama perkuliahan terutama berkenaan dengan teknologi pengecoran logam.
2. Memberikan masukan yang bermanfaat bagi industri pengecoran logam dalam peningkatan kualitas hasil coran.
3. Memberikan referensi tambahan bagi penelitian lebih lanjut mengenai pengecoran logam.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Duskiardi dan Tjitro (2002) melakukan riset tentang *squeeze casting* dengan memvariasikan tekanan dan suhu cetakan dengan harapan dapat meningkatkan 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%. Dalam penelitian ini belum dilakukan *aging treatment* untuk meningkatkan kekerasannya.

Selang beberapa tahun, **Chee dan Mohamad (2009)** melakukan penelitian kekerasan pada paduan aluminium 6061-T6 dengan *precipitation hardening*. Dengan memvariasikan suhu *aging* antara 175 – 420⁰C 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 – 195⁰C dengan lama waktu 2 – 6 jam. Pada penelitian ini, spesimen tidak menggunakan hasil dari *squeeze casting* namun penelitian ini sama dengan penelitian Duskiardi dan Soejono dalam hal peningkatan kekerasan.

Dalam penelitian ini **Purnomo (2012)** melakukan penelitian tentang *squeeze casting* dengan memvariasikan tekanan *plunger* sehingga menghasilkan porositas yang rendah dan kekuatan puntir yang tinggi. Material yang digunakan adalah Al-Mg-Si. Secara garis besar penelitian ini sama dengan Duskiardi dan Soejono, namun sifat mekanik yang diteliti adalah kekuatan puntir dan porositasnya. Tekanan yang digunakan pun bervariasi. Dari penelitian ini peneliti memvariasikan tekanan untuk memperoleh nilai kekuatan puntir yang maksimal namun % porositas yang minimal. Tekanan 50 MPa memiliki nilai kekuatan puntir maksimal sebesar 179,3524 MPa dan 0,45% nilai porositas minimal.

Disaat yang sama **Aristiyono (2012)** melakukan penelitian yang sama dengan Purnomo, namun variabel terikatnya adalah porositas dan kekuatan tarik. Diharapkan semakin tinggi tekanan, porositas yang dihasilkan semakin rendah namun kekuatan tariknya semakin tinggi. Penelitian yang dilakukan hampir sama dengan yang dilakukan Purnomo, namun spesimen diuji kekuatan tarik dan % porositasnya. Hasilnya adalah semakin besar tekanan yang diberikan pada produk, maka nilai % porositas semakin menurun dan kekuatan tariknya meningkat.

2.2 Pengecoran Logam

2.2.1 Definisi Pengecoran Logam

Definisi pengecoran logam (*metal casting*) adalah salah satu proses manufaktur dimana logam dicairkan dalam tungku peleburan kemudian di tuangkan kedalam rongga cetakan (*cavity*) yang serupa dengan bentuk asli dari produk cor yang akan dibuat.

Dalam hal ini dijelaskan prinsip dasar pengecoran logam adalah mencairkan logam dalam dapur kemudian menuangkan logam cair tersebut kedalam cetakan, yang mana cetakan itu memiliki kemampuan untuk tahan terhadap temperatur tinggi dengan bentuk rongga cetakan sesuai bentuk logam yang dibuat, kemudian dibiarkan dingin lalu membeku. Terdapat beberapa urutan kegiatan yang harus dilakukan dalam melakukan pengecoran logam diantaranya membuat cetakan, pencairan logam, pembersihan logam, dan pemeriksaan hasil coran. Keuntungannya antara lain:

- Mampu digunakan untuk produksi massal
- Sifat-sifat mekanik yang jauh lebih baik mampu dihasilkan dengan proses pengecoran.
- Mampu menghasilkan produk yang menyerupai replikanya.
- Mampu membuat bentuk yang rumit, baik di bagian luar maupun bagian dalam sehingga banyak proses yang dapat diminimalisir
- Mampu membuat benda dengan ukuran yang sangat besar dan berat.

2.2.2 Macam-Macam Pengecoran Logam

Berikut beberapa macam pengecoran logam :

A. *Expandable mold casting*

Expandable mold casting adalah suatu alat cetak yang hanya dapat digunakan untuk sekali proses pengecoran. Bahan yang digunakan untuk cetakan ini adalah gips, pasir, keramik, dan sejenis material yang dicampur bahan pengikat. Berikut macamnya :

1. *Sand Casting*

Dalam hal ini cetakan dibuat dengan cara memadatkan pasir di atas pola. Sehingga saat pola diangkat maka terbentuklah rongga cetakan.

2. *Plaster Mold Casting*

Pada proses ini cetakan dibuat dari gips untuk bentuk 3 dimensi. Biasanya digunakan untuk membuat patung, wajah, fosil, dan paleontologi.

3. *Ceramic Mold Casting*

Hampir sama dengan *Plaster Mold Casting*, namun cetakan yang terbuat dari keramik ini membuatnya lebih tahan suhu logam cair yang tinggi.

4. *Expendable Graphite Molds*

Cetakan ini digunakan untuk logam titanium yang cenderung bereaksi dengan cetakan pada umumnya. Cetakan ini diperkuat dengan semen, kanji, dan air. Cetakan ini perlu dipanaskan sampai 1000°C untuk memperkuat grafit.

5. *Rubber Mold Casting*

Terbuat dari elastomer sintesis yang dapat dicampur dalam bentuk cair kemudian dituang ke pola. Cetakan ini digunakan untuk produk dengan ukuran kecil dan material dengan titik lebur rendah.

6. *Investment Casting*

Adalah proses pengecoran kuno, digunakan untuk produk yang sangat rumit. Pola dibuat dari lilin, kemudian dicelupkan ke dalam keramik cair. Didiamkan sampai keramik yang melapisi pola mengeras. Setelah itu Logam cair dituang sehingga mencairkan pola lilin dan memenuhi cetakan keramik. Jadilah produk sesuai cetakan yang diinginkan.

B. *Multiple-use mold casting*

Multiple-use mold casting adalah proses pengecoran yang mengatasi banyak keterbatasan, proses ini memiliki kelebihan tersendiri. Namun biasanya digunakan dalam pengecoran dengan material logam *nonferrous*. Kebanyakan ukuran dari bagian produk terbatas, juga tingginya harga pembuatan cetakannya. Berikut macamnya :

1. *Permanent Mold Casting*

Proses pengecoran yang cetakannya dapat digunakan kembali. Cetakan biasanya terbuat dari besi cor abu – abu, baja, kuningan, grafit. Cetakan dipanaskan terlebih dahulu, kemudian dijepit tutup. Logam cair dituang dengan sederhana searah gravitasi. Jenis *permanent mold casting* adalah *slush casting*, *Corthias casting*, *low-pressure permanent mold casting*, *vacuum permanent mold casting*.

2. *Die Casting*

Berbeda dengan *permanent mold casting*, pada *die casting* logam dipaksa memasuki rongga cetakan dengan menggunakan tekanan 1000 pound/inch dan menahannya

selama proses pembekuan. Cetakannya sangat kuat dan produk yang dihasilkan sangat kompleks.

3. *Squeeze Casting (Liquid-Metal Forging)*

Adalah kombinasi dari pengecoran dan *forging*. Volume yang tepat dituang ke dalam cetakan dan setelah sebagian logam membeku, bagian cetakan atas turun memberikan tekanan selama proses pembekuan.

4. *Centrifugal Casting*

Memanfaatkan gaya inersia sehingga dapat merotasikan logam cair. Tujuannya adalah supaya logam cair dapat terdistribusikan merata dalam rongga cetakan. Kecepatannya biasa mencapai 300 rpm. Biasanya digunakan untuk produk silinder pipa.

2.2.3 Pengecoran *Squeeze (Squeeze Casting)*

Pengecoran *squeeze* sering digambarkan sebagai suatu proses dimana logam cair dibekukan di bawah tekanan eksternal yang relatif tinggi. Proses ini mengkombinasikan proses *forging* dan *casting*.

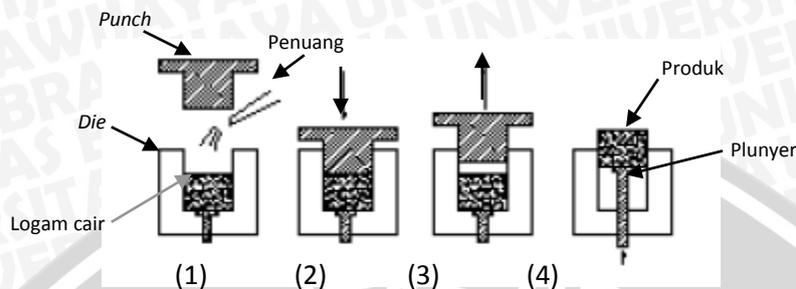
Pengecoran *squeeze* disebut juga penempaan logam cair (*liquid metal forging*). Proses pemadatan logam cair dilakukan di dalam cetakan yang ditekan dengan tenaga hidrolis. Penekanan logam cair oleh permukaan cetakan akan menghasilkan perpindahan panas dan menghasilkan penurunan porositas seperti sering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

Hasil proses penempaan logam cair adalah produk yang mendekati ukuran standarnya (*near-net shape*) dengan kualitas yang baik. Sedangkan struktur mikro hasil pengecoran *squeeze* terlihat lebih padat dibandingkan dengan hasil pengecoran dengan gravitasi. Hal 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.

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

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

DSC merupakan proses pengecoran dimana logam cair didinginkan melalui pemberian tekanan secara langsung yang diharapkan mampu mencegah munculnya porositas gas dan penyusutan. Dari gambar 2.1 dapat kita lihat prosesnya.

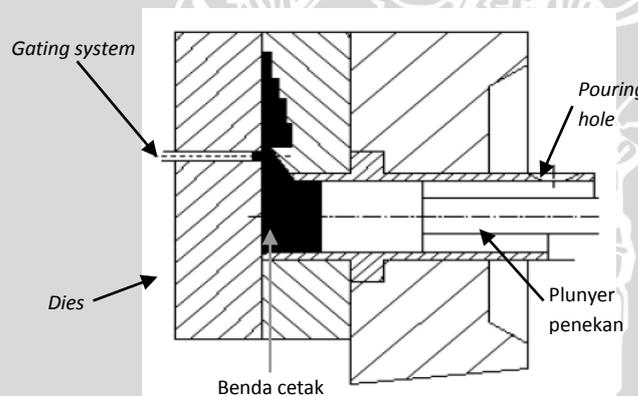


Gambar 2.1 Mekanisme *Direct Squeeze Casting*.

Sumber : Tjitro dan Firdaus. 2000: 110.

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

Istilah *indirect* dipakai untuk menggambarkan injeksi logam ke dalam rongga cetakan dengan bantuan piston berdiameter kecil dimana mekanisme penekan ini dipertahankan sampai logam cair membeku seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Mekanisme *Indirect Squeeze Casting*.

Sumber : Tjitro dan Firdaus. 2000: 110.

2.2.4 Parameter Proses *Squeeze Casting*

Untuk memperoleh produk cor yang memenuhi syarat-syarat ideal bagi suatu *sound – cast*, ada beberapa variabel yang perlu diperhatikan, yaitu :

a) Volume Cairan Logam (*Melt Volume*)

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

b) Temperatur Tuang (*Casting Temperature*)

Temperatur ini tergantung dari jenis paduan dan bentuk coran/komponen. Biasanya temperatur harus di atas temperatur lebur untuk mencegah solidifikasi dini.

c) Temperatur Perkakas (*Tooling Temperature*)

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

d) Waktu Tunggu (*Time Delay*)

Waktu Tunggu adalah lamanya waktu yang diukur dari saat tekanan pada *pressure gauge* mencapai 75 MPa.

e) 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.

f) Durasi Penekanan (*Pressure Duration*)

Durasi penekanan dihitung dari saat *punch* di titik terendah sampai saat *punch* diangkat (penekanan dilepaskan). Produk cor dengan berat 9 kg, durasi penekannya bervariasi antara 30–120 detik. Akan 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 akan menyebabkan makin tingginya kemungkinan untuk mendapatkan aliran laminar.

2.2.5 Aplikasi *Squeeze Casting*



Gambar 2.3 Berbagai jenis part *ferrous* dan *non-ferrous* yang dibuat menggunakan pengecoran *squeeze*.

Sumber : Adam. 1998: 718

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*.

2.3 Sifat-sifat Logam Cair

2.3.1 Perbedaan Logam Cair dan Air

Logam cair adalah cairan seperti air, tetapi berbeda dari air dalam beberapa hal. Yang mana kecairan logam sangat tergantung pada temperatur dan logam cair akan cair sepenuhnya pada temperatur tinggi, sedangkan pada temperatur rendah akan membeku menjadi logam padat.

Berat jenis logam cair lebih besar dari pada berat jenis air. Yang mana berat jenis air sekitar 0,99 sedangkan besi cor bisa mencapai 6,9 lalu paduan aluminium 2,35 dan paduan timah 5,52. Hal ini jelas bahwa berat jenis mereka sangatlah berbeda jauh bila dibandingkan dengan berat jenis air. Oleh karena itu dalam segi alirannya tentu akan berbeda, aliran logam mempunyai kelembaman dan gaya tumbuk yang besar.

Lalu hal lain yang terkait perbedaan antara logam cair dengan air yaitu air menyebabkan permukaan dinding wadah menjadi basah, sedangkan logam cair tidak. Oleh karena itu kalau logam cair mengalir di atas permukaan cetakan pasir, dan ia tidak meresap

ke dalam pasir asalkan jarak antara partikel-partikel pasir cukup kecil. Perbedaan-perbedaan tersebut membuat aliran logam cair pada pengecoran berbeda sampai tingkat tertentu apabila dibandingkan dengan aliran air.

Pada tabel 2.1 berikut ini ditunjukkan koefisien kekentalan dan tegangan permukaan dari logam.

Tabel 2.1 Koefisien kekentalan dan tegangan permukaan dari logam.

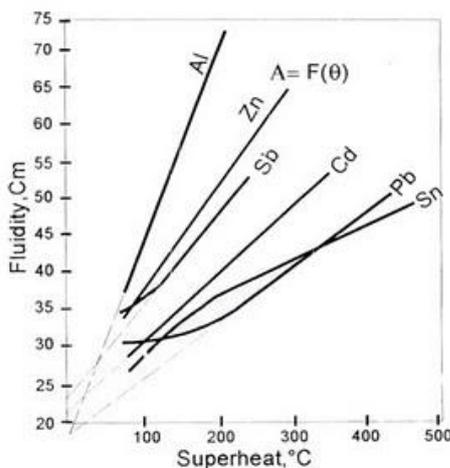
Bahan	Titik cair (°C)	Berat jenis (g/cm ³)	Koefisien kekentalan (g/cm. detik)	Koefisien kekentalan kinematik (cm ² /detik)	Tegangan permukaan (dine/cm)	Tegangan permukaan berat jenis (cm ³ /detik ²)
Air	0	0,9982(20°C)	0,010046(20°C)	0,010064	72(20°C)	72
Air raksa	-38,9	13,56 (20)	0,01547 (20)	0,00114	465(20)	34,5
Tin	232	5,52 (232)	0,01100 (250)	0,00199	540(247)	97,8
Timbal	327	10,55 (440)	0,01650 (400)	0,00156	450(330)	42,6
Seng	420	6,21 (420)	0,03160 (420)	0,00508	750(500)	120
Aluminium	660	2,35 (760)	0,0055 (760)	0,00234	520(750)	220
Tembaga	1.083	7,84 (1.200)	0,0310 (1.200)	0,00395	581(1.200)	74
Besi	1.537	7,13 (1.600)	0,000 (1.600)	0,00560	970(1.600)	136
Besi cor	1.170	6,9 (1.300)	0,016 (1.300)	0,0023	1.150(1.300)	167

Sumber : Surdia dan Kenji. 1996 : 12

2.3.2 Fluiditas

Dalam teknik pengecoran logam, fluiditas tidak diartikan sebagai kebalikan dari viskositas, akan tetapi berarti kemampuan logam cair untuk mengisi ruang-ruang dalam rongga cetak. Fluiditas tidak dapat dikaitkan dengan sifat-sifat fisik secara individu, karena besaran ini diperoleh dari pengujian yang merupakan karakteristik rata-rata dari beberapa sifat-sifat fisik dari logam cair. Fluiditas lebih dikenal dengan sifat mampu alir adalah kemampuan dari suatu zat (dalam hal ini logam cair) untuk mengalir (berpindah tempat) dan mengisi cetakan sebelum membeku. Sifat ini berhubungan dengan viskositas zat cair, semakin tinggi viskositas maka sifat mampu alirnya menurun. Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi fluiditas selain viskositas, diantaranya adalah temperatur penguangan (Gambar 2.4), komposisi logam dan perpindahan panas yang terjadi pada dinding cetakan. Tingginya temperatur penguangan (ditinjau dari titik cair) akan meningkatkan fluiditas dari logam cair sehingga logam cair dapat mencapai seluruh rongga cetakan tanpa adanya pembekuan dini. Komposisi logam juga mempengaruhi fluiditas, terutama menyangkut mekanisme pembekuan (solidifikasi) logam cair. Fluiditas yang baik terdapat pada logam yang membeku pada temperatur konstan, contohnya pada logam mulia. Saat solidifikasi terjadi pada range temperatur tertentu (terutama logam paduan) dapat terjadi solidifikasi sebagian sehingga menurunkan fluiditasnya. Selain itu komposisi logam juga menentukan

heat of fusion (kalor laten), yaitu panas yang dibutuhkan logam untuk mencair seluruhnya. Tingginya kalor laten ini akan meningkatkan fluiditas logam cair.



Gambar 2.4 Grafik hubungan antara fluiditas terhadap panas dari logam.
Sumber : Anonymous 1, 2009

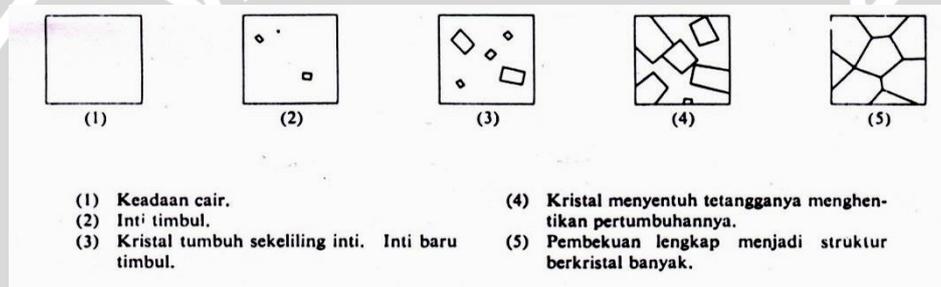
2.4 Pembekuan Logam

Seluruh logam saat proses pembekuan membentuk kristal, susunan teratur (*ordered*) dan atom-atom berulang (*repetitive*) dalam suatu ruang. Atom logam saat kondisi cair berada pada posisi tidak teratur. Saat akan mulai membeku, atom-atom mulai menyusun diri dalam suatu struktur ruang. Atom yang mula-mula menyusun diri adalah atom yang mengalami kestabilan pertama kalinya. Susunan awal atom dikenal dengan sebutan inti atom dan proses pembentukan inti atom disebut pengintian (*crystallization*). Misalkan logam dengan kristal FCC, maka untuk membentuk inti atom membutuhkan 12 atom. Setelah terbentuk inti atom, atom-atom lainnya yang terdapat disekitarnya akan mengikuti inti tersebut, sehingga seolah-olah inti atom berkembang dan memiliki cabang-cabang yang dikenal dengan sebutan *dendrite*.

Pada proses pengintian akan timbul banyak inti atom sehingga banyak pula muncul *dendrite*, masing-masing mempunyai arah atau orientasi yang berbeda. Dendrit akan berkembang lebih besar sehingga nantinya akan menyinggung *dendrite-dendrite* lain yang berkembang. Permukaan yang bersinggungan ini dikenal dengan sebutan batas butir (*grain boundary*), sedangkan kristal yang dibatasi oleh batas butir dikenal dengan sebutan butir. Jika keadaan memungkinkan, misalkan energi yang tersedia cukup besar, satu butir dapat terus berkembang melintasi batas butir, dalam artian atom-atom dari butir lain yang kurang stabil akan mengikuti arah butir tersebut. Jika keadaan ini berlangsung terus-menerus maka pada akhirnya akan terdapat satu butir saja. Jika logam didinginkan secara lambat, maka

dendrite mempunyai waktu yang cukup untuk tumbuh, sehingga akan terbentuk butiran-butiran yang besar. Sebaliknya, jika pendinginan logam secara cepat maka akan menimbulkan butiran-butiran yang kecil. Perbedaan ukuran butir menyebabkan perbedaan sifat mekanik.

Dalam proses pengecoran, solidifikasi terjadi saat logam cair bersentuhan dengan permukaan cetakan, dimana terjadi gradien temperatur yang tinggi, sehingga temperatur bagian luar logam cair lebih rendah dari pada bagian dalam, maka dari itu inti atom mulai terbentuk dari bagian yang dekat dengan cetakan, lalu berkembang kebagian dalam, dari bentuk kecil lalu menjadi besar sepanjang arah logam cair. Lalu inti tersebut membentuk butiran sepanjang luasan logam cair dan berbentuk kolom-kolom, dan akhirnya menjadi padat seluruhnya. Ilustrasi pembekuan logam dapat dilihat pada gambar 2.5 berikut :



Gambar 2.5 Ilustrasi skematis dari pembekuan logam.

Sumber: Surdia dan Kenji. 1996 : 14

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

- Daerah pembekuan cepat (*chill zone*)

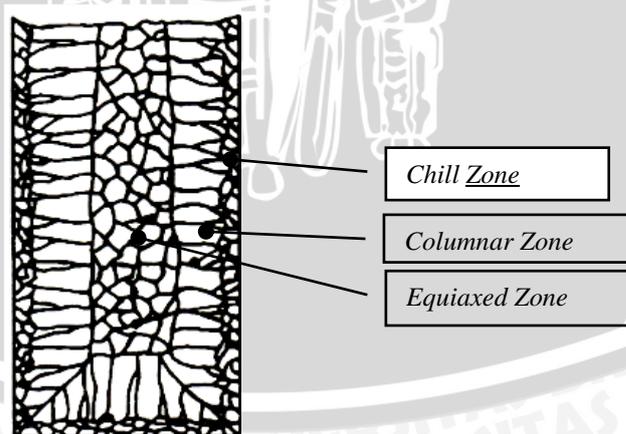
Selama proses penuangan logam cair kedalam cetakan, logam cair yang berkontak langsung dengan dinding cetakan akan mengalami pendinginan yang cepat dibawah temperatur likuidusnya. Daerah ini berada paling luar yang dipengaruhi oleh *heat removal*. Dalam hal ini struktur terbentuk saat kontak pertama 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*

Setelah penuangan, gradien temperatur pada dinding cetakan turun dan kristal pada daerah *chill* tumbuh memanjang dalam arah kristal tertentu. Kristal tersebut tumbuh memanjang berlawanan dengan arah perpindahan panas, yang bergerak dari cairan logam dari dinding cetakan yang bertemperatur tinggi ke arah yang bertemperatur lebih rendah, yang dikenal dengan sebutan dengan dendrit. Setiap kristal dendrit mengandung banyak lengan dendrit (*primary dendrit*). Dengan meningkatnya panjang dendrit dan jika struktur yang terbentuk berfasa tunggal, maka lengan dendrit sekunder dan tersier 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*. *Columnar zone* merupakan batas yang tumbuh setelah gradien suhu pada dinding cetakan turun dan kristal pada *chill zone* tumbuh secara dendritik dengan arah tegak lurus dengan dinding cetakan.

- *Equiaxed zone*

Terdiri dari butir-butir equiaxial yang tumbuh secara acak ditengah-tengah *ingot*. 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. Hal ini ditunjukkan pada gambar 2.6.



Gambar 2.6: Struktur *Chill*, *Columnar*, dan *Equiaxed Zone*.

Sumber: Kalpakjian. 1990 : 279

2.5 Aluminium

2.5.1 Pengolahan Aluminium

Aluminium merupakan salah satu logam yang memiliki banyak kelebihan. Selain ringan, beratnya hanya 1/3 baja, tembaga atau kuningan. Memiliki kekuatan yang baik, bahkan beberapa aluminium paduan kekuatannya melebihi baja. Aluminium tahan terhadap korosi, mampu melawan pengaruh korosi dari elemen-elemen di atmosfer, air (termasuk air garam), oli dan bahan kimia lainnya. Memiliki konduktivitas thermal yang tinggi, konduktivitas listrik dan panas yang baik. Aluminium tidak bersifat magnet, tidak beracun sehingga aman digunakan untuk peralatan dan industri makanan.

Aluminium berasal dari biji aluminium yang disebut bauksit (Al_2O_3). Untuk mendapatkan aluminium murni dilakukan proses pemurnian pada bauksit yang menghasilkan oksida aluminium atau alumina. Kemudian alumina ini dielektrosa sehingga berubah menjadi oksigen dan aluminium. Aluminium adalah logam terpenting dari logam nonferro. Penggunaan aluminium adalah yang kedua setelah besi dan baja (Surdia dan Kenji. 1996 : 129). Keutamaan dari aluminium dalam bidang teknik adalah sifatnya yang unik dan menarik, yaitu mudah untuk pengerjaan lanjutan, beratnya yang ringan, konduktivitas listrik dan panas baik. (De Garmo.1997 : 157).

2.5.2 Sifat-sifat Aluminium

Aluminium mempunyai beberapa sifat fisik yang ditunjukkan pada Tabel 2.2 berikut:

Tabel 2.2 Sifat-sifat fisik aluminium.

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

Sumber: Surdia dan Kenji. 1996:134

Kekurangan dari aluminium dari segi teknik adalah sifat elastisitas aluminium sangat rendah hampir tidak dapat diperbaiki baik dengan pemanduan maupun dengan perlakuan panas.

2.5.3 Pengaruh Unsur-Unsur Paduan

Unsur-unsur pepaduan aluminium diantaranya (Surdia dan Kenji, 1996):

➤ Silikon (Si)

Silikon dalam tabel periodik memiliki lambang Si dan nomor atom 14. Adalah unsur terbanyak kedua di bumi. Silikon mampu meningkatkan sifat mampu cor dan mampu mengurangi penyusutan coran hingga 1,5 kali aluminium murni, mengurangi penyerapan gas dalam pengecoran dan meningkatkan mampu alirnya. Dapat juga meningkatkan ketahanan alirnya serta meningkatkan ketahanan korosi. Namun silikon mempunyai pengaruh buruk yaitu menurunkan sifat mampu mesinnya.

➤ Magnesium (Mg)

Magnesium memiliki simbol Mg dan nomor atom 12 serta berat atom 24,31. Paduan dari magnesium dan aluminium dikenal dengan sebutan "magnalium" atau "magnelium". Magnesium bersifat *paramagnetic* yaitu bahan yang tidak tertarik oleh medan magnet. Penambahan unsur magnesium digunakan untuk meningkatkan daya tahan aluminium dan meningkatkan sifat mampu bentuk serta mampu mesin aluminium tanpa menurunkan keuletannya.

➤ Besi (Fe)

Ferrous adalah sebuah unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki simbol Fe dan nomor atom 26. Fe merupakan logam transisi dan bersifat *ferromagnetic*. Mampu untuk mengurangi penyusutan, tetapi apabila kandungan Fe terlalu besar akan menyebabkan struktur butiran yang kasar. Hal ini bisa diperbaiki dengan menambahkan sejumlah Mn dan C dalam prosentase kecil.

➤ Mangan (Mn)

Mangan dalam tabel periodik memiliki lambang Mn dan nomor atom 25. Penambahan Mn akan meningkatkan ketahanan karat aluminium dan apabila dipadu dengan Mg akan memperbaiki kekuatannya.

➤ Seng (Zn)

Seng (atau *zinc*) adalah unsur kimia dengan simbol kimia Zn, nomor atom 30, dan massa atom relatif 65,39. Umumnya ditambahkan dengan tembaga dalam prosentase yang kecil. Dengan penambahan ini akan meningkatkan sifat-sifat mekanis tanpa perlakuan panas serta memperbaiki sifat mampu mesin.

➤ Tembaga (Cu)

Tembaga adalah suatu unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki lambang Cu dan nomor atom 29. Merupakan konduktor panas dan listrik yang baik, memiliki korosi yang lambat. Tembaga juga bersifat *paramagnetic*. Penambahan Cu akan memperbaiki sifat mampu mesin aluminium paduan. Selain itu dengan atau tanpa paduan lainnya akan meningkatkan kekuatan, dan kekerasan.

2.5.4 Aluminium Paduan

Dibawah ini adalah beberapa paduan aluminium yang penting :

1. Paduan Al-Si

Paduan Al-Si merupakan paduan yang baik fluiditasnya, mempunyai permukaan coran yang baik tanpa kegetasan panas, tahan korosi, koefisien muai yang kecil, penghantar panas yang baik, dan ringan.

2. Paduan Al-Zn

Merupakan paduan banyak mengandung aluminium dan tahan terhadap korosi. Diaplikasikan untuk konstruksi tempat duduk pesawat terbang, perkantoran dan konstruksi lainnya yang membutuhkan perbandingan antara ketahanan korosi dan berat yang tidak terlalu besar. Titik lebur paduan ini adalah 476-657 °C

3. Paduan Al-Mn

Mn adalah unsur paduan yang meperkuat aluminium tanpa mengurangi ketahanan korosinya dan digunakan untuk membuat paduan yang tahan korosi. Jumlah paduan yang terkandung adalah 25,3% (Surdia dan Kenji, 1996 :136).

4. Paduan Al-Cu

Merupakan paduan yang dapat diperlakukan panas. Dengan dikeraskan endapannya ataupun penyepuhan sifat mekanis, paduan ini dapat menyamai sifat dari baja lunak akan tetapi daya tahan korosinya lebih rendah dibanding jenis paduan lainnya (Heine, 1976:294).

5. Paduan Al-Mg

Merupakan paduan yang tahan korosi. Paduan ini disebut *hidronalium*. Cu dan Fe tidak dapat dicampur pada paduan ini karena adalah unsur pengotor bagi Al-Mg.

6. Paduan Al-Mg-Si

Merupakan jenis paduan aluminium, magnesium dan silikon dengan seri 6xxx, sebagai paduan praktis dapat diperoleh paduan 6053, 6063 dan 6061. Kekuatan tempa pada paduan ini masih kurang dibandingkan dengan paduan lainnya, sangat liat, sangat baik untuk ekstrusi, dan sangat baik pula untuk diperkuat dengan perlakuan panas setelah pengerjaan.

2.6 Aging Treatment

Pengerasan material dapat dicapai dengan temperatur ruangan (*natural aging*) ataupun 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. (Brook dkk. 1991: 1915)

2.6.1 Natural Aging

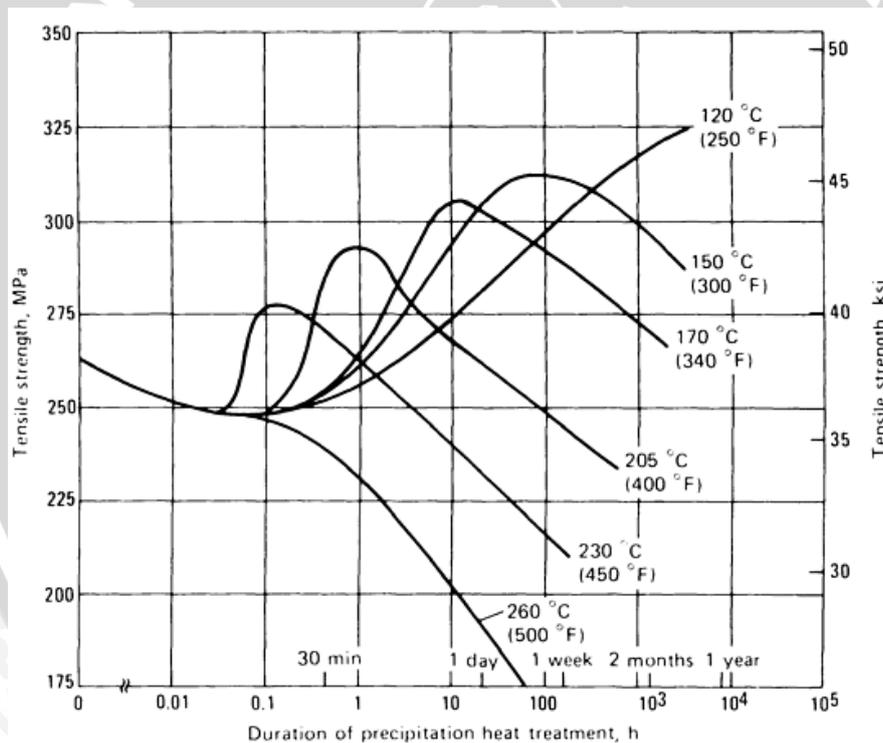
Digunakan pada paduan dengan seri tempa 6xxx, paduan dengan kandungan tembaga seri 7xxx, dan semua seri 2xxx. Pada beberapa paduan ini terutama pada paduan seri 2xxx dengan menggunakan *natural aging* menghasilkan rasio yang tinggi baik kekuatan tarik, luluh, ketangguhan, dan *fatigue*. Berbeda halnya dengan paduan seri 6xxx dan 7xxx, paduan tersebut jauh kurang stabil pada suhu kamar dan terus menurun setelah bertahun – tahun. (Brook dkk. 1991: 1915)

2.6.2 Artificial Aging

Pada umumnya 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 hati – hati. Semakin besar partikel paduan, maka dibutuhkan

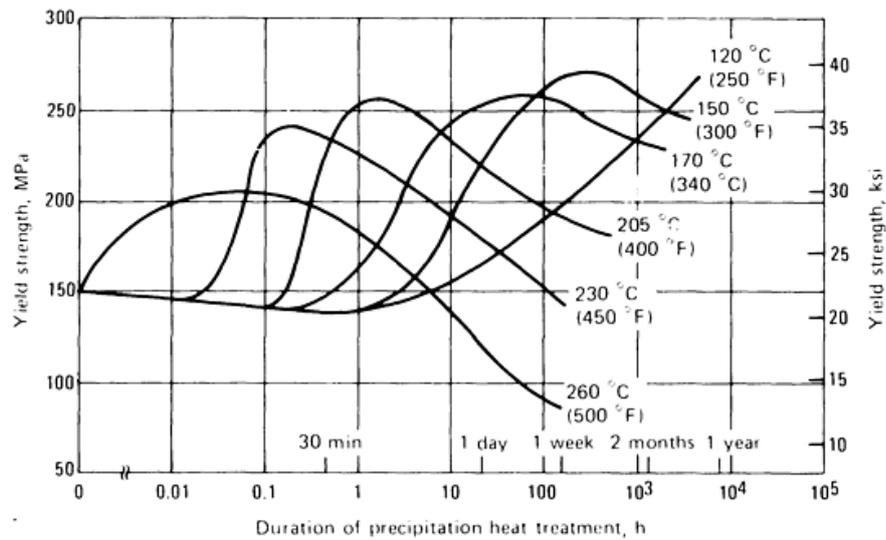
waktu yang lebih lama dan suhu yang lebih tinggi, namun partikel yang besar dibutuhkan jarak yang lebih besar antar partikelnya. Tujuannya adalah untuk memilih siklus yang menghasilkan kekuatan mekanik yang maksimal.

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. Dari gambar 2.7 adalah grafik hubungan antara lama waktu *artificial aging* dengan kekuatan tarik, kekuatan luluh (Gambar 2.8) dan perpanjangan (Gambar 2.9) paduan Al-6061 dengan suhu yang berbeda pula. (Brook dkk. 1991: 1918)



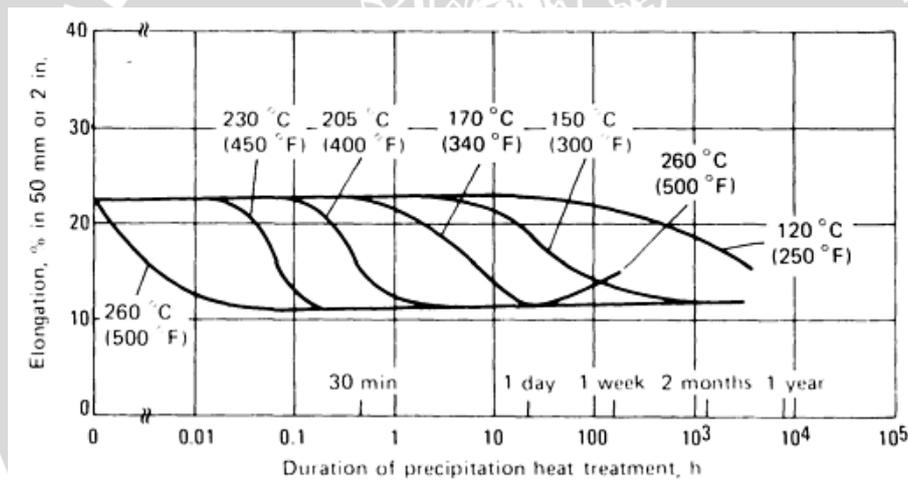
Gambar 2.7 Grafik hubungan lama waktu *artificial aging* dengan kekuatan tarik pada paduan Al-6061.

Sumber: Brook dkk. 1991: 1920



Gambar 2.8 Grafik hubungan lama waktu *artificial aging* dengan kekuatan luluh pada paduan Al-6061.

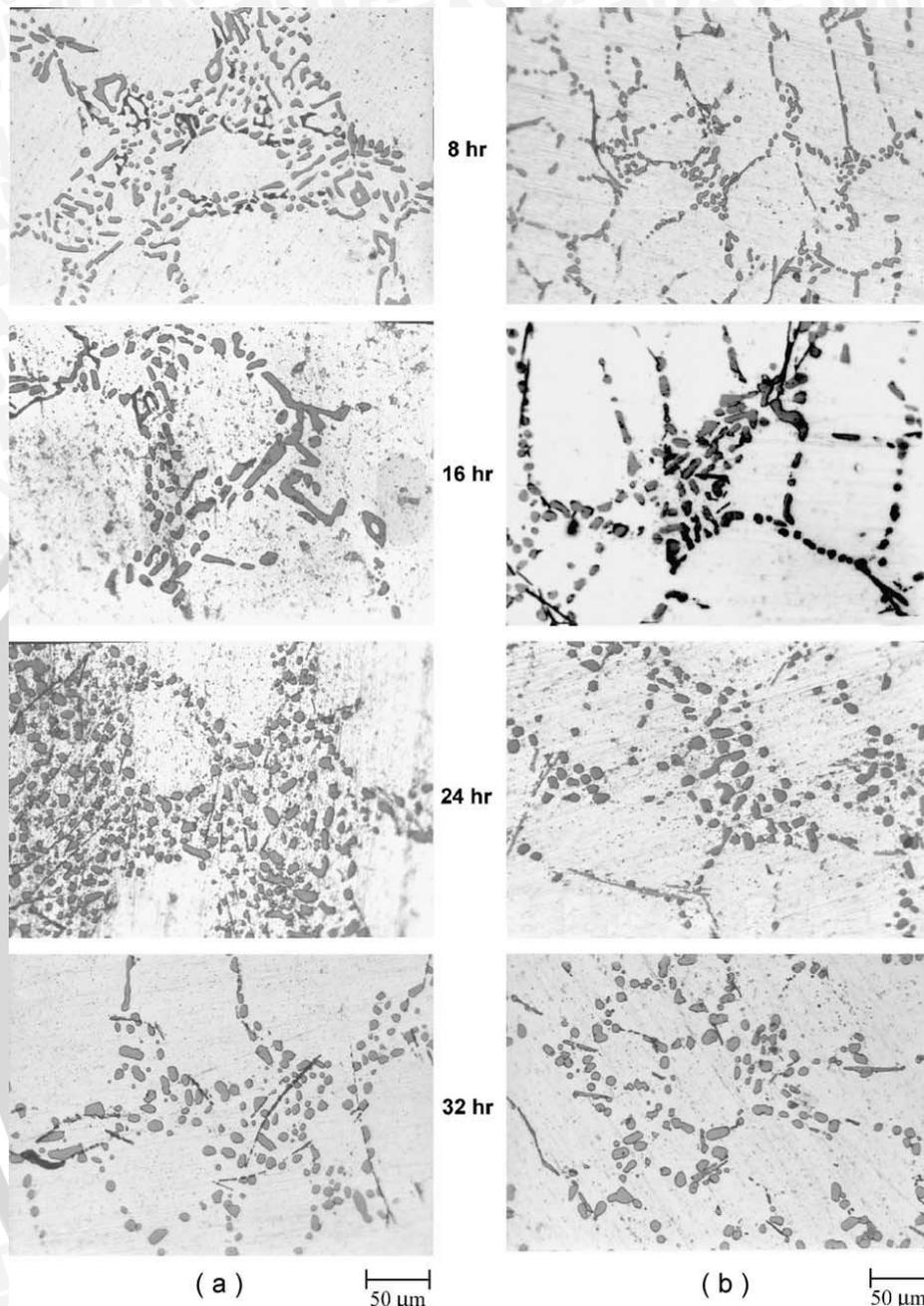
Sumber: Brook dkk. 1991: 1920



Gambar 2.9 Grafik hubungan lama waktu *artificial aging* dengan perpanjangan pada paduan Al-6061.

Sumber: Brook dkk. 1991: 1920

2.6.3 Pengaruh Aging Treatment Terhadap Mikrostruktur Al-Mg-Si



Gambar 2.10 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 2.10 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.

2.7 Macam – macam Cacat Coran

Dalam beberapa kasus, hasil coran biasanya ditemukan beberapa cacat, baik yang tampak dipermukaan maupun yang berada dalam produk hasil coran. Berikut beberapa jenis cacat yang sering terjadi pada produk coran :

a. *Pin Holes*

Pin holes adalah lubang dengan diameter kecil dan jumlahnya banyak, ukurannya kurang dari 2 mm, terlihat pada permukaan benda coran. Cacat ini disebabkan oleh karena penyerapan gas H₂ atau CO₂ ketika kelembaban cetakan yang terlalu tinggi. Dapat kita lihat penampakan dari cacat *pin holes* pada gambar 2.11.

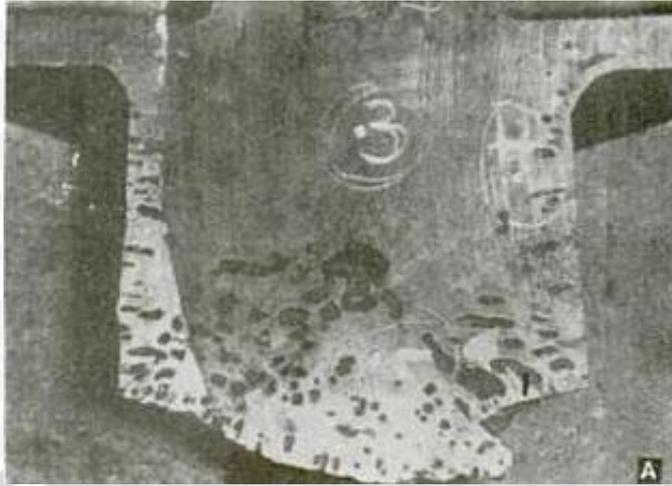


Gambar 2.11 Cacat *Pin Holes*.

Sumber : Jain. 1986 : 199

b. *Blow Holes*

Blow holes terlihat rata dan memiliki lubang yang besar, terlihat jelas pada permukaan benda coran. Diameter lubang bisa mencapai 3 mm dalam bentuk lubang paling besar dan rata. *Blow holes* disebabkan karena adanya gas yang terjebak pada permukaan rongga cetakan. Gas terperangkap dapat disebabkan oleh karena permeabilitas cetakan yang terlalu rendah. Dapat kita lihat penampakan dari cacat *blow holes* pada gambar 2.12.

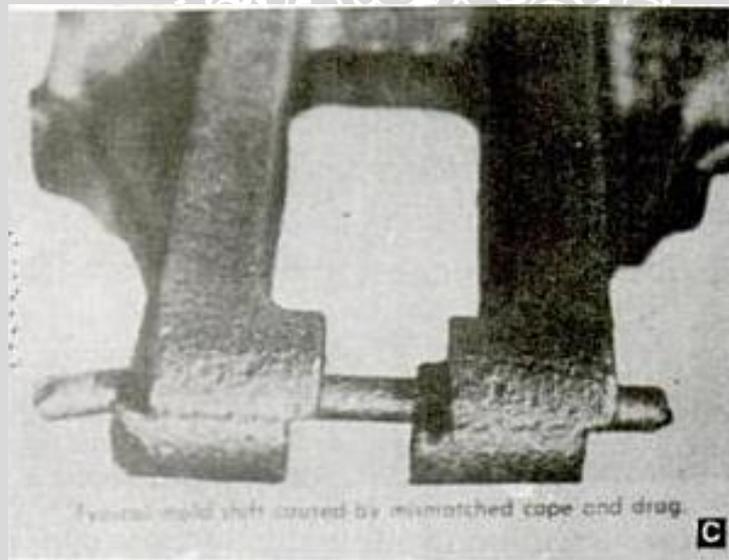


Gambar 2.12 Cacat *Blow Holes*.

Sumber : Jain. 1986 : 199

c. *Shift*

Pada Gambar 2.13 dapat kita lihat bentuk dari cacat *shift*. *Shift* adalah cacat hasil dari penggabungan cetakan yang tidak presisi, biasanya terjadi pada produk yang memiliki bagian terpisah. Cacat ini sangat mudah untuk dilihat.



Gambar 2.13 Cacat *Shift*.

Sumber : Jain. 1986 : 199

d. *Porosity*

Porosity juga disebabkan karena penyerapan gas oleh logam cair pada saat dituang atau gas yang berada di dalam rongga cetakan. Rongga udara akan terbentuk saat logam mulai membeku. Porositas yang tinggi dapat mengurangi kepadatan produk hasil coran. Rongga yang dihasilkan seperti yang ditampilkan pada gambar 2.14.



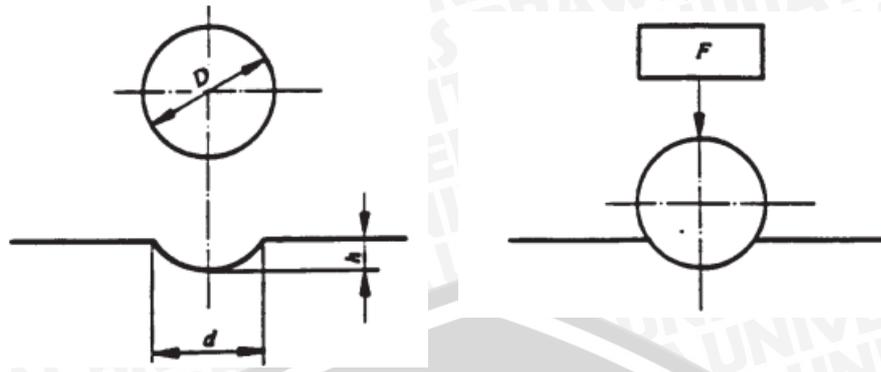
Gambar 2.14 Cacat *Porosity*.
Sumber : Jain. 1986 : 200

2.8 Pengujian Kekerasan

Kekerasan sebenarnya merupakan salah satu istilah yang sulit didefinisikan secara tepat, karena setiap bidang ilmu memberikan definisinya sendiri sesuai dengan gambaran dan keperluannya. Terdapat pengujian yang bermacam-macam tergantung dari konsep yang dianut. Dalam *engineer* yang berhubungan dengan logam, kekerasan sering dinyatakan sebagai kemampuan suatu material untuk menahan indentasi/penetrasi/abrasi. Karena kekerasan mudah ditentukan dan tidak merusak contoh, cara pengujian ini sering dimanfaatkan untuk pengendalian mutu pada proses-proses perlakuan panas, pembentukan dingin maupun pembentukan panas. Bila nilai kekerasan merata, dapat ditarik kesimpulan umum bahwa sifat-sifat mekanisnya pun seragam. Ada perbedaan cara pengujian kekerasan yang berstandar yang digunakan untuk menguji kekerasan logam, antara lain pengujian *Brinell*, *Rockwell*, *Micro Vickers*, *Shore* dan *Meyer*.

2.8.1 Pengujian Kekerasan *Brinell*

Kekerasan ini diukur dengan mempergunakan alat pengukur kekerasan *brinell*. Cara pengukurannya yaitu dengan bola baja keras berdiameter D (mm) ditekan ke permukaan bagian yang diukur dengan beban F (kgf) (Surdia dan Kenji, 1996 : 204). Pada gambar 2.15 dapat kita lihat penampang dari indentor *brinell hardness test*.



Gambar 2.15 Pengujian Kekerasan *Brinell*.
Sumber : Voort. 2000: 467

2.8.2 Pengujian Kekerasan *Vickers*

Pada metode pengujian *Vickers* digunakan indenter berbentuk piramida dengan sudut sebesar 136° seperti diperlihatkan pada gambar 2.16. Memiliki beban tekan mulai dari 10 – 1000 gf. Untuk beban maksimal, dibutuhkan waktu 5 – 60 detik. Prinsip pengujian adalah 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 indenter 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 :

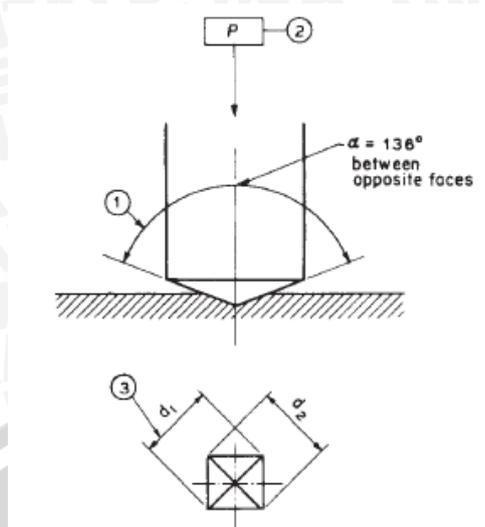
$$VHN = \frac{1,8544 P}{d^2} \quad (2-1)$$

Sumber : Voort. 2000: 460

Dengan :

P = beban yang ditetapkan (kgf)

d = panjang diagonal jarak berlian (mm)



Gambar 2.16 Pengujian Kekerasan *Vickers*.
Sumber : Voort. 2000: 470

2.8.3 Pengujian Kekerasan *Rockwell*

Kekerasan ini diukur dengan alat pengujian 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° .

2.9 Hipotesa

Temperatur *aging treatment* berpengaruh pada kekerasan dan cacat permukaan hasil coran. Semakin tinggi temperatur yang digunakan dalam *aging treatment*, maka kekerasan akan semakin meningkat, dikarenakan paduan Mg_2Si yang semakin rata dalam pesebarannya. Selain itu *aging treatment* juga dapat mengurangi cacat permukaan yang terbentuk saat proses *squeeze casting*.

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Tempat Penelitian

Tempat yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- Laboratorium Pengecoran Logam, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Brawijaya untuk proses pengecoran, *solution treatment*, *artificial aging* dan pengujian porositas.
- Laboratorium Metalurgi Fisik, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Brawijaya untuk proses pengujian mikrostruktur dan kekerasan.

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:

- Variasi temperatur *artificial aging* 100°C; 125°C; 150°C; 175°C; 200°C.

2. Variabel Terikat

Variabel Terikat adalah variabel yang besarnya tergantung dari variabel bebas.

Variabel terikatnya adalah:

- Cacat Permukaan (*pin holes*, *blow holes*)
- Kekerasan (VHN)

3. Variabel Terkontrol

Variabel Terkontrol adalah variabel yang besar nilainya dibuat konstan. Dalam penelitian ini variabel kontrolnya adalah:

- Temperatur Tuang Logam cair : 900 °C
- *Time Delay* : 5 menit
- Temperatur Cetakan : 150 °C
- Tekanan *plunger* : 75 MPa
- Lama waktu *solution treatment* dan *artificial aging* adalah 8 jam

3.3 Alat dan Bahan Penelitian

Alat-alat Penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Dapur listrik digunakan untuk proses peleburan Al-Mg-Si.
Dapur listrik adalah alat yang digunakan untuk melebur aluminium paduan.
2. Cetakan logam
Adalah alat yang digunakan untuk membentuk logam cair seperti bentuk yang diinginkan.
3. Dongkrak hidrolik
Adalah alat yang digunakan untuk memberikan tekanan terhadap plunger.
4. *Pressure gauge*
Merupakan alat yang digunakan untuk mengukur tekanan pada kompresor.
5. Cawan tuang (ladel)
Merupakan alat yang digunakan untuk mengambil logam cair dalam dapur listrik dan menuangkannya ke dalam saluran masuk *squeeze casting*.
6. Peralatan *safety* (standar laboratorium)
Adalah peralatan yang digunakan sebagai pengaman tubuh saat melakukan proses pengecoran *squeeze casting*.
7. Kamera digital
Adalah alat yang digunakan untuk dokumentasi selama proses *squeeze casting* dan mengambil gambar hasil coran.
8. Timbangan digital
Merupakan alat yang digunakan untuk menimbang hasil coran.
9. *Stopwatch*
Adalah alat yang digunakan untuk menghitung waktu proses pengepresan.
10. *Plunger*
Plunger adalah komponen dari mesin, yang berupa silinder pejal, dan berfungsi untuk meneruskan gaya dorong yang dihasilkan oleh *accumulator* terhadap logam cair.
11. *Infrared thermometer*
Alat yang digunakan untuk mengukur temperatur penuangan dan temperatur cetakan saat *preheating*.

12. Burner

Adalah alat yang digunakan untuk memanaskan cetakan sehingga temperatur cetakan merata pada tiap sisi cetakan.

13. Dapur pemanas untuk *solution* dan *aging treatment*

Digunakan untuk memanaskan produk hasil coran dalam proses *solution treatment* dan *artificial aging* dalam temperatur tertentu.

14. Micro Vickers Hardness Tester

Digunakan untuk menguji kekerasan pada produk hasil coran. Berikut spesifikasinya :

Gaya Penekanan	: 10 – 1000 gf
Carriage Control	: loading/dwell/unloading (automatic)
Perbesaran gambar	: 100x, 400x
Dwell Time	: (5-60) s
Testing Field	: 1 HV – 2967 HV
Dimensi meja XY	: 100 x 100 mm
Pergeseran meja XY	: 25 x 25 mm
Maks. ketinggian spesimen	: 70 mm
Maks. lebar spesimen	: 95 mm
Power	: 110V/ 220V, 60/50 Hz
Dimensi Alat	: 425 x 245 x 490 mm

Bahan Penelitian

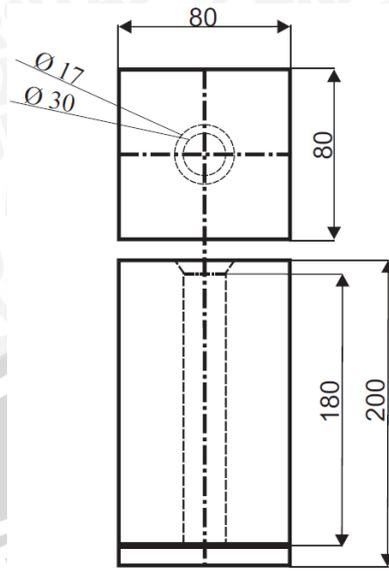
Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Alumunium paduan Al-Mg-Si seri 6061

3.4 Prosedur Penelitian

3.4.1 Prosedur *Squeeze Casting*

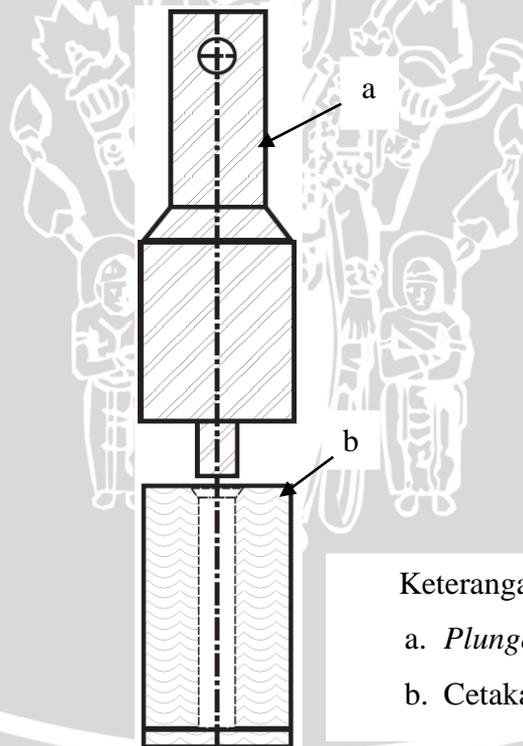
Langkah- langkah pengerjaan dalam penelitian ini adalah:

1. Persiapan percobaan, yaitu menyiapkan dapur peleburan, menyiapkan cetakan logam, dan menyiapkan alat-alat yang digunakan.
2. Membuat cetakan produk yang akan digunakan.
 - Cetakan produk pada *squeeze casting*, seperti terlihat pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 Cetakan produk *squeeze casting* (ukuran dalam mm).

- Gambar instalasi *squeeze casting* ditunjukkan $\varnothing 30$ mm pada gambar 3.2



Keterangan :

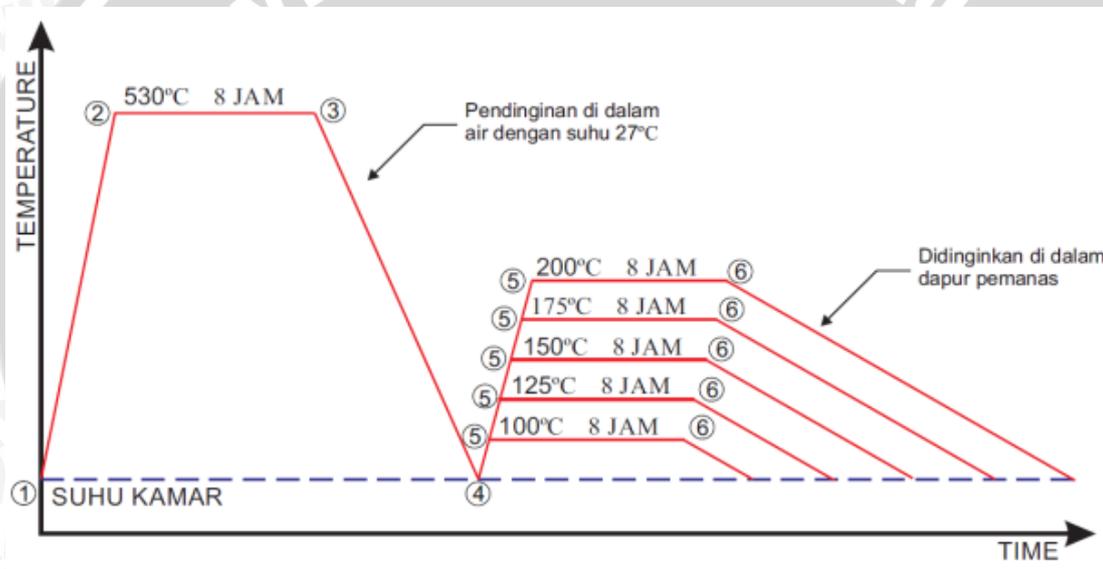
- a. *Plunger*
- b. *Cetakan*

Gambar 3.2 Instalasi *Squeeze Casting*.

3. Meleburkan Al-Mg-Si hingga mencair dengan suhu 900°C pada dapur listrik.
4. Menghitung tekanan plunger 75 MPa menjadi tekanan pada *hydraulic*.
5. Memasang cetakan logam ke dalam alat *squeeze casting*.

6. Memanaskan cetakan logam hingga suhu 150°C kemudian meneliti dengan *infrared thermometer* pada semua titik cetakan.
7. Mematikan alat pemanas (*burner*) kemudian tuang logam cair ke dalam saluran masuk dari alat *squeeze casting* secukupnya.
8. Memberikan tekanan menggunakan hidrolis sebesar 75 MPa , dengan *time delay* 5 menit
9. Membuka cetakannya dan melepas benda kerja secara perlahan setelah temperatur pada logam cair sudah turun.

3.4.2 Prosedur Proses *Solution Treatment* dan *Artificial Aging Treatment*



Gambar 3.3 Grafik Hubungan Antara Waktu dan Temperatur dalam Proses *Solution Treatment* dan *Artificial Aging*.

1. Mendinginkan produk coran hasil *squeeze casting* sampai pada suhu kamar.
2. Memasukkan produk coran kedalam dapur pemanas, memanaskan dapur sampai suhu 530°C dan *holding* selama 8 jam.
3. Melakukan proses *quenching* pada produk hasil coran dengan cara merendam ke dalam air dengan suhu 27°C .
4. Setelah mencapai suhu kamar, membersihkan produk coran sebelum melakukan proses *artificial aging*.

5. Melakukan proses *artificial aging* dengan memasukkan produk coran ke dalam dapur pemanas dengan variasi suhu 100°C; 125°C; 150°C; 175°C; 200°C selama 8 jam.
6. mendinginkan produk coran di dalam dapur sampai suhu dapur mencapai suhu kamar.

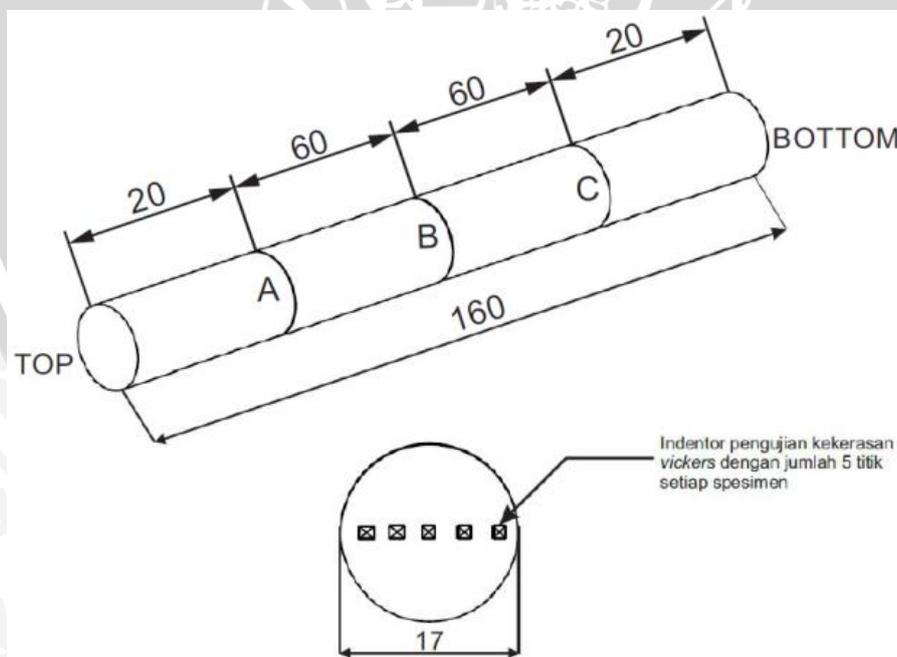
3.4.3 Prosedur Pengujian Cacat permukaan

1. Mengamati seluruh permukaan spesimen dan hitung jumlah cacat, kemudian catat.
2. Melakukan pengulangan untuk spesimen dengan variasi temperatur *artificial aging* 100°C; 125°C; 150°C; 175°C; 200°C.
3. Melakukan analisa dan pembahasan dari data-data yang diperoleh.

3.4.4 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.
 - b. Menyiapkan spesimen yang akan diuji dengan dimensi seperti pada gambar 3.4



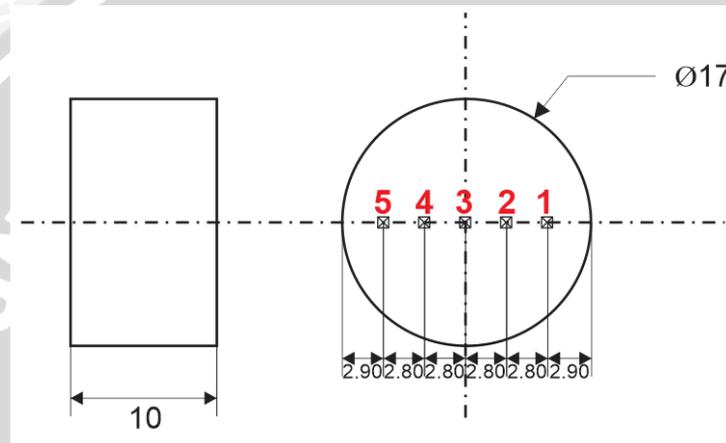
Gambar 3.4 Spesimen Uji Kekerasan.

- c. Melakukan pengujian kekerasan pada 5 titik sepanjang diameter luas penampang.

2. Melakukan pengulangan langkah 1 sampai 3 pada spesimen lainnya dengan variasi temperatur 100°C; 125°C; 150°C; 175°C; 200°C.
3. Mengolah data hasil pengujian.
4. Melakukan analisa dan pembahasan dari data-data yang diperoleh.
5. Mengambil kesimpulan.

3.4.5 Prosedur Pengujian Mikrostruktur

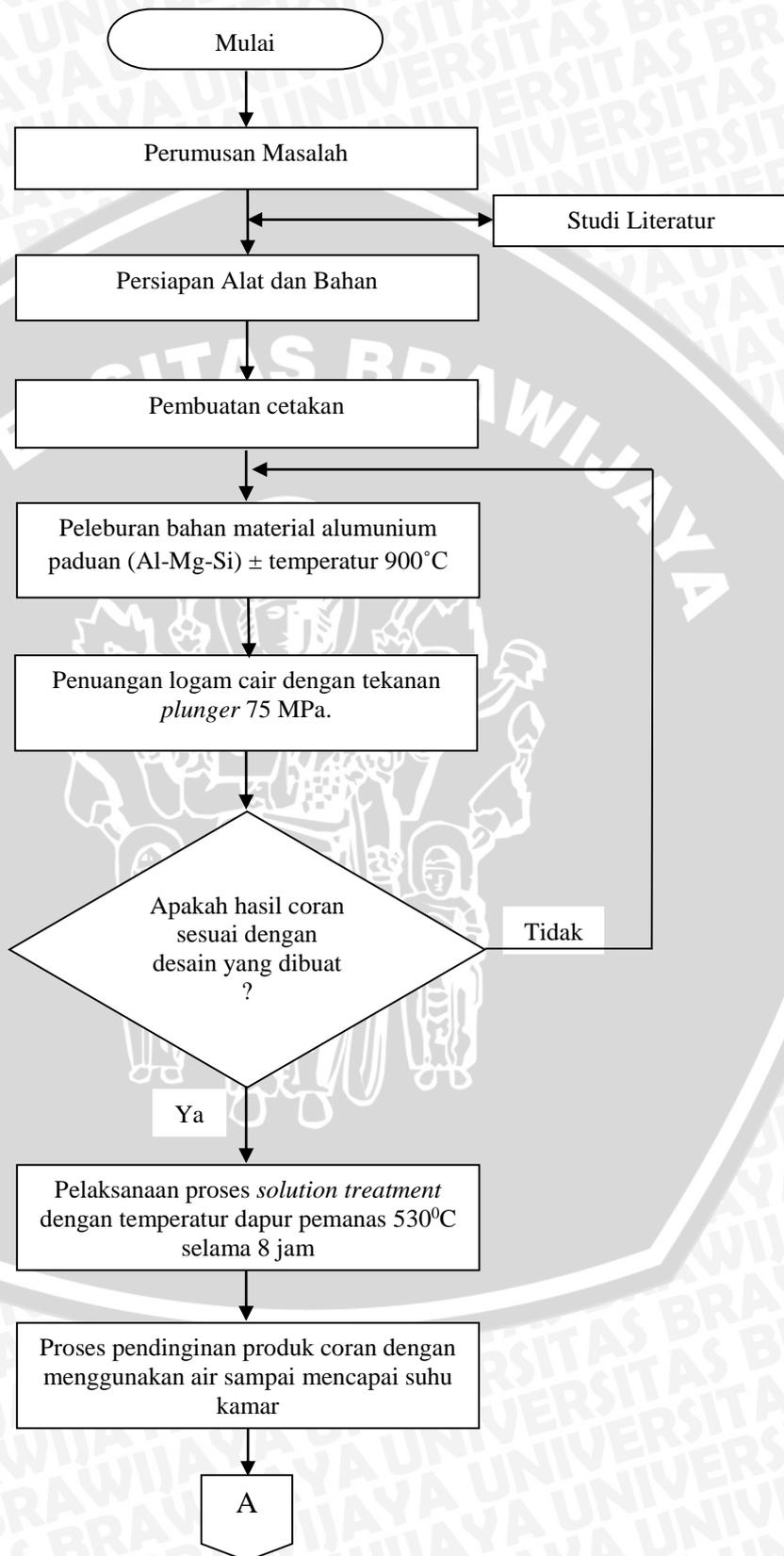
1. Pemotongan dan pembuatan spesimen uji, seperti ditunjukkan gambar 3.5

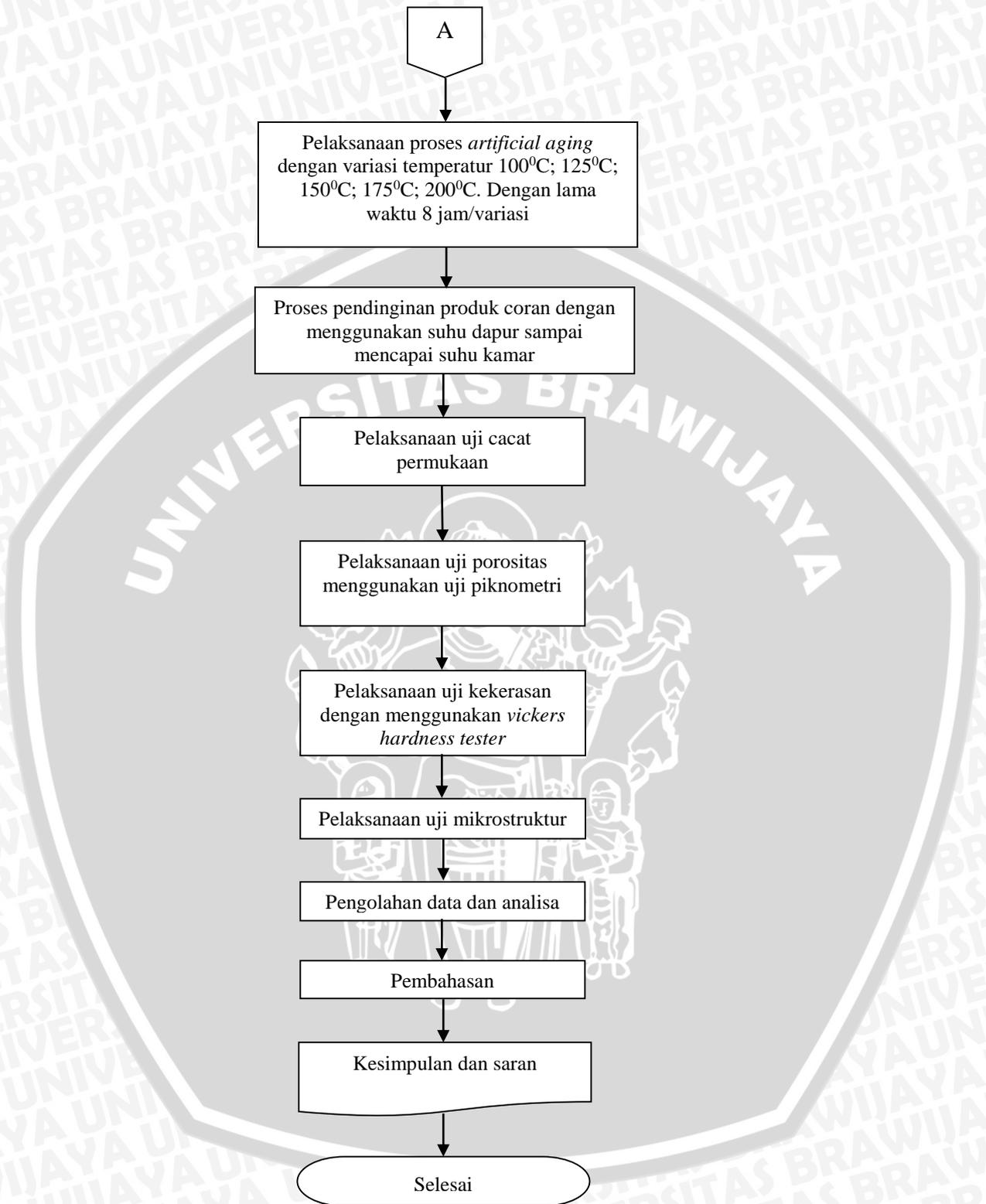


Gambar 3.5 Spesimen Uji Mikrostruktur.

2. Menghaluskan permukaan spesimen uji menggunakan kertas gosok tahan air dengan nomor 300, 500, 800, 1000 dan 1200 dan terakhir dengan Autosol
3. Pengujian dilakukan dengan memberi larutan *Hydroflouric Acid* (HF), ditahan selama 1 menit.
4. Mencuci spesimen
5. Memeriksa dengan kamera, 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 Cacat Permukaan

Dari hasil pemeriksaan cacat yang terjadi didapat beberapa cacat *blow holes* dan *pin holes* dengan hasil yang ditunjukkan pada gambar 4.1



(a)

(b)

Gambar 4.1 (a) *Pin Holes* (b) *Blow Holes*.

Berikut data hasil inspeksi cacat permukaan :

Tabel 4.1 Data Hasil Inspeksi Jumlah *Pin Holes*

VARIASI SUHU (°C)	JUMLAH PIN HOLES	
	SEBELUM AGING TREATMENT	SESUDAH AGING TREATMENT
100	30	25
125	64	53
150	15	7
175	18	16
200	14	5

Tabel 4.2 Data Hasil Inspeksi Jumlah *Blow Holes*

VARIASI SUHU (°C)	JUMLAH <i>BLOW HOLES</i>	
	SEBELUM AGING <i>TREATMENT</i>	SESUDAH AGING <i>TREATMENT</i>
100	17	17
125	26	26
150	18	18
175	14	14
200	26	26

Dari tabel 4.1 dapat dilihat bahwa terdapat perubahan jumlah cacat *pin holes* sebelum dan sesudah *aging treatment*. Hal tersebut dapat terjadi dikarenakan adanya proses oksidasi ketika spesimen dipanaskan dalam dapur pemanas. Oksidasi menambah jumlah atom pada spesimen, sehingga menutup *pin holes*. Sedangkan pada tabel 4.2 cacat *blow holes* tidak terdapat perubahan jumlah antara sesudah dan sebelum *aging treatment*. Hal ini dikarenakan proses oksidasi tidak cukup dalam menutup *blow holes*.

4.1.2 Hasil dan Pembahasan Distribusi Kekerasan

Berikut data hasil pengujian kekerasan :

Tabel 4.3 Data Hasil Pengujian Kekerasan Bagian I

Letak Titik	TANPA PERLAKUAN			AGING 100°C		
	A	B	C	A	B	C
1	75.69	67.28	73.44	87.87	92.09	79.45
2	68.91	72.72	56.46	91.07	84.40	63.87
3	50.46	62.72	68.58	88.12	70.26	74.55
4	58.35	68.09	56.71	88.60	75.03	73.81
5	62.29	82.62	77.24	79.66	79.66	82.19
Rata	63.14	70.69	66.49	87.06	80.29	74.77

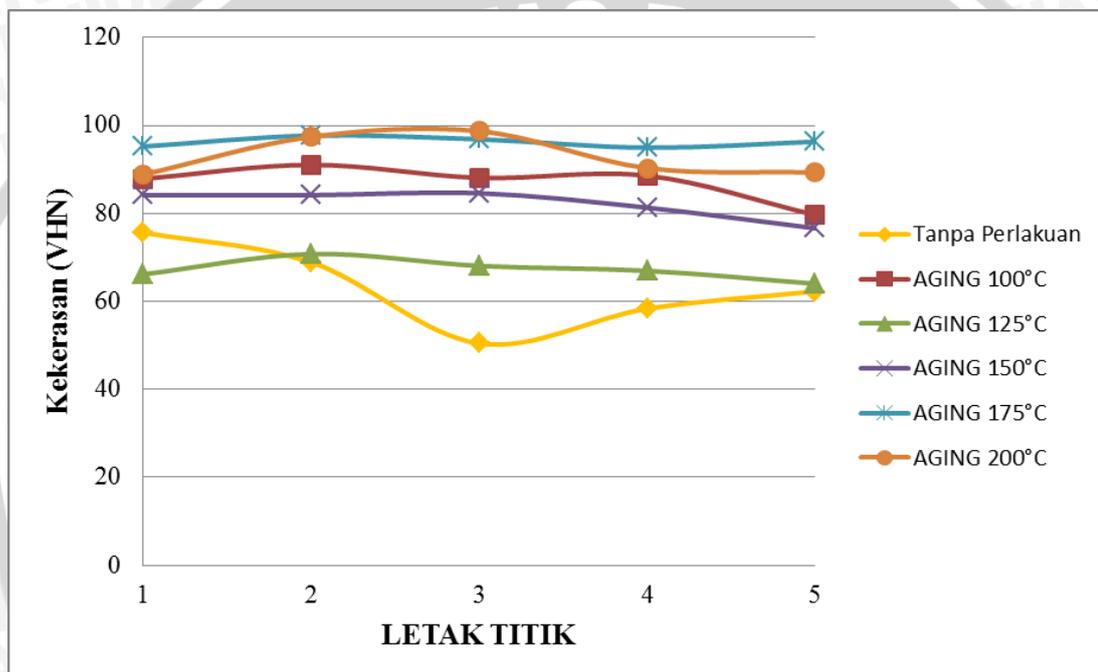
Tabel 4.4 Data Hasil Pengujian Kekerasan Bagian II

Letak Titik	AGING 125°C			AGING 150°C		
	A	B	C	A	B	C
1	66.18	63.89	57.58	84.17	90.07	98
2	70.78	57.58	64.49	84.17	79.04	97.16
3	68.09	64.19	73.62	84.62	79.86	90.82
4	66.96	68.58	56.09	81.33	82.62	101.2
5	64.04	64.19	63.60	76.65	94.17	96.88
Rata	67.21	63.69	63.08	82.19	85.15	96.81

Tabel 4.5 Data Hasil Pengujian Kekerasan Bagian III

Letak Titik	AGING 175°C			AGING 200°C		
	A	B	C	A	B	C
1	95.24	89.82	93.65	88.84	104.50	91.57
2	97.72	97.72	86.69	97.44	104.20	97.72
3	96.88	98.28	95.79	98.73	104.50	91.57
4	94.98	86.46	91.70	90.32	97.44	83.28
5	96.33	76.26	90.57	89.33	93.91	98
Rata	96.23	89.71	91.68	92.93	100.91	92.43

Setelah mengolah data hasil pengujian kekerasan maka didapat grafik sebagai berikut :

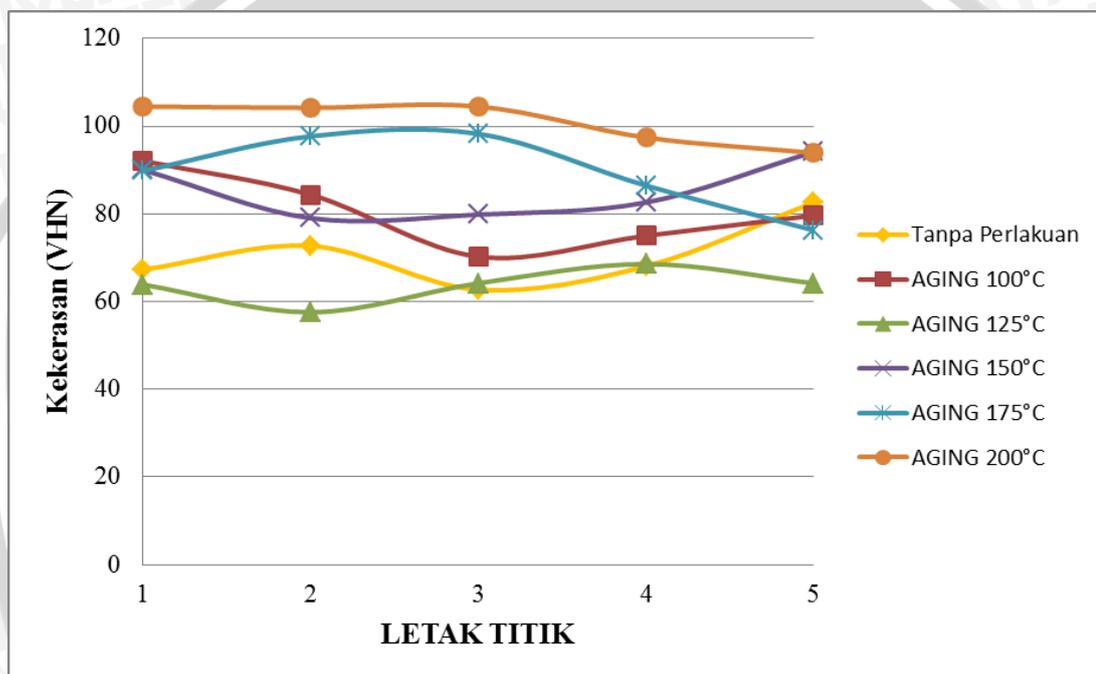


Gambar 4.2 Grafik Nilai Kekerasan pada Variasi Aging Treatment Spesimen Hasil Squeeze Casting Penampang A.

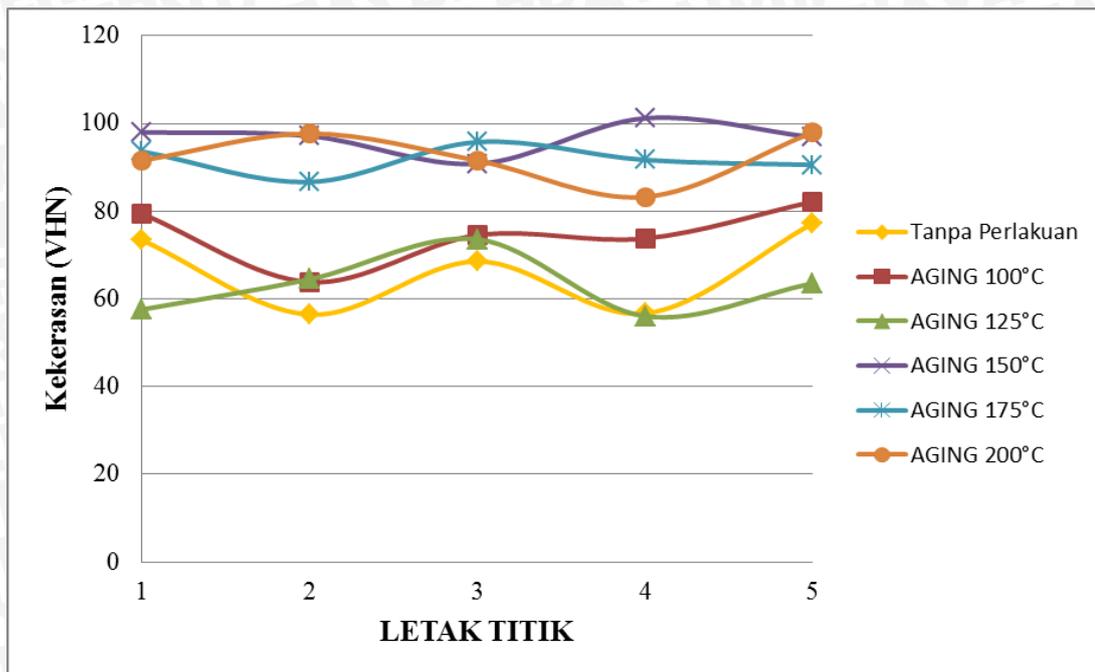
Dari gambar 4.1 dapat dilihat bahwa sumbu x adalah letak titik indenter pengujian kekerasan seperti pada gambar 3.5, sedangkan sumbu y adalah nilai dari kekerasan hasil uji vickers dengan satuan VHN. Dapat dilihat spesimen hasil aging treatment penampang A memiliki nilai distribusi kekerasan yang lebih baik ketimbang spesimen tanpa aging treatment. Distribusi paling baik di dapat pada spesimen hasil aging treatment variasi suhu 175 °C dengan nilai kekerasan dari titik satu sampai lima berturut-turut adalah 95.24 VHN; 97.72 VHN; 96.88 VHN; 94.98 VHN; 96.33 VHN. Sedangkan nilai distribusi kekerasan paling rendah didapat pada spesimen penampang A tanpa perlakuan. Berikut nilai kekerasannya secara berturut-turut dari titik satu sampa

lima 75.69 VHN; 68.91 VHN; 50.46 VHN; 58.35 VHN; 62.29 VHN. Hal ini disebabkan pada titik 3 spesimen penampang A tanpa perlakuan merupakan daerah *equiaxed*, dimana ketika logam mengalami solidifikasi, pada daerah tersebut mengalami pendinginan paling lambat. Menyebabkan butir yang terbentuk lebih kecil sehingga sifat yang terbentuk menjadi lebih ulet dibandingkan dengan daerah lainnya.

Dari gambar 4.2 dapat dilihat nilai kekerasan pada setiap titik pada penampang B dan C. Berbeda dengan penampang A, pada penampang B nilai distribusi terlihat tidak merata pada setiap variasi *aging treatment*.



Gambar 4.3 Grafik Nilai Kekerasan pada Variasi *Aging Treatment* Spesimen Hasil *Squeeze Casting* Penampang B.



Gambar 4.4 Grafik Nilai Kekerasan pada Variasi *Aging Treatment* Spesimen Hasil *Squeeze Casting* Penampang C.

Pada spesimen *aging treatment* variasi suhu 125°C penampang B memiliki nilai kekerasan pada titik satu sebesar 63.89 VHN, kemudian menurun pada titik dua sebesar 57.58 VHN. Selanjutnya terus meningkat berturut-turut mulai dari titik tiga sampai titik lima dengan nilai sebesar 64.19 VHN, 68.58 VHN, dan 64.19 VHN. Dari data yang didapat, distribusi kekerasan pada spesimen variasi suhu 125°C penampang B kurang begitu merata.

Sedangkan pada spesimen *aging treatment* variasi suhu 100°C penampang B memiliki nilai kekerasan pada titik satu sebesar 67.28 VHN, kemudian meningkat pada titik dua sebesar 72.72 VHN. Selanjutnya menurun pada titik tiga dengan nilai sebesar 62.72 VHN. Kemudian kembali meningkat pada titik empat dengan nilai sebesar 68.09 VHN, dan meningkat lagi pada titik lima dengan nilai 82.62 VHN. Dari data yang didapat, distribusi kekerasan pada spesimen variasi suhu 100°C penampang B kurang begitu merata.

Dengan melihat pada gambar 4.3 maka nilai kekerasan cenderung meningkat pada spesimen *aging treatment* variasi suhu 200°C penampang C. Nilai kekerasannya diperoleh 91.57 VHN untuk titik satu, meningkat pada titik dua menjadi 97.72 VHN, kemudian menurun sebesar 91,57 VHN pada titik tiga, selanjutnya pada titik empat diperoleh nilai kekerasan sebesar 83.28 VHN, dan terakhir meningkat pada titik lima

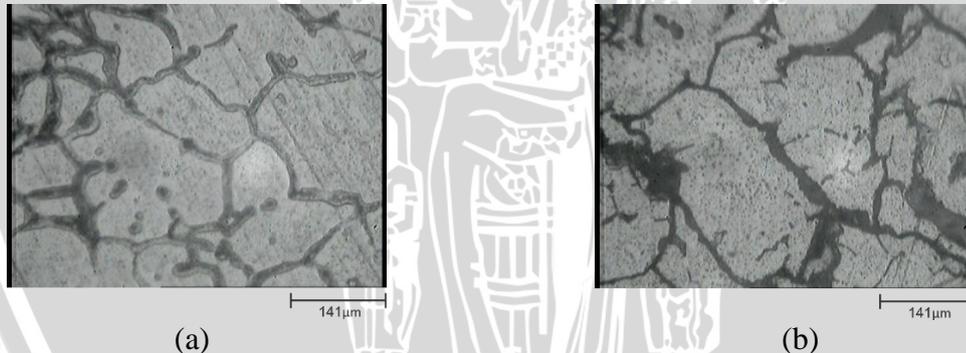
sebesar 98 VHN. Dari data yang didapat, distribusi kekerasan pada spesimen variasi suhu 200°C penampang C kurang begitu merata.

Pada spesimen *aging treatment* variasi suhu 125°C penampang C juga mengalami peningkatan nilai kekerasan, namun tidak sebesar pada variasi suhu 200°C. Terlihat pada grafik, pada titik satu memiliki nilai sebesar 57.58 VHN, kemudian meningkat pada titik dua menjadi 64.49 VHN, pada titik tiga meningkat menjadi 73.62 VHN, namun kembali menurun pada titik empat menjadi 56.09 VHN, dan pada titik lima meningkat menjadi 63.60 VHN.

Distribusi kekerasan yang tidak merata ini disebabkan oleh difusi Mg_2Si yang kurang merata saat proses *aging treatment*. Sehingga pada bagian yang tidak terdapat Mg_2Si memiliki kekerasan yang lebih rendah.

Pada proses *aging treatment* variasi suhu 100°C selama 8 jam, kemudian menurun pada variasi suhu 125°C. Pada variasi suhu 150 °C akan kembali meningkat kekerasannya sampai pada variasi suhu 200°C. Dari data yang telah didapat pada kekerasan rata-rata Tabel 4.3 dan 4.4, maka hal ini sesuai dengan gambar 2.7

4.1.3 Hasil dan Pembahasan Foto Mikrostruktur



Gambar 4.5 Foto Mikrostruktur (a) Tanpa Perlakuan (b) *Aging Treatment* 200 °C dengan perbesaran 400 kali.

Dari gambar 4.5 dapat dilihat perbedaan mikrostruktur antara spesimen tanpa perlakuan dengan *aging treatment* 200 °C. Warna hitam adalah Mg_2Si yang menyebar pada batas butir Aluminium. Persebaran Mg_2Si lebih merata pada spesimen *aging treatment* 200 °C. Hal ini yang menyebabkan kekerasan meningkat dikarenakan pada saat pengujian kekerasan, Mg_2Si tersebut menghambat gaya tekan yang diberikan indenter. Berbeda dengan spesimen tanpa perlakuan yang hanya terdapat Mg_2Si pada batas butir tertentu.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

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

1. *Aging treatment* dapat mempengaruhi cacat permukaan *pin holes*, dikarenakan adanya proses oksidasi pada saat proses *aging treatment* berlangsung.
2. *Aging treatment* meratakan distribusi kekerasan spesimen hasil *squeeze cating* karena difusi Mg_2Si yang semakin merata pada saat *aging treatment* dilakukan.
3. Kekerasan akan semakin meningkat pada variasi suhu $200^{\circ}C$ dikarenakan difusi yang lebih merata Mg_2Si pada butir-butir aluminium.

5.2 Saran

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

1. Perlu diadakannya studi lanjut tentang tekanan variasi suhu *aging treatment* dan tekanan *plunger*
2. Perlu diadakannya studi lanjut tentang pengujian kekerasan pada permukaan spesimen.

DAFTAR PUSTAKA

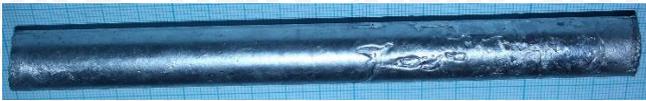
- Adam J.H. 1998. *ASM Handbook vol.15 Casting*. Detroit : ASM International.
- Anonymous 1*, <http://Aluminium casting.wordpress.com>, 20 September 2011
- Aristiyono, Dian F.A. 2012. *Pengaruh Tekanan Plunger pada Squeeze Casting Terhadap Porositas dan Kekuatan Tarik Produk Coran Silinder Al-Mg-Si*. Malang: Universitas Brawijaya.
- 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.
- 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. 1997. *Materials and Processes In Manufacturing*. John Wiley and Sons, Inc.
- Duskiardi. dan Tjitro S., 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.
- El- Khair, M.T.A. 2005: *Microstructure characterization and tensile properties of squeeze-cast AlSiMg alloys*. Materials Letter 59
- Firdaus. 2002. *Analisis Parameter Proses Pengecoran Squeeze Terhadap Cacat Porositas Produk Flens Motor Sungai*. Surabaya : Jurnal Teknik Mesin Vol. 4
- Heine, R. W. 1976. *Principles of Metal Casting*. New Delhi: Tata McGraw -Hill,
- Jain, P.L. 1986. *Principles of Foundry Technology*. New Delhi: Tata McGraw -Hill,
- Kalpakjian, S. 1990. *Manufacturing Engineering and Technology*. Massachusetts: Adison-Wesley Publish Company.
- Purnomo, May V. R. H. 2012. *Pengaruh Tekanan Plunger pada Direct Squeeze Casting Terhadap Porositas dan Kekuatan Puntir Silinder Al-Mg-Si*. Malang: Universitas Brawijaya.
- Surdia,Tata. dan Chijiiwa Kenji. 1996. *Teknik Pengecoran Logam*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Tjitro. S. dan Firdaus. 2000. *Pengecoran Squeeze*. Surabaya: Jurnal Teknik Mesin Vol.3 UK Petra hal. 109-113.

Voort G.F.V. 2000. *ASM Handbook vol. 8 Mechanical Testing and Evaluation*. Buehler:
ASM International.



Lampiran 1. Foto Spesimen Hasil Aging Treatment

Tanpa perlakuan



Aging Treatment 100°C



Aging Treatment 125°C



Aging Treatment 150°C



Aging Treatment 175°C

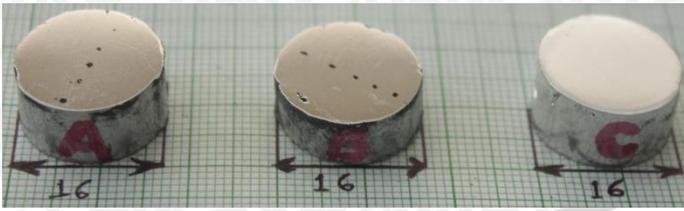


Aging Treatment 200°C

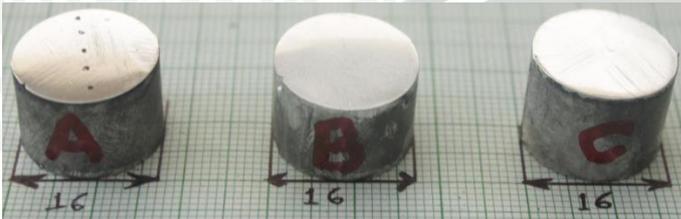


Lampiran 2. Foto Spesimen Hasil Pengujian *Micro Vickers*

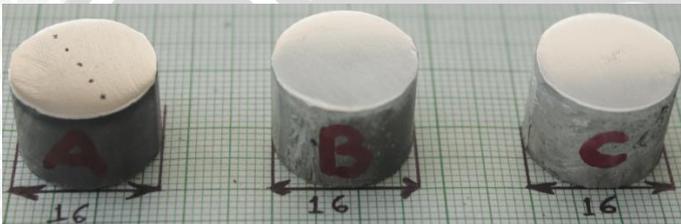
Tanpa perlakuan



Aging Treatment 100°C



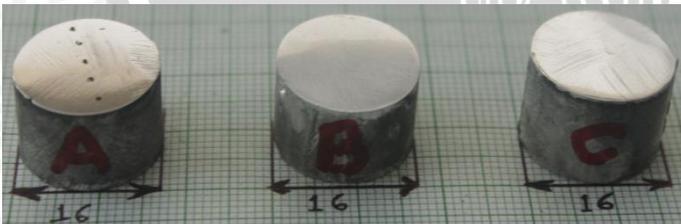
Aging Treatment 125°C



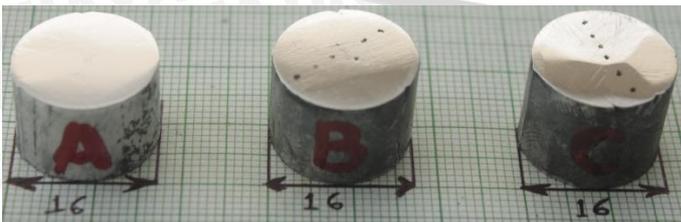
Aging Treatment 150°C



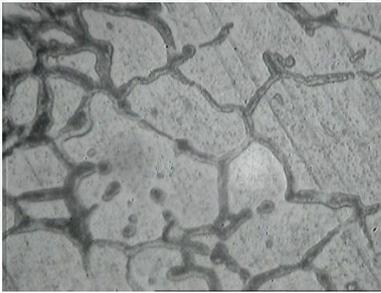
Aging Treatment 175°C



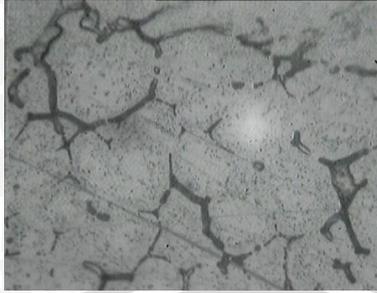
Aging Treatment 200°C



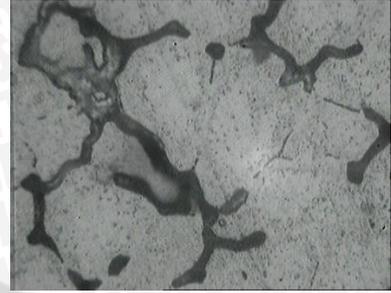
Lampiran 3. Hasil Foto Mikrostruktur



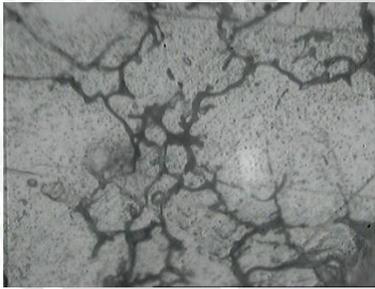
Tanpa Perlakuan



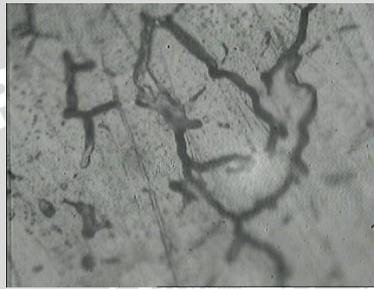
Aging Treatment 100°C



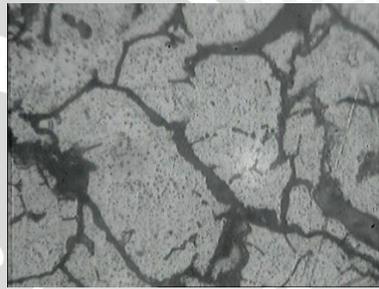
Aging Treatment 125°C



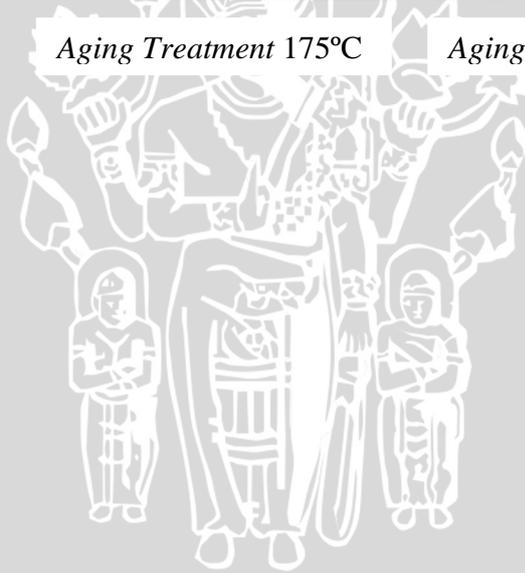
Aging Treatment 150°C



Aging Treatment 175°C



Aging Treatment 200°C



Lampiran 4. Sertifikat Bahan dan Komposisi Al-Mg-Si 6061

FROM :

FAX NO. :

Oct. 30 2012 09:58AM P

FUM-04

INSPECTION CERTIFICATE No 11.9585

EN 10204 - 3.1



Consigner:		Quantity: 20	
Consignee:		Net Weight, kg: 1422	
Contract number: V1283-S PO-KL M-01/170111 part 1		Specification No: V1283	
Article number:		Lot No: 1	
		Package No: 715210	
Description of Goods: Sheet		Requirements on the Product:	
Grade of Product		Material conforms to quality of alloy: 6061 T651	
Dimensions, Inch/mm		Product conforms to all requirements of	
6.000X1216.2X2438.4		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	ksi	ksi	min	max	
Required				-	-	-	-	-	-	-
	670190	13-6158	5	48.2	48.7	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	0.18-0.40	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
Required	-	-	-	-	-	-	-	Each	Total	remainder
Contents	-	-	-	-	-	-	-	0.06	0.15	remainder
								0.06	0.15	remainder

Other Tests

Method	Macro-structure	Micro-structure	UTSI	Electro-conductivity	SCF	Contents H2 of metals cm3/100gr
Result	-	-	-	-	-	-

