

**EFEK AGING TREATMENT PADA SQUEEZE CASTING TERHADAP
POROSITAS DAN KEKUATAN TARIK PRODUK SILINDER Al-Mg-Si**

**SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
Memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh :

ARFIAN HARDIANTO
NIM. 0910623034-62

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2014**

LEMBAR PERSETUJUAN

EFEK AGING TREATMENT PADA SQUEEZE CASTING TERHADAP POROSITAS DAN KEKUATAN TARIK PRODUK SILINDER Al-Mg-Si

SKRIPSI KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
Memperoleh gelar sarjana teknik



Disusun oleh:

ARFIAN HARDIANTO

NIM. 0910623034 -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, M.Sc., CSE.
NIP. 19740930 200012 1 001

LEMBAR PENGESAHAN

EFEK AGING TREATMENT PADA SQUEEZE CASTING TERHADAP POROSITAS DAN KEKUATAN TARIK PRODUK SILINDER Al-Mg-Si

**SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh :
ARFIAN HARDIANTO
NIM. 0910623034 – 62

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

Penguji Skripsi I

Penguji Skripsi II

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

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

Penguji Skripsi III

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 penulis panjatkan kepada Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Penulis melakukan penelitian dengan judul **“Efek Aging Treatment Pada Squeeze Casting Terhadap Porositas dan Kekuatan Tarik Produk 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:

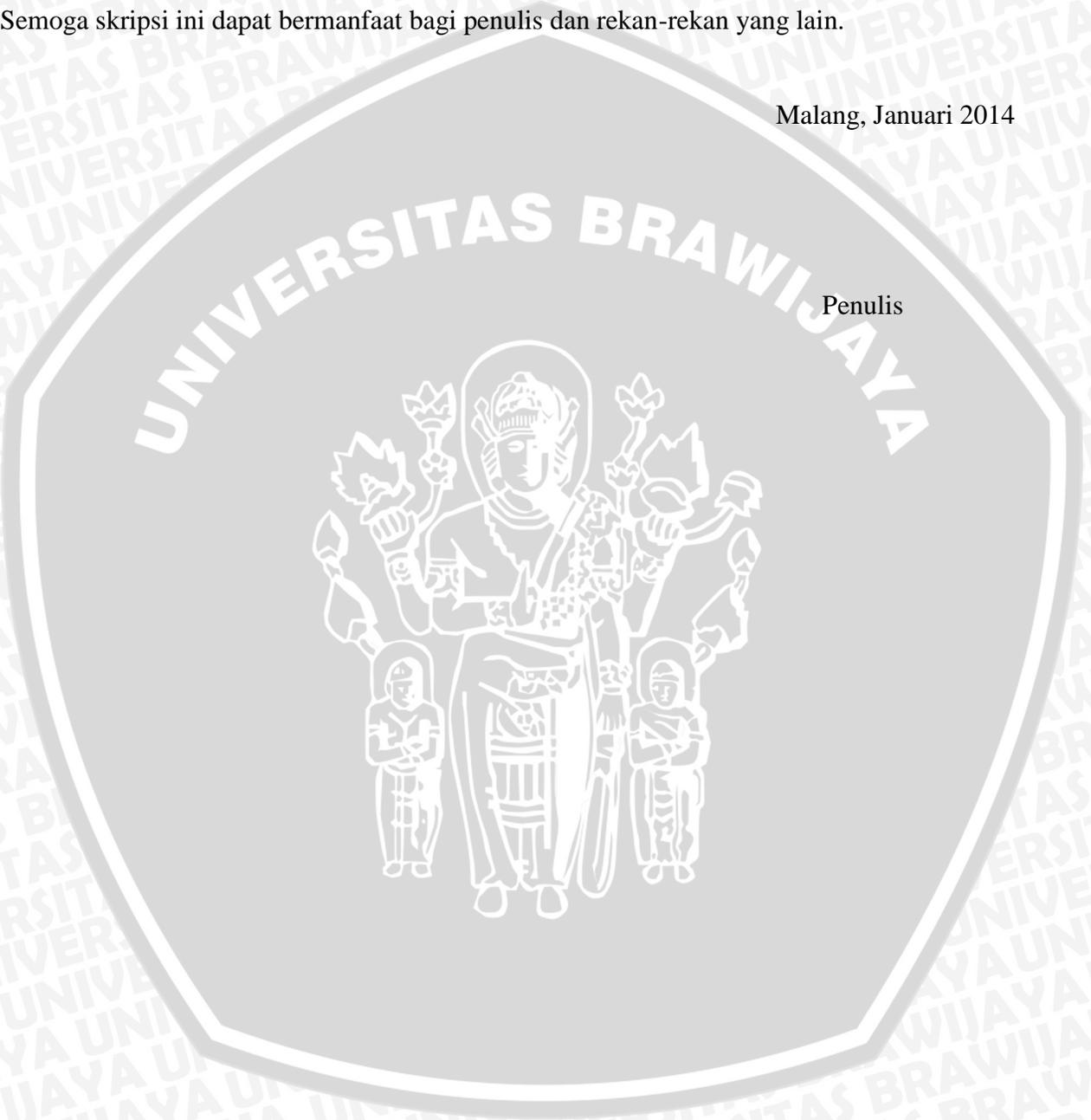
1. Ayah (Suranto), Ibu (Dwi setijani), kakak (Meita Suryaningtyas) dan adik (Andreas Wahyu Wijayanto) serta seorang terkasih Ruliana Patmasari.
2. Bapak Dr.Eng Nurkholis Hamidi, ST, M.Eng., selaku Ketua Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
3. Bapak Purnami, ST, MT., selaku Sekretaris Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
4. Bapak Dr.Eng Yudy Surya Irawan, ST, M.Eng., selaku dosen pembimbing 1 yang telah banyak memberikan pengarahan dan motivasi selama pelaksanaan skripsi.
5. Bapak Ir.Tjuk Oerbandono, M.Sc., CSE, selaku dosen pembimbing 2 yang telah banyak memberikan pengarahan selama pelaksanaan skripsi.
6. Bapak Gatot Siswanto, selaku Laboran Laboratorium Pengecoran Logam Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
7. Keluarga Besar Laboratorium Metrologi Industri Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
8. Keluarga Besar UD. Srisadono yang telah memberikan motivasi.
9. Teman seperjuangan dalam penelitian ini Petter, Hilmi dan Anditya, terima kasih untuk kebersamaanya selama ini.
10. Rekan-rekan senasib seperjuangan M'09(Black Mamba) yang selama ini memberikan semangat dan motivasi.

Dan semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, yang telah banyak membantu dan memberikan arahan kepada penulis selama penyusunan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini tidak lepas dari kekurangan. Oleh karena itu penulis sangat menghargai setiap saran dan masukan untuk kesempurnaan skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis dan rekan-rekan yang lain.

Malang, Januari 2014

Penulis



DAFTAR ISI

| | |
|--|------|
| KATA PENGANTAR | i |
| DAFTAR ISI | iii |
| DAFTAR TABEL | vi |
| DAFTAR GAMBAR | vii |
| DAFTAR LAMPIRAN | viii |
| RINGKASAN | ix |
| BAB I PENDAHULUAN | |
| 1.1 Latar Belakang..... | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah..... | 3 |
| 1.3 Batasan Masalah..... | 3 |
| 1.4 Tujuan Penelitian..... | 3 |
| 1.5 Manfaat Penelitian | 3 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA | |
| 2.1 Penelitian Sebelumnya..... | 5 |
| 2.2 Pengecoran Logam | 6 |
| 2.2.1 Pengertian Pengecoran Logam..... | 6 |
| 2.2.2 Macam-macam Pengecoran Logam..... | 6 |
| 2.3 Pengecoran <i>Squeeze (Squeeze Casting)</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 Proses Pengecoran <i>Squeeze</i> | 9 |
| 2.3.4 Aplikasi Pengecoran <i>Squeeze</i> | 10 |
| 2.4 Sifat-sifat Logam cair | 11 |
| 2.4.1 Perbedaan Logam Cair dan Air..... | 11 |
| 2.4.2 Fluiditas..... | 12 |
| 2.5 Pembekuan Logam..... | 13 |
| 2.6 Aluminium..... | 16 |
| 2.6.1 Pengolahan Aluminium..... | 16 |
| 2.6.2 Sifat-sifat Aluminium..... | 17 |

| | |
|---|----|
| 2.6.3 Pengaruh Unsur-unsur Paduan..... | 17 |
| 2.6.4 Aluminium Paduan | 19 |
| 2.7 Densitas | 20 |
| 2.7.1 Macam-macam Densitas..... | 20 |
| 2.7.2 Pengukuran Densitas Menggunakan Metode Piknometri | 21 |
| 2.8 <i>Aging Treatment</i> | 21 |
| 2.8.1 <i>Artificial Aging</i> | 22 |
| 2.8.2 <i>Natural Aging</i> | 23 |
| 2.9 Pengujian Porositas | 24 |
| 2.9.1 Porositas Pada Pengecoran Logam..... | 24 |
| 2.9.2 Jenis-jenis Porositas Pada Pengecoran Logam..... | 24 |
| 2.9.3 Perhitungan Porositas..... | 25 |
| 2.10 Kekuatan Tarik..... | 25 |
| 2.10.1 Definisi Kekuatan Tarik..... | 25 |
| 2.10.2 Hubungan Tegangan dan Regangan..... | 26 |
| 2.11 Bentuk dan Ukuran Benda Uji..... | 27 |
| 2.12 Hipotesa..... | 28 |

BAB III PENELITIAN

| | |
|--|----|
| 3.1 Tempat Penelitian | 29 |
| 3.2 Variabel Penelitian..... | 29 |
| 3.3 Alat dan Bahan Penelitian..... | 30 |
| 3.4 Prosedur Penelitian..... | 31 |
| 3.4.1 Prosedur Pengecoran..... | 31 |
| 3.4.2 Proses <i>Aging Treatment</i> | 33 |
| 3.4.3 Prosedur Pengujian Porositas..... | 34 |
| 3.4.4 Prosedur Pengujian Kekuatan Tarik..... | 35 |
| 3.5 Diagram Alir Penelitian..... | 37 |

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

| | |
|---|----|
| 4.1 Pengujian Porositas..... | 39 |
| 4.1.1 Data Hasil Pengujian Porositas..... | 39 |
| 4.1.2 Pembahasan Hasil Pengujian Porositas..... | 41 |

| | |
|--|----|
| 4.2 Pengujian Kekuatan Tarik..... | 42 |
| 4.2.1 Data Hasil Pengujian Kekuatan Tarik..... | 42 |
| 4.2.2 Pembahasan Hasil Pengujian Kekuatan Tarik..... | 44 |

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

| | |
|---------------------|----|
| 5.1 Kesimpulan..... | 46 |
| 5.2 Saran..... | 46 |

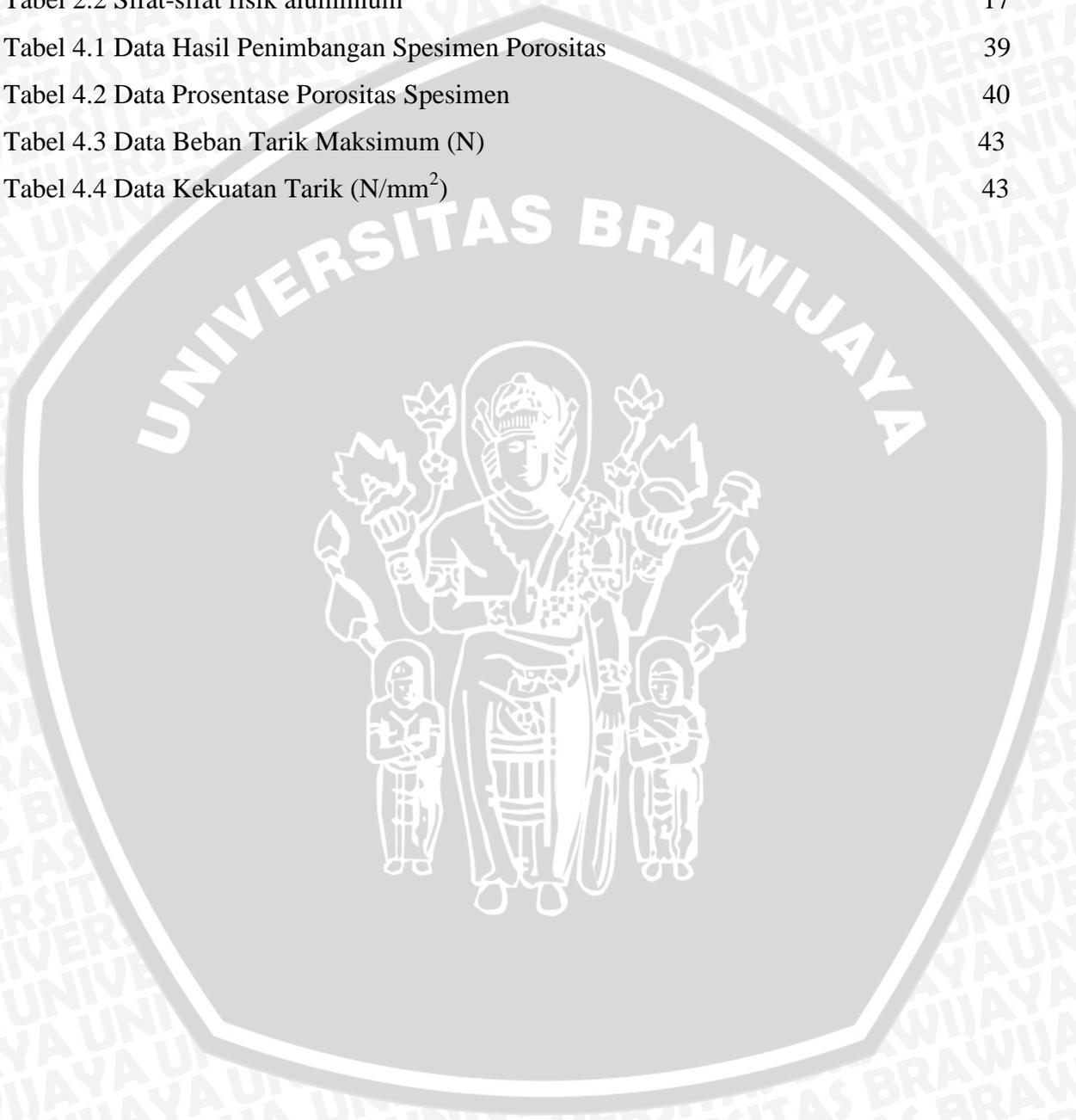
DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



DAFTAR TABEL

| No. | Judul | Halaman |
|-----------|--|---------|
| Tabel 2.1 | Koefisien Kekentalan dan Tegangan Permukaan Dari Logam | 12 |
| Tabel 2.2 | Sifat-sifat fisik aluminium | 17 |
| Tabel 4.1 | Data Hasil Penimbangan Spesimen Porositas | 39 |
| Tabel 4.2 | Data Prosentase Porositas Spesimen | 40 |
| Tabel 4.3 | Data Beban Tarik Maksimum (N) | 43 |
| Tabel 4.4 | Data Kekuatan Tarik (N/mm ²) | 43 |



DAFTAR GAMBAR

| No. | Judul | Halaman |
|-------------|---|---------|
| Gambar 2.1 | Mekanisme <i>Direct Squeeze Casting</i> | 8 |
| Gambar 2.2 | Mekanisme <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 | Hubungan antara fluiditas terhadap panas dari logam | 13 |
| Gambar 2.5 | Ilustrasi Skematis Dari Pembekuan Logam | 14 |
| Gambar 2.6 | Struktur <i>Chill</i> , <i>Columnar</i> , dan <i>Equiaxed Zone</i> | 16 |
| Gambar 2.7 | Skema Piknometri | 21 |
| Gambar 2.8 | Hubungan Antara Lama <i>Lging</i> Terhadap <i>Tensile Strength</i> | 21 |
| Gambar 2.9 | Hubungan Antara Lama <i>Aging</i> Terhadap <i>Yield Strength</i> | 22 |
| Gambar 2.10 | Hubungan Antara Lama <i>Aging</i> Terhadap <i>Elongation Strength</i> | 23 |
| Gambar 2.11 | Diagram Tegangan Regangan | 26 |
| Gambar 2.12 | Bentuk dan Ukuran Standar Spesimen Uji Tarik | 28 |
| Gambar 3.1 | Cetakan (satuan : mm) | 32 |
| Gambar 3.2 | Instalasi <i>Squeeze Casting</i> | 32 |
| Gambar 3.3 | Hubungan Antara Waktu dan Temperatur dalam Proses <i>Solution Treatment</i> dan <i>Artificial Aging</i> | 34 |
| Gambar 3.4 | Spesimen Uji piknometri | 34 |
| Gambar 3.5 | Timbangan elektrik | 35 |
| Gambar 3.6 | Mesin Uji Tarik. | 36 |
| Gambar 3.7 | Spesimen pengujian tarik | 36 |
| Gambar 3.8 | Diagram alir penelitian | 37 |
| Gambar 4.1 | Grafik Pengaruh <i>Aging Treatment</i> pada <i>Squeeze Casting</i> dengan rata rata Prosentase Porositas Coran Al-Mg-Si | 42 |
| Gambar 4.2 | Grafik Nilai kekuatan tarik pada Variasi <i>Aging Treatment</i> Spesimen Hasil <i>Squeeze Casting</i> | 45 |

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Foto Spesimen Hasil *Aging Treatment*
- Lampiran 2. Foto Patahan Spesimen Hasil Pengujian Tarik
- Lampiran 3 Sertifikat Bahan dan Komposisi Al-Mg-Si 6061
- Lampiran 4 Foto Kegiatan Pengecoran dan Uji Tarik
- Lampiran 5 Data Regangan Spesimen Uji Tarik
- Lampiran 6 Gambar Grafik Tegangan Regangan Tiap Spesimen



RINGKASAN

Arfian Hardianto, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Januari 2014, *Efek Aging Treatment Pada Squeeze Casting Terhadap Porositas dan Kekuatan Tarik Produk Silinder Al-Mg-Si*, Dosen Pembimbing: Yudy Surya Irawan dan Tjuk Oerbandono.

Pada jaman yang semakin maju dan semakin canggih ini, manusia semakin beragam kebutuhan suatu benda. Salah satunya adalah pengecoran logam. Pengecoran merupakan suatu proses manufaktur yang menggunakan logam cair dan cetakan untuk menghasilkan bagian dengan bentuk yang mendekati bentuk akhir produk jadi. Pengecoran logam sendiri memiliki banyak variasi sesuai dengan kebutuhan masing – masing. Salah satu diantaranya adalah *squeeze casting*. Proses *Squeeze casting* ini biasa juga disebut dengan penempaan logam cair (*liquid metal forging*) adalah suatu metode yang menggabungkan beberapa keuntungan dari proses *forging* dan *casting*.

Metode penelitian yang dipakai adalah eksperimental nyata. Pada penelitian ini membahas pengaruh *aging treatment* pada *squeeze casting* terhadap porositas dan kekuatan tarik coran silinder Al-Mg-Si. Dengan tekanan *plunger* 75 MPa, diikuti penambahan proses *aging treatment* yaitu pemanasan hasil coran dengan variasi suhu 100°C, 125°C, 150°C, 175°C, 200°C.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu *aging treatment* maka prosentase porositas semakin kecil dan kekuatan tarik semakin meningkat. Hal ini disebabkan karena *aging treatment* meningkatkan distribusi kekerasan spesimen hasil *squeeze casting* karena persebaran struktur butiran yang semakin merata pada saat *aging treatment* dilakukan. Nilai prosentase porositas yang tercatat berurutan adalah 1.3566 %, 1.0121 %, 0.7637 %, 0.6477 %, 0.5467% dan 0.4445 % dan untuk *tensile strength* rata rata berurutan adalah 99.32 MPa, 117.58 MPa, 139.27 MPa, dan 172.37 MPa. 197.49 MPa dan 208.90 MPa

Kata kunci: *squeeze casting*, *aging treatment*, kekuatan tarik, prosentase porositas.

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada jaman yang semakin maju dan semakin canggih ini, manusia semakin beragam kebutuhan suatu benda. Kebutuhan akan benda-benda yang pokok ataupun kebutuhan tambahan yang berguna untuk menunjang kebutuhan sehari-hari dari berbagai bidang. Misalnya dalam bidang industri yang akan menimbulkan akan permintaan komponen-komponen mesin yang digunakan untuk menunjang kemajuan produksi industri tersebut. Komponen mesin tersebut sebagian besar dari produk hasil pengecoran logam. Dengan cara pengecoran logam nantinya dapat menghasilkan komponen mesin yang rumit dan kompleks. Secara bertahap dan tidak langsung, hal ini sangat membantu berkembangnya negara-negara seperti negara kita ini.

Metode pengecoran logam memiliki banyak macam-macamnya, salah satu metode pengecoran logam adalah *squeeze casting*. Pada proses *squeeze casting* dapat dibedakan menjadi 2 metode berdasarkan cara pengisian logam cair ke dalam cetakan, yaitu:

1. *Direct Squeeze Casting* (DSC), merupakan proses pengecoran dimana dituang ke dalam cetakan dengan memberikan tekanan.
2. *Indirect Squeeze Casting* (ISC), merupakan proses pengecoran dimana logam cair langsung dituang melainkan akan dibantu dengan piston untuk masuk ke cetakannya.

Dalam bidang permesinan, aluminium cukup banyak digunakan sebagai bahan bakunya. Misalnya penggunaan aluminium sebagai suku cadang kendaraan bermotor yang menggantikan logam jenis lainnya dengan bentuk dan fungsi yang sama. Hal tersebut terjadi bila produk harus mempunyai sifat penghantar panas yang baik, mempunyai titik cair yang rendah dan mempunyai berat yang ringan. Sehingga pemilihan bahan untuk penelitian ini adalah paduan Al-Mg-Si.

Pada dasarnya, hasil dari pengecoran dengan menggunakan metode *squeeze casting* masih terdapat beberapa cacat. Cacat yang sering muncul dalam pengecoran ini adalah cacat porositas. Dengan masih adanya cacat porositas nantinya dapat mengurangi

kekuatan dari bahan hasil pengecoran. Untuk mengurangi dari timbulnya cacat porositas maka akan ditambahkan proses *aging treatment* pada hasil coran.

Aging treatment sendiri adalah suatu proses penguatan atau penuaan suatu material yang dapat dilakukan dengan penambahan perlakuan panas pada spesimen hasil coran. Dengan penambahan proses *aging treatment* diharapkan dapat memperkecil cacat porositas spesimen hasil coran. Sehingga diharapkan dengan penambahan proses ini dapat meningkatkan kekuatan dari bahan tersebut.

El-khair (2004) telah melakukan penelitian yang mempelajari efek dari tekanan (70, 100 dan 160 MPa) dan perlakuan panas T6 pada struktur, kekerasan dan tarik sifat paduan Al6Si0.3Mg. Dengan *Solution Treatment* 540°C untuk berbagai kali dan dilanjutkan dengan proses *aging treatment* 170°C. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kekerasan mulai meningkat dan nilai maksimum yang diamati setelah sekitar 10 jam. Peningkatan tekanan *squeeze* (70-160 MPa) terjadi pada masing-masing kekuatan percepatan paduan dari 8 sampai 4 jam. Tekanan *Squeeze* menurunkan persentase porositas, meningkatkan sifat tarik dan meningkatkan densitas, juga mengalami penurunan ukuran butir α -Al dan dimodifikasi eutektik Si

Fitria (2013) dalam penelitiannya menggunakan variasi gaya tekan *plunger* 0.1 MPa, 10 MPa, 30 MPa, 50 MPa dengan suhu penuangan logam cair 650°C dan suhu cetakan logam 150°C yang menghasilkan data bahwa prosentase porositas dari hasil coran *Squeeze Casting* mengalami penurunan ketika beban penekanan logam cair naik dan kekuatan tarik dari spesimen mengalami peningkatan seiring dengan penambahan beban penekanan pada coran.

Dari hasil beberapa penelitian sebelumnya yang menggunakan aluminium jenis Al-Mg-Si didapatkan bahwa peneliti terdahulu telah meneliti pengaruh tekanan dan temperatur *aging treatment* terhadap cacat dan kekerasan produk dengan variasi yang berbeda. Tetapi belum diketahui pengaruh efek *aging treatment* pada bahan Al-Mg-Si dengan memvariasikan suhu pemanasan spesimen.

Oleh karena itu dalam penelitian ini akan dicari efek *aging treatment* pada *squeeze casting* terhadap porositas dan kekuatan tarik produk silinder Al-Mg-Si.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, permasalahan yang diungkap dalam penelitian skripsi ini adalah bagaimana pengaruh efek *aging treatment* pada *squeeze casting* terhadap porositas dan kekuatan tarik produk silinder Al-Mg-Si?

1.3 Batasan Masalah

Untuk memberikan hasil pembahasan yang lebih terarah maka perlu adanya batasan masalah yang meliputi:

1. Menggunakan material aluminium paduan tipe 6061 yang mempunyai sifat homogen .
2. Temperatur penuangan yang dapat dilihat dari indikator dapur pemanas dengan suhu 900°C.
3. Kekuatan tarik spesimen diuji hingga mengalami tegangan *ultimate*.
4. Volume dan waktu penuangan dijaga konstan.
5. Temperatur cetakan dipertahankan konstan dengan suhu 150°C untuk mengantisipasi terjadinya pembakuan dini.
6. Waktu penuangan secara cepat sehingga sebelum udara terperangkap didalam cetakan dan tidak berpengaruh terhadap suhu penuangan dan hasil coran.

1.4 Tujuan Penelitian

Dari rumusan masalah diatas, maka didapatkan tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui efek *aging treatment* pada *squeeze casting* terhadap cacat dan kekuatan tarik produk silinder Al-Mg-Si

1.5 Manfaat Penelitian

Dengan adanya penelitian ini diharapkan memberi manfaat sebagai berikut:

1. Dapat menerapkan teori-teori tentang pengecoran logam yang didapatkan selama perkuliahan.
2. Penelitian ini dapat memberikan masukan bagi industri pengecoran logam dalam meningkatkan kualitas hasil coran.
3. Mampu menambah pengetahuan tentang efek *aging treatment* pada *squeeze casting* terhadap cacat dan kekuatan tarik produk silinder Al-Mg-Si.

4. Memberikan referensi tambahan untuk pengembangan penelitian lebih lanjut mengenai teknologi pengecoran (*squeeze casting*) pada khususnya.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Pengecoran dengan metode *squeeze casting* adalah suatu proses pengecoran logam dimana logam dipanaskan sampai mencair kemudian dituangkan kedalam cetakan dan ditambahkan tekanan hidrolis. Proses ini sebelumnya telah dilakukan oleh beberapa orang yaitu Duskiardi dan Tjitro (2002), El-khair (2004) dan Fitria (2013). Ketiga orang tersebut melakukan penelitian yang hampir sama dengan perbedaan pada variasi suhu *aging treatment* dan tekanan hidrolisnya. Duskiardi dan Tjitro (2002) melakukan penelitian dimana membandingkan beragam jenis material, temperatur *die* dan variasi tekanan yang menghasilkan data bahwa cacat porositas turun sebanyak 85,15% sedangkan sifat kekerasannya naik sebesar 5,29%. Tekanan dan temperatur *die* optimal didapatkan pada 70-100 MPa dan 400-450°C, sedangkan Fitria (2013) dalam penelitiannya yang menggunakan variasi gaya tekan *plunger* 0.1 MPa, 10 MPa, 30 MPa, 50 MPa dengan suhu penuangan logam cair 650°C dan suhu cetakan logam 150°C yang menghasilkan data bahwa prosentase porositas dari hasil coran *Squeeze Casting* mengalami penurunan ketika beban penekanan logam cair naik dan kekuatan tarik dari spesimen mengalami peningkatan seiring dengan penambahan beban penekanan pada coran.

Hasil yang didapat oleh Duskiardi dan Tjitro (2002) dan Fitria (2013) sama yaitu tekanan dapat mempengaruhi besarnya porositas. Semakin tinggi tekanan maka prosentase porositas juga akan semakin menurun. Sedangkan suhu *aging treatment* diteliti oleh El-khair (2004) telah melakukan penelitian dilakukan untuk mempelajari efek dari tekanan (70, 100 dan 160 MPa) dan perlakuan panas T6 pada struktur, kekerasan dan tarik sifat paduan Al6Si0.3Mg. Dengan *Solution Treatment* 540°C untuk berbagai kali dan dilanjutkan dengan proses *aging treatment* 170°C. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kekerasan mulai meningkat dan nilai maksimum yang diamati setelah sekitar 10 jam. Peningkatan tekanan *squeeze* (70-160 MPa) terjadi pada masing-masing kekuatan percepatan paduan dari 8 sampai 4 jam. Tekanan *Squeeze* menurunkan prosentase porositas, meningkatkan sifat tarik dan meningkatkan densitas, juga mengalami penurunan ukuran butir a-Al dan dimodifikasi eutektik Si.

Dari ketiga penelitian tersebut didapatkan hasil bahwa tekanan pada saat *squeeze casting* dapat mempengaruhi prosentase porositas. Semakin tinggi tekanan maka prosentase porositas juga akan semakin turun. Sedangkan proses *aging treatment* juga berpengaruh terhadap prosentase porositas, semakin tinggi suhu yang digunakan maka prosentase porositas juga akan semakin menurun. Sehingga kekuatan spesimen hasil coran akan meningkat.

2.2 Pengecoran Logam

2.2.1 Pengertian Pengecoran Logam

Pengecoran (*casting*) adalah salah satu metode pembuatan produk atau suatu komponen mesin dimana logam dicairkan dalam tungku peleburan kemudian di tuangkan kedalam rongga cetakan yang serupa dengan bentuk asli dari produk cor yang akan dibuat dengan ukuran dan model yang rumit sekalipun. Dalam hal ini dijelaskan prinsip dasar pengecoran logam adalah mencairkan logam dalam dapur kemudian menuangkan logam cair tersebut kedalam sebuah cetakan, yang mana cetakan tersebut memiliki kemampuan untuk tahan terhadap temperatur tinggi dengan bentuk rongga cetakan (*cavity*) sesuai bentuk logam yang di buat, kemudian dibiarkan dingin sehingga membeku. Ada beberapa urutan yang harus dilakukan dalam melakukan pengecoran logam diantaranya membuat cetakan, pencairan logam, pembersihan logam, dan pemeriksaan hasil coran.

Berikut ini merupakan beberapa keuntungan dari pengecoran logam, antara lain:

1. Dapat membuat produk pengecoran dengan bentuk – bentuk yang rumit, kompleks, dan simetri sesuai gambar / desain yang dibuat.
2. Dapat digunakan untuk membuat bagian atau komponen yang sangat besar.
3. Metode pengecoran logam ini juga dapat digunakan untuk banyak jenis bahan logam yang dipanaskan sampai titik leburnya.
4. Beberapa metode pengecoran logam dapat diaplikasikan untuk memproduksi barang secara massal.
5. Sangat ekonomis

2.2.2 Macam-macam Pengecoran Logam

A. Berdasarkan umur cetakan dibagi menjadi 2 macam yaitu:

1. *Permanent mold casting*

Permanent mold casting adalah alat cetak produk coran yang dapat digunakan berulang kali. Biasanya terbuat dari bahan logam tahan panas atau baja. Cetakan ini dapat menghasilkan permukaan produk cor yang halus.

2. *Expandable mold casting*

Expandable mold casting adalah alat cetak produk coran 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. Pembongkaran produk coran dengan cara merusak cetakan.

B. Berdasarkan metode pengecorannya, pengecoran dapat dibagi antara lain menjadi:

1. *Pressure Die Casting*

Proses ini sesuai untuk produksi massal *part-part* dengan dimensi yang kecil. Berat dari produk yang dihasilkan dapat mencapai 5 kg.

2. *Permanent Mould Casting*

Proses ini sesuai untuk produksi massal dan biasanya cetakannya lebih besar daripada *pressure die casting*.

3. *Sand Casting*

Dalam proses ini, cetakan dibuat dengan cara memadatkan pasir di atas pola. Sehingga saat pola diangkat maka menghasilkan bentuk rongga cetakan.

4. *Shell Mould Casting*

Dalam proses ini cetakan terbuat dari pencampuran resin dengan pasir dengan ketebalan kira-kira 10-20 mm. Permukaan hasil corannya lebih halus dan dimensinya lebih presisi dari pada dengan cetakan pasir.

5. *Investment Casting*

Proses ini menggunakan cetakan dari bahan *refractory* yang dibentuk pada pola dari lilin atau bahan *thermoplastic* untuk bentuk yang rumit (banyak yang tersangkut di cetakan). Beratnya berkisar dari 1 gram hingga 35 kg untuk logam non ferro dan ferro serta paduannya.

6. Centrifugal Casting

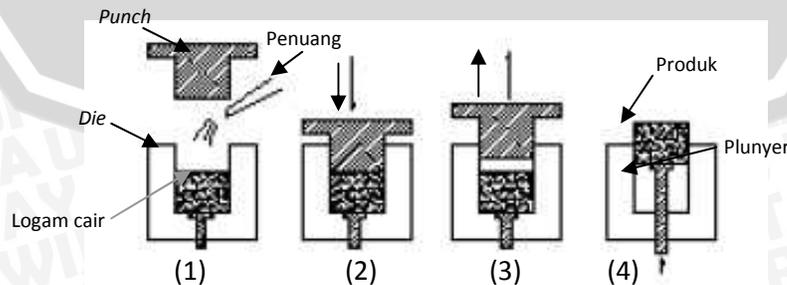
Metode pengecoran logam dengan cara menuangkan logam ke dalam cetakan yang berputar dengan kecepatan tertentu. Cetakan ini berputar pada sumbu putar posisi horizontal, vertikal atau dengan kemiringan yang sesuai.

2.3 Pengecoran *Squeeze* (*Squeeze Casting*)

Pengecoran *squeeze* dapat diartikan sebagai suatu proses pengecoran logam 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*). 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 *die* memungkinkan terjadinya perpindahan panas yang cukup cepat sehingga menghasilkan struktur mikro yang homogen dengan sifat mekanik yang baik.

2.3.1 DSC (*Direct Squeeze Casting*)

DSC merupakan salah satu jenis metode yang diberikan untuk proses pengecoran logam, dimana logam cair didinginkan melalui pemberian tekanan dari hidrolis secara langsung yang diharapkan mampu mencegah munculnya porositas gas dan penyusutan.

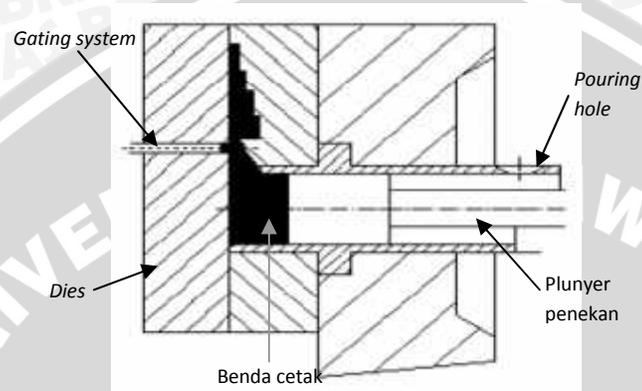


Gambar 2.1 Mekanisme *Direct Squeeze Casting*.

Sumber : Tjitro dan Firdaus 2000: 110.

2.3.2 ISC (*Indirect Squeeze Casting*)

Metode *indirect* dipakai untuk menggambarkan injeksi logam ke dalam rongga cetakan dengan bantuan piston berdiameter kecil dimana mekanisme penekan ini dipertahankan sampai logam cair membeku.



Gambar 2.2 Mekanisme *Indirect Squeeze Casting*.

Sumber : Tjitro dan Firdaus. 2000: 110.

2.3.3 Parameter Proses Pengecoran *Squeeze*

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

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 pertama penuangan logam cair ke dalam rongga cetak hingga saat permukaan *punch* menyentuh dan mulai menekan permukaan logam cair.

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.

2.3.4 Aplikasi Pengecoran *Squeeze*

Pengecoran dengan menggunakan metode *squeeze* dapat digunakan untuk sejumlah aplikasi dengan menggunakan berbagai macam jenis logam dan paduan. Beberapa *part* ditunjukkan dalam Gambar 2.3 meliputi *aluminium dome* (a), *ductile iron mortar shell* (b), dan *steel bevel gear* (c). 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 : Adam 1998:718.

2.4 Sifat-sifat Logam Cair

2.4.1 Perbedaan Logam Cair dan Air

Logam yang sudah mencair adalah cairan seperti air, tetapi berbeda dari air dalam beberapa hal. Dimana kecairan logam sangat tergantung pada temperatur dan logam cair akan cair sepenuhnya pada temperatur tinggi, sedangkan pada temperatur rendah akan membeku menjadi logam padat. Hal tersebut berbeda dengan air, terutama pada keadaan dimana terdapat inti-inti kristal.

Berat jenis logam cair lebih besar dari pada berat jenis air. Berat jenis air sekitar $1,0 \text{ g/cm}^3$ sedangkan besi cor bisa mencapai $6,8 \text{ g/cm}^3$ sampai $7,0 \text{ g/cm}^3$ lalu paduan aluminium $2,2 \text{ g/cm}^3$ sampai $2,3 \text{ g/cm}^3$ dan paduan timah $6,6 \text{ g/cm}^3$ sampai $6,8 \text{ g/cm}^3$. 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.

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 |

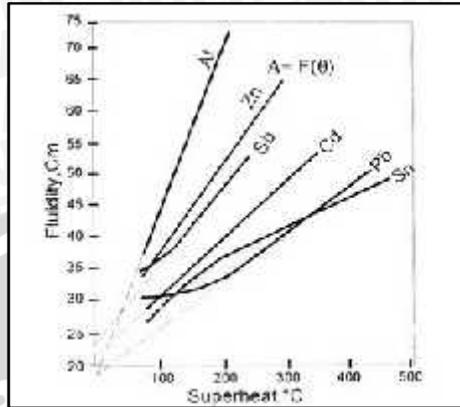
Sumber : Surdia dan Kenji 1976 : 12.

2.4.2 Fluiditas

Fluiditas dalam teknik pengecoran tidak diartikan sebagai kebalikan dari viskositas, akan tetapi kemampuan logam cair untuk mengisi ruang-ruang dalam rongga cetak. Fluiditas tidak dapat dikaitkan secara langsung 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 aliran yang lebih dikenal dengan sifat mampu alir adalah kemampuan dari suatu zat (logam cair) untuk mengalir (berpindah tempat) dan mengisi cetakan sebelum membeku. Sifat ini erat kaitannya dengan kekentalan zat cair itu, semakin tinggi kekentalannya maka sifat mampu alirnya menurun. Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi fluiditas selain kekentalan, diantaranya adalah temperatur penuangan, komposisi logam dan perpindahan panas yang terjadi pada dinding cetakan. Tingginya temperatur penuangan (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 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 Hubungan antara fluiditas terhadap panas dari logam.
Sumber : Vai, 2009.

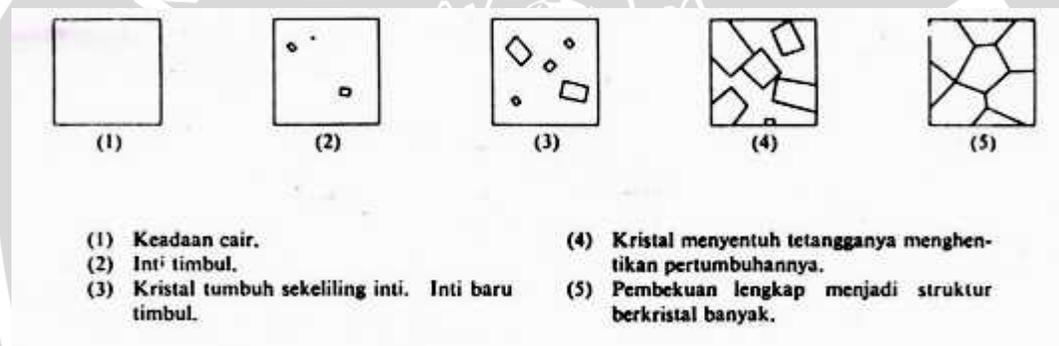
2.5 Pembekuan Logam

Saat proses pembekuan, logam akan membentuk inti-inti 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 akan banyak muncul *dendrite*, dimana 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. Ketika logam didinginkan secara perlahan, 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.

Solidifikasi dalam pengecoran 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. Sehingga 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 berikut :



Gambar 2.5 Ilustrasi Skematis Dari Pembekuan Logam.
 Sumber: Surdia dan Kenji 1976 : 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

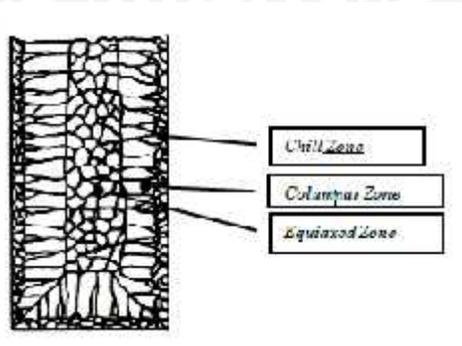
tinggi dimana cairan yang berada ditengah-tengah coran tetap diatas temperatur leburnya sehingga dapat menyebabkan kristal yang dekat dengan daerah tersebut mencair lagi meninggalkan dinding cetakan. Hanya kristal yang berada pada dinding cetakan yang tumbuh menjadi *chill zone*.

- *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 kearah 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 dendrite 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.

2.6 Aluminium

2.6.1 Pengolahan Aluminium

Aluminium merupakan salah satu logam yang memiliki banyak sekali keunggulan. Aluminium sangat ringan, beratnya hanya 1/3 baja, tembaga atau kuningan. Memiliki kekuatan yang baik, bahkan beberapa aluminium paduan kekuatannya melebihi baja. Aluminium memiliki ketahanan terhadap korosi yang sangat baik, 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. 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 Saito, 1999 : 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.1998 : 157).

2.6.2 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 ($\text{Cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$) (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 ($\text{M} / ^\circ\text{C}$) ($20-100^\circ\text{C}$) | $23,86 \times 10^{-6}$ | $23,5 \times 10^{-6}$ |
| Jenis kristal, Konstanta kisi | <i>Fcc</i> , $\alpha = 4,013 \text{ kX}$ | <i>Fcc</i> , $\alpha = 4,04 \text{ Kx}$ |

Sumber: Surdia dan Saito 1999:134.

Sifat-sifat aluminium yang lainnya yaitu modulus elastisitas aluminium yang rendah, jadi harus dipertimbangkan saat bahan tersebut dikerjakan dingin karena adanya *springback* pada saat beban pembentukan dihilangkan. Keburukan yang paling serius dari segi teknik adalah sifat elastisitas aluminium sangat rendah hampir tidak dapat diperbaiki baik dengan pemanduan maupun dengan *heat treatment*.

2.6.3 Pengaruh Unsur-Unsur Paduan

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

➤ Silikon (Si)

Silikon merupakan unsur kimia dalam tabel periodik yang 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 adalah unsur kimia dalam tabel periodik yang 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 adalah unsur kimia dalam tabel periodik yang 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.

2.6.4 Aluminium Paduan

Dibawah ini adalah beberapa paduan aluminium yang penting :

1. Paduan Al-Si

Paduan Al-Si merupakan paduan yang baik kecairannya. 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.

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.

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 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.

2.7 Densitas

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

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2-1)$$

dengan :

- ρ = kepadatan sebuah benda (gr/cm^3)
- m = massa total benda (gr)
- V = volum benda (cm^3)

2.7.1 Macam-macam Densitas

Di dalam pengukuran prosentase porositas yang terdapat dalam suatu coran digunakan perbandingan dua buah densitas yaitu *True density* dan *Apparent Density*.

➤ *True Density*

True density atau densitas teoritis merupakan kepadatan dari sebuah benda padat tanpa porositas yang terdapat di dalamnya. Didefinisikan sebagai perbandingan massanya terhadap volume sebenarnya (gr/cm^3). persamaan yang ada pada standar ASTM E252-84 yaitu:

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

dengan :

- ρ_{th} = *True Density* (gr/cm^3).
- $\rho_{Al}, \rho_{Si}, \rho_{Fe}, etc$ = Densitas unsur (gr/cm^3).
- $\%Al, \%Si, etc$ = Prosentase berat unsur (%).

➤ *Apparent Density*

Apparent density atau densitas sampel adalah berat setiap unit volum material termasuk cacat (void) yang terdapat dalam materia yang di uji (gr/cm^3).

Standar ASTM B311-93 sebagaimana beikut:

$$\rho_s = \rho_w \frac{W_s}{W_s - (W_{sb} - W_b)} \quad (2-3)$$

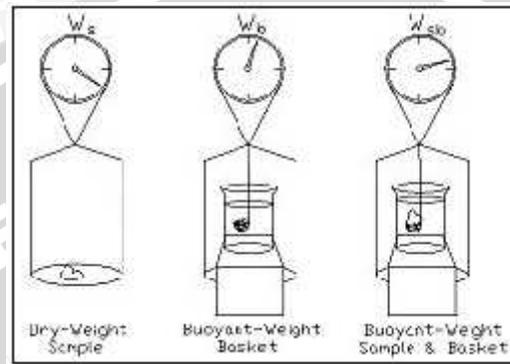
dengan:

- ρ_s = *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)

2.7.2 Pengukuran Densitas Menggunakan Metode Piknometri

Piknometri adalah sebuah proses membandingkan densitas relatif dari sebuah padatan dan sebuah cairan. Jika densitas dari cairan diketahui, densitas dari padatan dapat dihitung. Proses dapat digambarkan secara skematik dalam gambar 2.7.



Gambar 2.7 Skema Piknometri.
Sumber: Taylor, 2000.

Tiga pengukuran berat yang diukur adalah W_s = pengukuran berat kering (*dry weight*), W_{sb} = pengukuran berat apung keranjang dan sampel, dan W_b = pengukuran berat apung keranjang. Pada gambar 2.7, pengukuran berat apung dibuat dengan menggantungkan sampel menggunakan suatu keranjang kawat dalam sebuah bejana berisi cairan yang disangga oleh sebuah penyeimbang yang menggunakan kawat penggantung.

2.8 Aging Treatment

Proses pengerasan suatu material dapat dihasilkan 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.

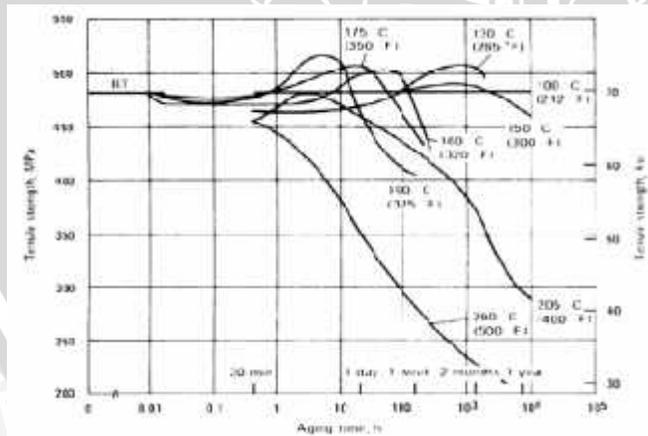
Perlakuan *aging* ini biasanya dilakukan untuk memberikan peningkatan kekuatan dan kekerasan pada produk tempa atau coran. Pada beberapa paduan dengan reaksi yang lama pada temperatur ruang, selalu dilakukan perlakuan panas sebelum produk digunakan.

2.8.1 Artificial Aging

Proses ini dilakukan pada suhu rendah dan berlangsung cukup lama. Suhu berkisar antara 115 – 190°C (240-375°F) dengan 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 waktu yang dibutuhkan 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.

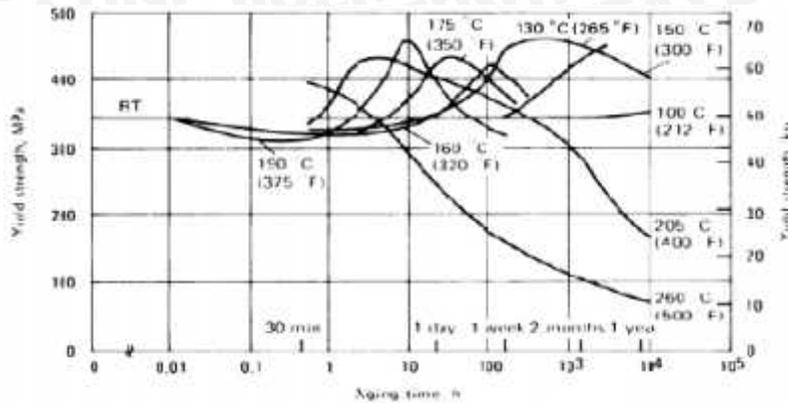
Untuk menginginkan sifat mekanik yang baik, maka pemilihan suhu dan waktu harus lebih spesifik. Perawatan umum yang dianjurkan sering berhubungan dengan waktu, faktor biaya dan probabilitas untuk mendapatkan sifat yang diinginkan, dengan pertimbangan tunjangan untuk variabel seperti komposisi dalam jangkauan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

Berikut ini adalah beberapa grafik hubungan antara lama waktu aging terhadap kekuatan :

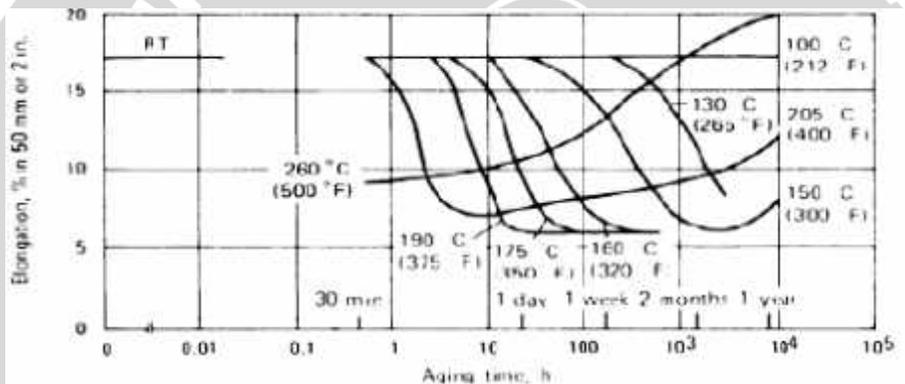


Gambar 2.8 Hubungan antara lama *aging* terhadap *tensile strength*.

Sumber : Brook dkk :1991.



Gambar 2.9 Hubungan antara lama *aging* terhadap *yield strength*.
 Sumber : Brook dkk :1991.



Gambar 2.10 Hubungan antara lama *aging* terhadap *elongation strength*.
 Sumber : Brook dkk :1991.

2.8.2 Natural Aging

Pada dasarnya digunakan untuk 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.

2.9 Pengujian Porositas

2.9.1 Porositas Pada Pengecoran Logam

Kebanyakan porositas dapat terjadi karena terjebaknya gelembung-gelembung gas pada logam cair ketika dituangkan kedalam cetakan (Budinski, 1996 : 460). Porositas pada produk cor dapat menurunkan kualitas produk coran. 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 benda tuang tersebut. Penyebabnya antara lain kontrol yang kurang sempurna terhadap absorpsi gas 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.

2.9.2 Jenis - Jenis Porositas Pada Pengecoran Logam

Ada dua sumber utama dari porositas dalam logam cor. Pertama, porositas rongga (*cavity porosity*) adalah dalam kaitannya dengan penuangan yang tidak tepat. Kedua,

porositas mikro (*microporosity*) adalah hasil dari *mushy mode* solidifikasi dalam beberapa paduan (Verhoeven, 1975: 298).

➤ *Cavity Porosity* (Porositas rongga)

Porositas rongga diakibatkan oleh penuangan tidak tepat dan mungkin saja dihilangkan oleh desain riser yang tepat

➤ *Microporosity* (Porositas Mikro)

Porositas mikro adalah suatu hasil yang tidak bisa dipisahkan dari sifat pembekuan dari struktur dendritik, dan mungkin saja menyajikan hal yang sama dengan desain riser yang sesuai.

Dua jenis karakteristik porositas mikro yang pertama porositas mikro yang disebarkan dengan seragam ke seluruh bagian, disebut dengan porositas mikro tersebar (*dispersed microporosity*). Di dalam jenis yang kedua yang disebarkan dalam lapisan-lapisan pertemuan bagian, disebut dengan porositas mikro lapisan (*layer microporosity*). Dikarenakan pori-pori ini dimulai dari lokasi interdendritik mungkin diharapkan menjadi sungguh kecil. Ukuran khas 5-10 μm untuk pori-pori di dalam butir *equiaxed*. Ukuran ini sangat kecil bahkan pori-pori kadang-kadang sulit untuk dideteksi.

2.9.3 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:

$$\% P = 1 - \frac{\rho_s}{\rho_{th}} \times 100\% \quad (2-4)$$

dengan:

$$\begin{aligned} \%P &= \text{Prosentasi porositas (\%)} \\ \rho_s &= \text{Apparent Density (gr/cm}^3\text{)}. \\ \rho_{th} &= \text{True Density (gr/cm}^3\text{)} \end{aligned}$$

2.10 Kekuatan Tarik

2.10.1 Definisi Kekuatan Tarik

Kekuatan tarik merupakan kemampuan bahan untuk menerima beban tarik tanpa mengalami kerusakan dan dinyatakan sebagai tegangan maksimum sebelum putus. Tegangan maksimum sebelum putus dianggap sebagai data terpenting yang diperoleh dari

hasil pengujian tarik, karena biasanya perhitungan – perhitungan kekuatan dihitung atas dasar kekuatan tarik ini. Tegangan tarik didefinisikan sebagai distribusi gaya tarik persatuan luas penampang bahan yang dirumuskan dengan :

$$\sigma = P/A$$

dengan: σ = Tegangan tarik (N/mm²)

P = Beban tarik (N)

A = Luas penampang (mm²)

Regangan dirumuskan:

$$\epsilon = \Delta \ell / L_0$$

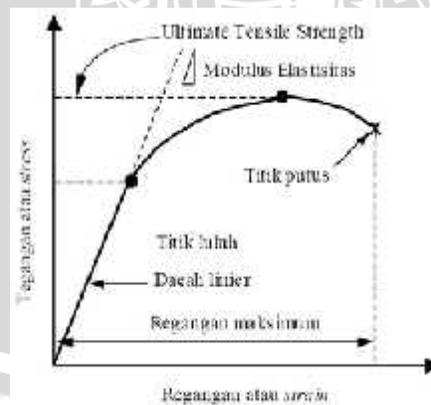
dengan : $\Delta \ell$ = Pertambahan Panjang (mm)

ϵ = Regangan

L_0 = Panjang awal (mm)

2.10.2 Hubungan Tegangan dan Regangan

Hubungan tegangan dan regangan dapat diketahui dengan jelas pada diagram tegangan regangan yang didasarkan dari data yang diperoleh dalam pengujian tarik. Ini juga berlaku hukum hooke yang menyatakan tegangan sebanding dengan regangan, jika beban ditambah secara perlahan maka penambahan beban itu akan menambah regangan sampai pada batas elastis dimana beban yang ditambah tetap akan terjadi penambahan regangan. Pada pengujian tersebut benda uji diberi beban tarik secara aksial yang bertambah besar secara kontinyu dan dilakukan juga pengamatan pertambahan panjang. Dalam hal ini :



Gambar 2.11 Diagram Tegangan Regangan.

Sumber : Darmawan 2012.

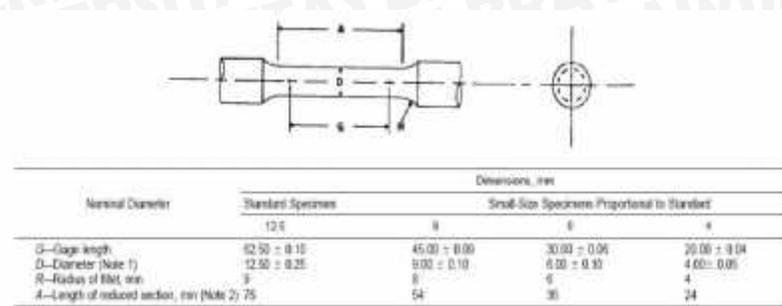
Dari diagram diatas dapat diperoleh:

- a. Titik proposional adalah tempat terjadinya keseimbangan antara tegangan dan regangan seperti yang tertera dengan huruf P.
- b. Titik luluh (*yield*) merupakan titik tempat tegangan penambahan regangan tanpa ditambah penambahan beban.
- c. Titik *ultimate* merupakan tempat tegangan tertinggi yang dapat dicapai oleh bahan tersebut.
- d. Titik patah merupakan tempat dimana benda tersebut sudah tidak mampu lagi menerima beban dan mengalami patah.
- e. Elastisitas merupakan kemampuan suatu benda untuk menerima beban dari luar tanpa mengalami perubahan bentuk yang permanen ketika beban di hilangkan.
- f. *Plasticity* (plastisitas) merupakan kemampuan suatu benda unth berubah bentuk secara permanen namun tidak mengakibatkan terjadinya kerusakan.

Apabila suatu proses pengujian dihasilkan diagram tegangan-regangan yang tidak memperlihatkan titik *yield* maka cara mencarinya dengan metode offset yaitu dengan cara menarik garis lurus (*garis offset*) yang sejajar dengan diagram tegangan-regangan yang digunakan sebagai acuan (*garis lurusnya*) dengan jarak 0,002 atau 0,2%. Perpotongan garis *offset* dengan kurva acuan merupakan tegangan luluh *offset* karena bukan merupakan sifat fisik dan dibuat dengan suatu aturan sebarang (bukan dari pengujian).

2.11 Bentuk dan Ukuran Benda Uji

Benda uji yang akan digunakan biasanya memiliki penampang segi empat atau lingkaran. Disetiap ujungnya dibuat tebal untuk penjepitan. Dan patahan yang terjadi tidak berpengaruh pada bagian ini sehingga di tengah dibuat sedikit menyempit dengan ukuran khusus. Untuk specimen uji tarik sendiri telah memiliki beberapa standar, contohnya ASTM, DIN, dan JIS.



Gambar 2.12 Bentuk dan Ukuran Standar Spesimen Uji Tarik.
Sumber: ASTM B 557M-81,1999

2.12 Hipotesa

Dengan penambahan proses *aging treatment* pada hasil coran, maka menyebabkan penuaan pada struktur molekulnya sehingga ukuran butir molekulnya menjadi lebih kecil yang dapat meningkatkan nilai *ultimate tensile strength*.

Semakin tinggi suhu pada proses *aging treatment*, maka kerapatan molekul dari hasil coran akan meningkat yang dapat menyebabkan butiran yang terbentuk semakin kecil sehingga kekuatannya semakin tinggi dan porositasnya akan cenderung menurun.

BAB III

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian eksperimental nyata (*trueexperimental research*) yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh *aging treatment* terhadap porositas dan kekuatan tarik 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 Penelitian

Tempat yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- Laboratorium Pengecoran Logam, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Brawijaya untuk proses pengecoran dan pengujian porositas.
- Laboratorium Metalurgi Fisik, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Brawijaya untuk proses pengujian mikrostruktur.
- Laboratorium Pengujian Bahan, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Malang untuk proses pengujian tarik.

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:

- *Aging treatment* 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:

- Porositas Hasil Coran (%)
- Kekuatan Tarik (MPa)

3. Variabel Terkontrol

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

- Temperatur Tuang Logam cair
- *Time Delay* 5 menit.
- Temperatur Cetakan 150°C
- Tekanan *plunger* 75 MPa.
- Waktu *aging treatment*

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. Motor listrik
Adalah alat yang digunakan untuk menggerakkan hidrolik.
6. Cawan tuang (ladel)
Merupakan alat yang digunakan untuk mengambil logam cair dalam dapur listrik dan menuangkannya ke dalam saluran masuk *squeeze casting*.
7. Peralatan *safety* (standar laboratorium)
Adalah peralatan yang digunakan sebagai pengaman tubuh saat melakukan proses pengecoran *squeeze casting*.
8. Kamera digital
Adalah alat yang digunakan untuk dokumentasi selama proses *squeeze casting* dan mengambil gambar hasil coran.
9. Timbangan elektrik
Merupakan alat yang digunakan untuk menimbang hasil coran.

10. *Stopwatch*

Adalah alat yang digunakan untuk menghitung waktu proses pengepresan.

11. *Plunger*

Plunger adalah komponen dari mesin, yang berupa silinder pejal, dan berfungsi untuk meneruskan gaya dorong yang dihasilkan oleh *accumulator* terhadap logam cair.

12. *Piknometri*

Piknometri adalah sebuah proses membandingkan densitas relatif dari sebuah padatan pada sebuah cairan. Jika densitas dari cairan diketahui, densitas dari padatan dapat dihitung.

13. *Infrared thermometer*

Alat yang digunakan untuk mengukur temperatur penuangan dan temperature cetakan saat preheating.

14. *Burner*

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

15. Dapur pemanas

Digunakan untuk proses aging treatment

16. Mesin Uji Tarik

Digunakan untuk uji tarik spesimen

Bahan Penelitian

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

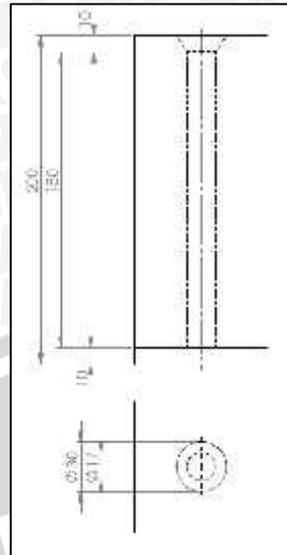
3.4 Prosedur Penelitian

3.4.1 Prosedur Pengecoran

Langkah- langkah pengerjaan dalam penelitian ini adalah:

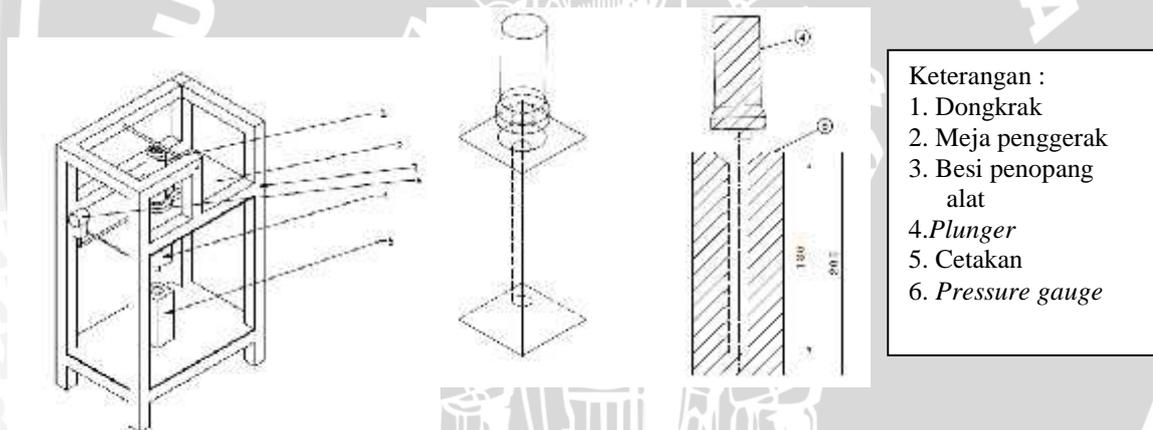
1. Persiapan percobaan, yaitu menyiapkan dapur peleburan, menyiapkan cetakan logam, dan menyiapkan alat-alat yang digunakan.
2. Membuat cetakan produk yang akan digunakan. Pola cetakan logam pada *squeeze casting*, yang tampak atas dan tampak samping terlihat pada gambar

3.1:



Gambar 3.1 Cetakan (satuan : mm)

Gambar instalasi *squeeze casting* ditunjukkan pada gambar 3.2:



- Keterangan :
1. Dongkrak
 2. Meja penggerak
 3. Besi penopang alat
 4. Plunger
 5. Cetakan
 6. Pressure gauge

Gambar 3.2 Instalasi *Squeeze Casting*.

3. Peleburan Al-Mg-Si sampai temperatur $\pm 900^{\circ}\text{C}$
4. Menghitung tekanan plunger 75 MPa menjadi tekanan pada *hydraulic*.
5. Pasang cetakan logam ke dalam alat *squeeze casting*.
6. Panaskan cetakan logam hingga suhu 150°C kemudian cek dengan *infrared thermometer* pada semua titik cetakan.
7. Penuangan logam cair ke dalam cetakan logam yaitu dilakukan dengan menuangkan logam cair ke dalam cetakan dengan variasi tekanan *plunger* 75 MPa dengan *time delay* 5 menit. Selanjutnya dilakukan pembongkaran cetakan.

8. Mengulangi langkah 1-7 sampai mendapatkan jumlah specimen yang diinginkan.

3.4.2 Proses Aging Treatment

Langkah-langkah dari proses *Aging Treatment* adalah sebagai berikut:

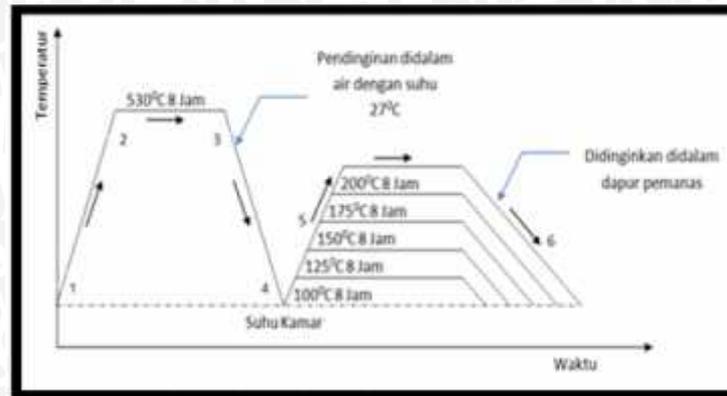
1. Gambar 1-2 semua spesimen hasil coran kemudian dipanaskan dalam dapur pemanas dengan suhu 530°C dengan waktu *holding* 8 jam.
2. Gambar 2-3 setelah mencapai suhu 530°C kemudian dilakukan proses *holding* selama 8 jam.
3. Gambar 3-4 adalah proses pendinginan dengan cara *quenching* mencapai suhu kamar yang menggunakan fluida air.
4. Gambar 4-5 pengerjaan *aging treatment*

Langkah- langkah pengerjaan *aging treatment* dalam penelitian ini adalah:

Proses ini dilakukan dengan cara spesimen dipanaskan dalam dapur pemanas.

- Spesimen pertama dimasukkan ke dalam dapur pemanas dengan suhu 100°C selama 8 jam.
- Spesimen kedua dimasukkan ke dalam dapur pemanas dengan suhu 125°C selama 8 jam.
- Spesimen ketiga dimasukkan ke dalam dapur pemanas dengan suhu 150°C selama 8 jam.
- Spesimen keempat dimasukkan ke dalam dapur pemanas dengan suhu 175°C selama 8 jam.
- Spesimen kelima dimasukkan ke dalam dapur pemanas dengan suhu 200°C selama 8 jam.

Setelah dilakukan proses pemanasan sampai selesai, kemudian spesimen didinginkan dengan suhu dapur.



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

3.4.3 Prosedur pengujian porositas

Dari benda uji yang dihasilkan dilakukan pengujian untuk mengetahui nilai porositas hasil coran sebagai berikut:

a. Pengujian Porositas sebelum *finishing*.

1. Mengambil benda kerja hasil coran dan dilakukan pemotongan, seperti gambar 3.4 sebagai berikut:



Gambar 3.4 Spesimen Uji piknometri

2. Pengambilan data uji porositas menggunakan metode piknometri.

Alat yang digunakan adalah:

Nama : Timbangan Elektrik

Merek : Mettler

Tipe : PJ 3000 – SNR K89128

Buatan : Switzerland

Tegangan : 200-240 Volt

Frekuensi : 50-60 Hz

Berat Kapasitas : 3000 g

Nilai ketelitian : 0,01 g



Gambar 3.5 Timbangan elektrik
Sumber : Laboratorium Pengecoran Logam Universitas Brawijaya

Prosedur pengujian:

- a. Spesimen ditimbang dalam keadaan kering dan dicatat hasilnya
 - b. Menimbang berat keranjang dan dicatat hasilnya
 - c. Spesimen ditimbng didalam air yang diletakkan dalam keranjang dan dicatat hasilnya
 - d. Setelah semua data selesai diambil kemudian pengolahan data dengan rumus yang telah ditentukan
3. Pengolahan data hasil pengujian. Melakukan pengulangan langkah 1 dan 2 sampai 5 untuk spesimen dengan variasi *aging treatment* 100 °C, 125 °C, 150 °C, 175 °C, 200 °C.
 4. Melakukan analisa dan pembahasan dari data-data yang diperoleh.
 5. Selesai.

3.4.4 Prosedur Pengujian Kekuatan Tarik

Dalam penelitian ini dilakukan pengujian kekuatan tarik dengan spesifikasi mesin dan bentuk spesimen seperti ditunjukkan Gambar 3.6 sebagai berikut:

1. Mengambil benda kerja hasil coran dan dilakukan pembubutan sesuai dengan bentuk standart dalam pengujian tarik..
2. Pengambilan data pengujian tarik menggunakan mesin uji tarik.

Nama Alat : Universal Testing Machine

Merk : Tarno Grocki-Prufsysteme

Hottinger Balwin Messtechnik (HBM)

Grossanzeiger GA 03V/483

Type :UPH 100 KN

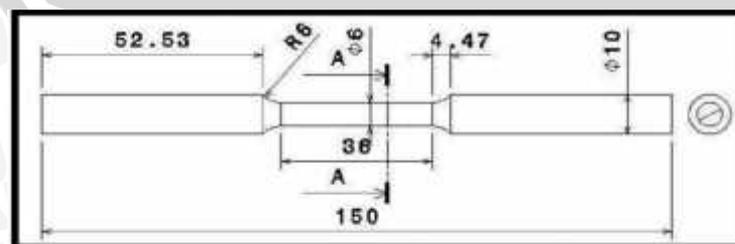
Kom. Nr. : 82/80514-5-17314/440
 Alb. Von Tarnogrocki Gmh-4240
 Emmerich am Rhein/ Material prufmaschin N



Gambar 3.6 Mesin Uji Tarik.
 Sumber : Laboratorium Pengujian Bahan Politeknik Negeri Malang.

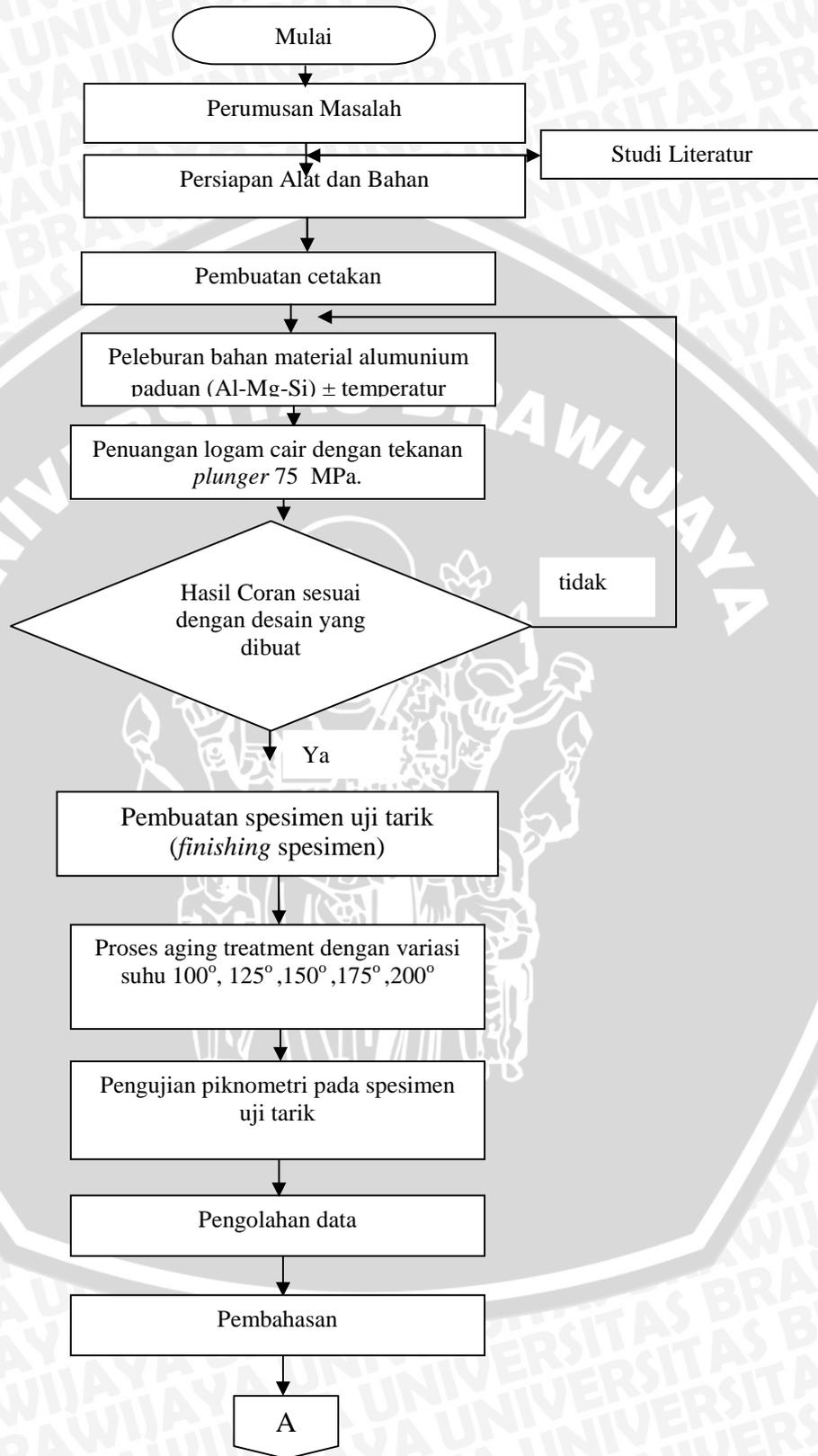
Prosedur pengujian :

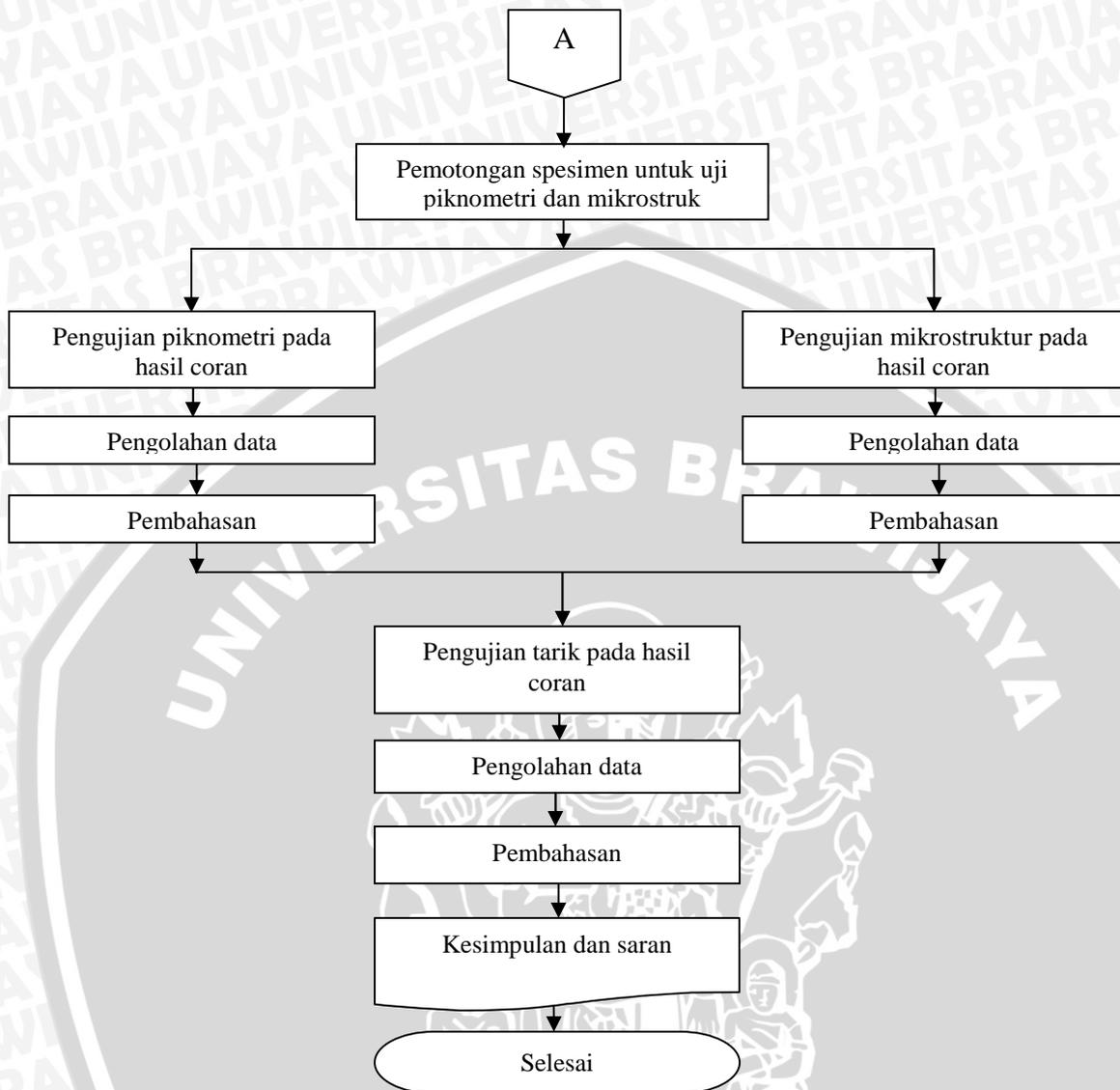
- a. Spesimen dipasang erat pada alat uji
 - b. Alat uji diatur pada keceoatan pengujian, pembebanan dan skala pertambahan panjang spesimen
 - c. Mesin dinyalakan dan dilakukan pengamatan dengan teliti terhadap beban, pertambahan panjang sampai spesimen putus
3. Pengolahan data hasil pengujian.
 4. Melakukan langkah a sampai c untuk spesimen dengan variasi suhu 100°C , 125°C , 150°C , 175°C , 200°C . Melakukan analisa dan pembahasan dari data – data yang diperoleh.
 5. Mengambil kesimpulan.
 6. Selesai.



Gambar 3.7 Spesimen pengujian tarik.
 Sumber: ASTM B 557M-81,1999.

3.5 Diagram Alir Penelitian





Gambar 3.8 Diagram alir penelitian.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian Porositas

4.1.1 Data Hasil Pengujian Porositas

Dari hasil pengujian yang dilakukan di Laboratorium Pengecoran Logam, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, didapatkan berat spesimen di udara, dan berat spesimen di air yang kemudian dilakukan perhitungan sesuai dengan rumus yang tertulis dalam ASTM. Pengujian dilakukan menggunakan 2 perbandingan, ketika spesimen belum dilakukan proses *aging treatment*, dan setelah spesimen dilakukan proses *aging treatment* untuk pengujian tarik. Dari data tersebut dibuat suatu diagram perbandingan prosentase porositas dari 6 variasi yaitu, spesimen tanpa perlakuan, 100°C, 125°C, 150°C, 175°C, 200°C. Sehingga didapatkan data perbandingan porositas masing – masing variasi. Data hasil penimbangan spesimen tersebut dapat dilihat pada tabel 4.1 berikut:

Tabel 4.1 Data Hasil Penimbangan Spesimen Porositas

| <i>Aging Treatment</i> | Pengulangan | W_s (gr) | W_b (gr) | W_{sb} (gr) |
|------------------------|-------------|------------|------------|---------------|
| Tanpa perlakuan | 1 | 26,98 | 2,61 | 19,48 |
| | 2 | 26,80 | 2,61 | 19,30 |
| | 3 | 26,10 | 2,61 | 18,88 |
| 100°C | 1 | 27,31 | 2,61 | 19,69 |
| | 2 | 27,08 | 2,61 | 19,55 |
| | 3 | 26,98 | 2,61 | 19,45 |
| 125°C | 1 | 26,45 | 2,61 | 19,16 |
| | 2 | 26,55 | 2,61 | 19,25 |
| | 3 | 26,45 | 2,61 | 19,15 |
| 150°C | 1 | 26,35 | 2,61 | 19,10 |
| | 2 | 26,30 | 2,61 | 19,10 |
| | 3 | 27,45 | 2,61 | 19,80 |
| 175°C | 1 | 26,10 | 2,61 | 18,98 |
| | 2 | 27,50 | 2,61 | 19,83 |
| | 3 | 27,36 | 2,61 | 19,75 |
| 200°C | 1 | 26,95 | 2,61 | 19,52 |
| | 2 | 26,96 | 2,61 | 19,52 |
| | 3 | 26,47 | 2,61 | 19,20 |

Dari data tersebut maka dapat di ketahui prosentase porositas tiap masing – masing spesimen menggunakan rumus (2-1) dibawah ini:

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

dengan:

$\%P$ = Prosentasi porositas (%)

ρ_s = *Apparent Density* (gr/cm³).

ρ_{th} = *True Density* (gr/cm³)

Untuk mencari nilai *true density* dapat menggunakan rumus (2-3) dan *apparent density* dapat menggunakan rumus (2-4) dibawah ini:

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

dengan :

ρ_{th} = *True Density* (gr/cm³).
 $\rho_{Ab}, \rho_{Si}, \rho_{Fe}, etc$ = *Densitas unsur* (gr/cm³).
 $\%Al, \%Si, etc$ = *Prosentase berat unsur* (%).

$$\rho_s = \rho_w \frac{W_s}{W_s - (W_{sb} - W_b)} \quad (2-3)$$

dengan:

ρ_s = *Apparent Density* (gr/cm³).
 ρ_w = *Densitas air* (gr/cm³).
 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)

Tabel 4.2 Data Prosentase Porositas Spesimen

| Pengulangan | % Porositas | | | | | |
|-------------|-----------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | Tanpa perlakuan | 100°C | 125°C | 150°C | 175°C | 200°C |
| 1 | 1.3243 | 0.9984 | 0.7646 | 0.654 | 0.5818 | 0.4193 |
| 2 | 1.4013 | 1.0189 | 0.7302 | 0.6446 | 0.5173 | 0.4417 |
| 3 | 1.3443 | 1.0191 | 0.7963 | 0.6446 | 0.5411 | 0.4725 |
| Rata-rata | 1.3566 | 1.0121 | 0.7637 | 0.6477 | 0.5467 | 0.4445 |

Contoh perhitungan menggunakan data suhu aging treatment 200°C pada spesimen 1:

$$\begin{aligned} \dots s &= \dots w \frac{W_s}{W_s - (W_{sb} - W_b)} \\ \dots s &= 1 \frac{26,95}{26,95 - (19,52 - 2,61)} \\ \dots s &= 2,6843 \end{aligned}$$

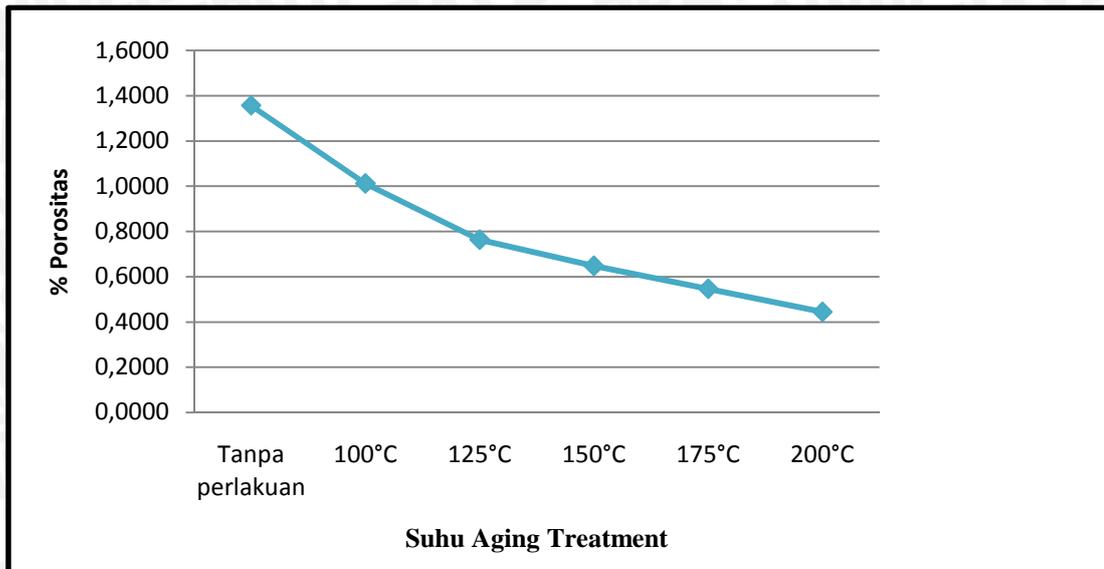
Maka diketahui prosentase porositasnya:

$$\begin{aligned} \% P &= \left(1 - \frac{\dots s}{\dots th} \right) \times 100 \% \\ \% P &= \left(1 - \frac{2,6843}{2,6939} \right) \times 100 \% \\ \% P &= 0,3571 \% \end{aligned}$$

4.1.2 Pembahasan Hasil Pengujian Porositas

Porositas dapat terjadi dikarenakan adanya rongga udara yang terjebak didalam logam coran. Porositas tersebut sifatnya mengurangi kekuatan dari bahan coran. Oleh sebab itu diperlukan adanya usaha untuk mengurangi jumlah porositas dari bahan coran, salah satunya adalah dengan melakukan metode *squeeze casting* dan *aging treatment*. Hal tersebut dimungkinkan karena pada proses *squeeze casting* diberikan tekanan kepada logam cair sehingga memaksa rongga udara tersebut untuk keluar melalui sela-sela cetakan dan penambahan *aging treatment* dapat menghomogenkan struktur butiran menjadi lebih rapat.

Hubungan antara 5 variasi *aging treatment* dengan rata rata prosentase porositas hasil coran (Al-Mg-Si) dengan metode *squeeze casting* dapat dilihat pada gambar 4.1 dibawah ini:



Gambar 4.1 Grafik Pengaruh *Aging Treatment* pada *Squeeze Casting* dengan rata-rata Prosentase Porositas Coran Al-Mg-Si

Pada gambar 4.1 ditunjukkan bahwa semakin tinggi suhu *aging treatment* yang diberikan maka prosentase porositas dari masing – masing spesimen semakin kecil. Inti dari *aging treatment* adalah untuk menata kembali atom yang diam akibat proses pendinginan cepat dengan air. Kemudian dipanaskan kembali untuk mendapatkan partikel halus dan menyebar yang dapat menghomogenkan distribusi kekerasan yang merata pada saat *aging treatment* yang dilakukan. Dengan penambahan suhu *aging treatment* yang tinggi, maka semakin cepat atom tersebut untuk bergerak dan menata kembali ke tempat semula sehingga akan lebih cepat membentuk struktur butiran yang lebih padat. Sehingga udara yang terperangkap dalam coran dimungkinkan akan lebih sedikit dan menyebabkan porositas semakin turun. Sehingga prosentase dari porositas coran akan semakin kecil seiring dengan penambahan proses *aging treatment*.

4.2 Pengujian Kekuatan Tarik

4.2.1 Data Hasil Pengujian Kekuatan Tarik

Data hasil pengujian tarik didapatkan dari pengujian yang menggunakan alat uji tarik. Dari pengujian tersebut didapatkan nilai beban dan pertambahan panjang pada spesimen yang kemudian diolah sehingga didapatkan nilai dari kekuatan tarik spesimen tersebut. Dari data hasil pengujian tarik dibuat diagram hubungan antara suhu *aging*

treatment dan nilai kekuatan tarik dengan variasi suhu *aging treatment* 100°C, 125°C, 150°C, 175°C, 200°C.

Dari hasil pengujian tarik didapatkan beban tarik maksimal, data tersebut dapat dilihat pada tabel 4.7 dibawah ini:

Tabel 4.3 Data Beban Tarik Maksimum (N)

| Pengulangan | Aging treatment | | | | | |
|-------------|-----------------|---------|---------|---------|---------|-------|
| | Tanpa perlakuan | 100°C | 125°C | 150°C | 175°C | 200°C |
| 1 | 3000 | 3600 | 4000 | 5000 | 5800 | 6000 |
| 2 | 2800 | 3300 | 4200 | 5200 | 5700 | 6200 |
| 3 | 2900 | 3400 | 4000 | 4900 | 5800 | 6100 |
| Rata-rata | 2900 | 3433.33 | 4066.67 | 5033.33 | 5766.67 | 6100 |

Nilai kekuatan tarik dari spesimen tersebut didapatkan dari hasil bagi antara beban maksimum dengan luas penampang awal spesimen, sesuai dengan rumus (2-6) dibawah ini:

$$b = P/A$$

dengan:

$$b = \text{Tegangan tarik (N/mm}^2 \text{)}$$

$$P = \text{Beban tarik (N)}$$

$$A = \text{Luas penampang (mm}^2 \text{)}$$

Tabel 4.4 Data Kekuatan Tarik (N/mm²)

| Pengulangan | Kekuatan Tarik (N/mm ²) | | | | | |
|-------------|-------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | Tanpa perlakuan | 100°C | 125°C | 150°C | 175°C | 200°C |
| 1 | 102.74 | 123.29 | 136.99 | 171.23 | 198.63 | 205.48 |
| 2 | 95.89 | 113.01 | 143.84 | 178.08 | 195.21 | 212.33 |
| 3 | 99.32 | 116.44 | 136.99 | 167.81 | 198.63 | 208.90 |
| Rata-rata | 99.32 | 117.58 | 139.27 | 172.37 | 197.49 | 208.90 |

Contoh perhitungan menggunakan data suhu *aging treatment* 200°C pada spesimen ke 3:

$$b = P/A$$

$$b = 6100/29.2$$

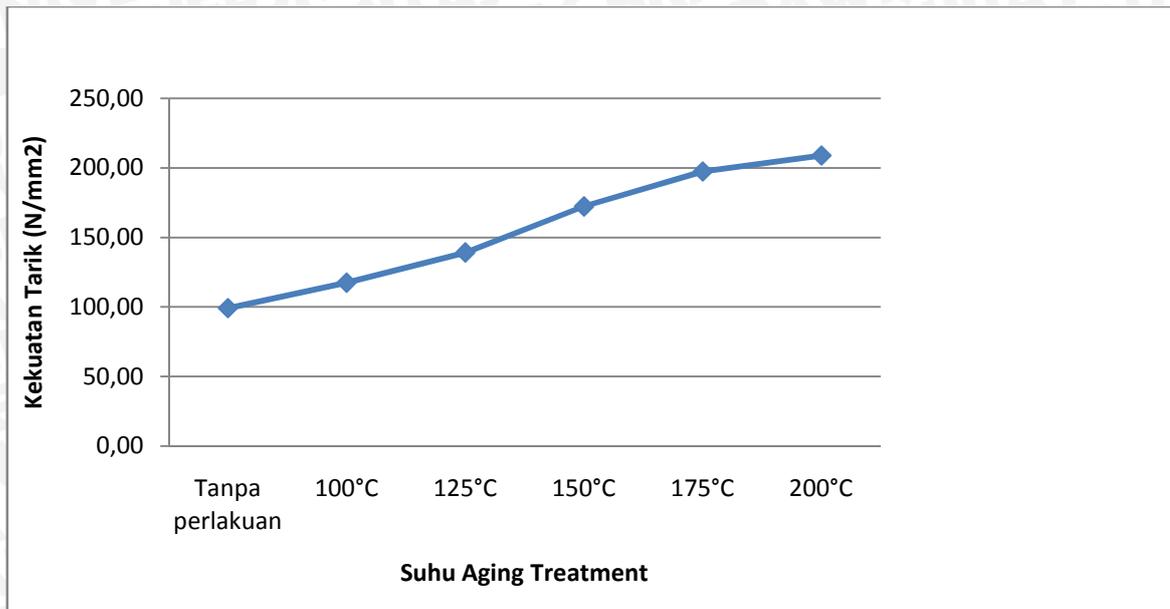
$$b = 208.90 \text{ (N/mm}^2 \text{)}$$

4.2.2 Pembahasan Hasil Pengujian Kekuatan Tarik

Prinsip utama dari proses pengecoran logam dengan metode *squeeze casting* adalah pengecoran dimana logam cair dituangkan kedalam cetakan dengan penambahan tekanan dongkrak hidolis. Proses ini mengombinasikan beberapa keuntungan yang terdapat pada proses *forging* dan *casting*. Setelah proses pengecoran kemudian dilakukan penambahan proses *aging treatment*. Tujuan utamanya untuk meratakan struktur butir pada spesimen sehingga dapat mengurangi porositas yang terjadi dan meningkatkan nilai kekerasannya.

Setiap produk coran pada penggunaannya akan mengalami beban dinamis atau beban yang bertambah seiring waktu, sehingga akan terjadi penambahan panjang pada penampang melintang benda tersebut. Dengan menggunakan pengujian tarik maka akan diketahui sifat mekanis dari benda tersebut yang berupa kekuatan tarik. Kekuatan tarik sangat dipengaruhi oleh besar kecilnya ukuran butir serta banyak sedikitnya porositas yang terjadi. Semakin kecil dan seragam ukuran butir tersebut, maka kekuatan tariknya akan semakin besar. Semakin banyak porositas yang terbentuk maka kekuatan tarik spesimen tersebut akan semakin rendah.

Penekanan logam cair dan penambahan proses *aging treatment* difungsikan untuk mengurangi cacat porositas dari spesimen tersebut. Karena dengan adanya penekanan tersebut, udara yang ada didalam spesimen dipaksa untuk keluar. Dan *aging treatment* dapat menghomogenkan struktur butiran menjadi lebih kecil dan rapat. Sehingga mengurangi kadar porositas spesimen tersebut. Hubungan antara besar penekanan dengan rata rata kekuatan tarik coran silinder Al- Mg-Si dapat dilihat pada gambar 4.2 dibawah ini:



Gambar 4.2 Grafik Nilai kekuatan tarik pada Variasi *Aging Treatment* Spesimen Hasil *Squeeze Casting*

Pada gambar 4.2 ditunjukkan bahwa semakin tinggi suhu *aging treatment* yang diberikan maka prosentase porositas dari masing – masing spesimen semakin kecil. Hal tersebut dikarenakan semakin tinggi suhu *aging treatment* maka pembentukan penyebaran partikel-partikel dari fasa kedua kedalam matrik fasa yang asli/pertama sehingga partikel-partikel kecil dari fasa yang baru membentuk precipitasi atau endapan atau menggumpal. Kemudian dipanaskan kembali untuk mendapatkan partikel halus dan menyebar yang dapat menghomogenkan distribusi kekerasan yang merata pada saat *aging treatment* yang dilakukan. Dengan penambahan proses tersebut dapat meningkatkan sifat bahan menjadi lebih kuat yang ditunjukkan diagram tegangan regangan tiap spesimen (lampiran 5) yang kebanyakan bersifat kuat dan getas. Yang dapat dilihat pada foto makro patahan (lampiran 2) dimana semakin tinggi suhu aging maka semakin padat permukaan patahannya. Sehingga kekuatannya semakin bertambah seiring dengan penambahan proses *aging treatment*.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan oleh penulis, didapatkan kesimpulan bahwa penambahan proses aging treatment pada proses *squeeze casting* memberikan pengaruh terhadap prosentase porositas dan kekuatan tarik coran silinder Al-Mg-Si.

1. Penambahan suhu *Aging treatment* dapat mempengaruhi prosentase porositas, semakain tinggi suhu maka prosentase porositas akan menurun.
2. *Aging treatment* dapat mempengaruhi nilai kekuatan tarik spesimen hasil *squeeze casting* dimana semakin besar suhu *aging treatment* maka semakin besar nilai kekuatan tariknya.

5.2 Saran

Dari penelitian yang telah dilakukan oleh penulis, banyak hal yang harus diperhatikan untuk memperlancar penelitian penelitian selanjutnya, antara lain:

1. Variasi bahan coran akan memberikan banyak pengaruh besar dalam hasil penelitian dan dapat membandingkannya.
2. Penambahan ragam pengujian lain akan semakin memperkuat data yang telah dimiliki, seperti contoh pengujian distribusi kekerasan.
3. Meningkatkan ketelitian dalam pengukuran sehingga menghasilkan data yang lebih akurat

DAFTAR PUSTAKA

- Adam J.H. 1998. *ASM Handbook vol.15casting*. Detroit: ASM Internasional
- ASTM B557M. 1999. *Standard Test Methods of Tension Testing Wrought and Cast Aluminum and Magnesium Alloy Products*, ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.
- 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 Internasional
- Budinski, K. 1996. *Engineering Materials: Properties and Selection*.
- Darmawan, Sidiq. 2012. *Soal soal baja dan paduan*. (<http://blog.ub.ac.id/sidiqdarmawan/author/sidiqdarmawan/page/2/> /) diakses 9 Oktober 2013.
- De Garmo, E. P. 1990. *Materials and Processes In Manufacturing*. John Wiley and Sons, Inc.
- Djaprie, Sriati. 1991. *Ilmu dan Teknologi Bahan*. Jakarta : Penerbit Erlangga.
- Duskriadi dan Tjitro, S.2002, *Pengaruh Tekanan dan Temperatur Die Proses Squeeze Casting terhadap Kekerasan dan Sturuktur Mikro pada Material Piston Komersil Lokal*, Jurnal Teknik Mesin, Universitas Kristen Petra, Vol. 4, pp. 1-5.
- El-khair, Abou. 2004 . *Microstrure caharacterization and tensile properties of squeeze-cast AlSiMg alloys*. Cairo, Egypt: Sciencedirect .
- Fitria, Dian.2013. *Pengaruh Tekanan Plunger pada Squeeze Casting Terhadap Porositas dan Kekuatan Tarik Produk Coran Silinder Al-Mg-Si*. Malang: Jurnal Teknik Mesin Universitas Brawijaya
- Heine, R. W. 1990. *Principles of Metal Casting*. New Delhi: Tata McGraw -Hill,
- Kalpakjian, S. 1990. *Manufacturing Engineering and Technology*. Massachusetts: Adison-Wesley Publish Company.
- Surdia, Tata dan Saito, Shinroku. 1999. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Surdia, Tata & Chijiiwa, Kenji. 1976. *Teknik Pengecoran Logam*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Surdia, Tata & Chijiiwa, Kenji. 1996. *Teknik Pengecoran Logam*. Jakarta: Pradnya Paramita.

- Taylor, Sum, McClain, dan Berry.2000. *Uncertainty Analysis of Metal Casting Porosity Measurements Using Archimedes Principle International Journal of Cast Metals Research Vol 11*. America: Prentice-Hall International, Inc.
- Tjitro, Soejono dan Firdaus .2000. *Pengecoran Squeeze*. Surabaya: Jurnal Teknik Mesin Vol.3 UK Petra hal. 109-113.
- Vai,2009,*aluminiumcasting*, <http://Aluminium casting.wordpress.com>, 20 September 2013
- Verhoeven.1975. *Fundamental of Physically Metallurgy*.
- Voort G.F.V dkk.1999. *ASM Handbook vol.8 Mechanical Testing and Evaluation*. Buehler : ASM Internasional
- Yuwono, Akhmad H. 2009. *Buku Panduan Pengujian Merusak (Destructive Testing)*; Universitas Indonesia, Jakarta.



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 Patahan Spesimen Hasil Pengujian Tarik

Tanpa perlakuan



Aging Treatment 100°C



Aging Treatment 125°C



Aging Treatment 150°C



Aging Treatment 175°C



Aging Treatment 200°C



Lampiran 3 Sertifikat Bahan dan Komposisi Al-Mg-Si 6061

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

KUM-04

INSPECTION CERTIFICATE No 11.9585

EN 10204 - 3.1



| Consigner: | | Quantity: 29 | | | | | | | | |
|--|-----------------|--|-----------------|-------------------------------|--------------|---------------------------------|-----------|----------------|-------------|--------------|
| Consignee: | | Net Weight, kg.: 1422 | | | | | | | | |
| Contract number: V1263-S PO-KL M-01/170111 part 1 | | Specification No: V1263 Lot No: 1 Package No: 718210 | | | | | | | | |
| Article number: | | Requirements on the Product: | | | | | | | | |
| Description of Goods: Sheet: Grade of Product: | | Material conforms to quality of alloy: 6061 T651 | | | | | | | | |
| Dimensions, inch/mm: 6.000X1219.2X2438.4 | | Product conforms to all requirements of ASTM B209-07 This product conforms to European Union RoHS Directive 2002/95/EC | | | | | | | | |
| Mechanical Properties | | | | | | | | | | |
| The Condition of Tested Standards | Lot Number | Cert. Number | Number of Tests | Tensile Strength | | Yield Strength (0.2% offset) | | Elongation, % | | Hardness HB |
| | | | | min | max | min | max | 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 | 0.16-0.40 | 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 | Pb | Tin Sn | Bismuth Bi | Platinum Pt | Mn+Cr | Cu | Other Elements | | Al |
| | | | | | | | | Each | Total | |
| Required | - | - | - | - | - | - | - | 0.06 | 0.15 | remainder |
| Contents | - | - | - | - | - | - | - | 0.06 | 0.15 | remainder |
| Other Tests | | | | | | | | | | |
| Method | Macro-structure | Micro-structure | UT | Electro-conductivity | SCF | Contents H2 of metals cm3/100gr | | | | |
| Result | - | - | - | - | - | - | | | | |



Lampiran 4 Foto Kegiatan Pengecoran dan Uji Tarik

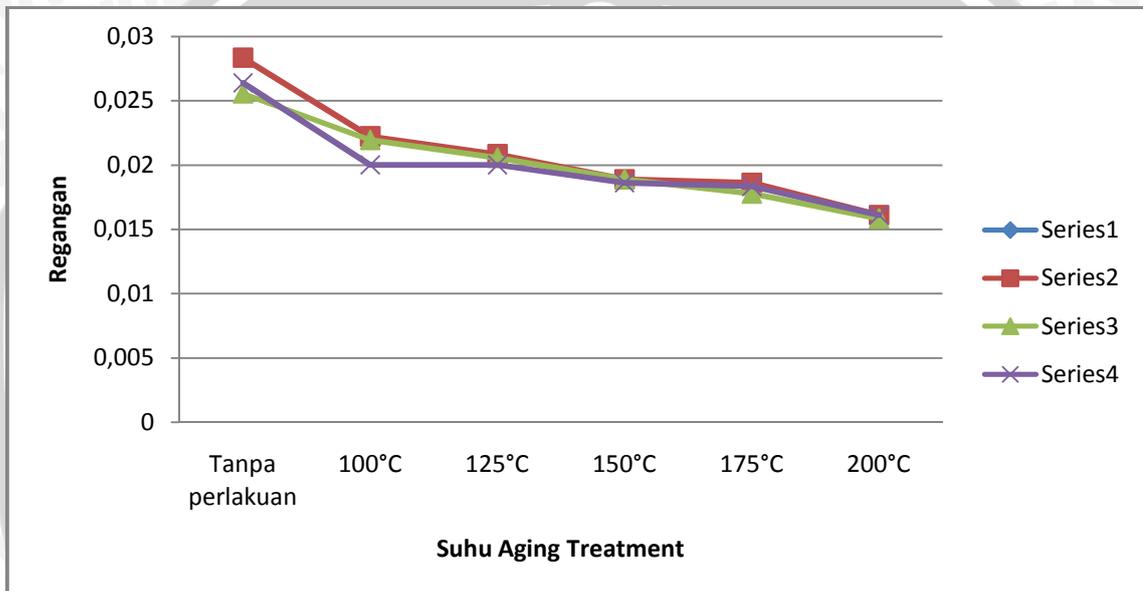


Lampiran 5 Data Regangan Spesimen Uji Tarik

Tabel Data Regangan Spesimen Uji Tarik

| Pengulangan | Regangan | | | | | |
|-------------|-----------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | Tanpa perlakuan | 100°C | 125°C | 150°C | 175°C | 200°C |
| 1 | 0,0283 | 0,0222 | 0,0208 | 0,0189 | 0,0186 | 0,0161 |
| 2 | 0,0256 | 0,0219 | 0,0206 | 0,0189 | 0,0178 | 0,0158 |
| 3 | 0,0264 | 0,0200 | 0,0200 | 0,0186 | 0,0183 | 0,0161 |
| Rata-rata | 0,0268 | 0,0214 | 0,0205 | 0,0188 | 0,0182 | 0,0160 |

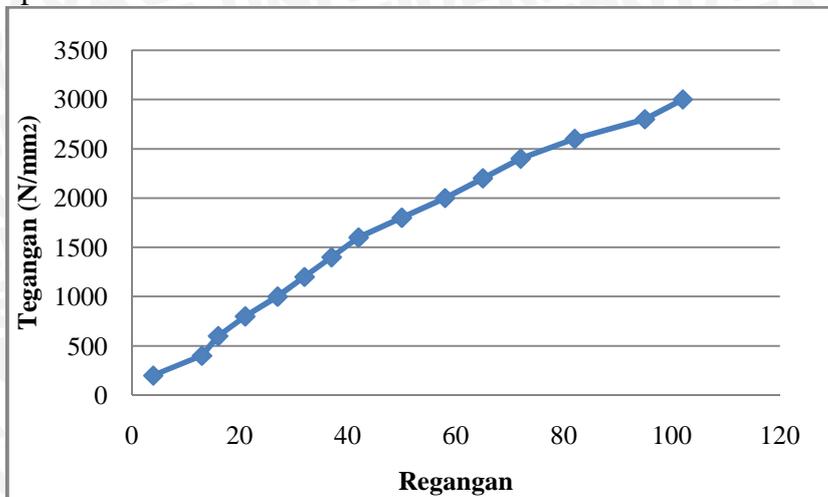
Gambar Grafik Regangan Spesimen Uji Tarik



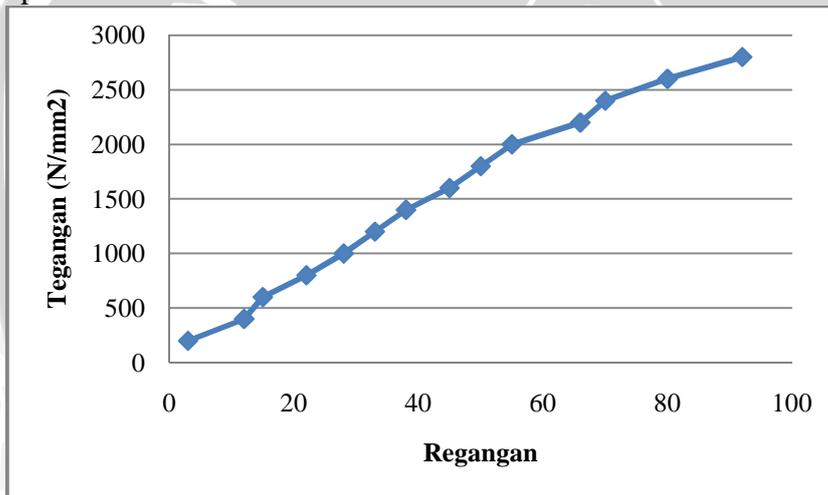
Lampiran 6 Gambar Grafik Tegangan Regangan Tiap Spesimen

Spesimen Tanpa perlakuan

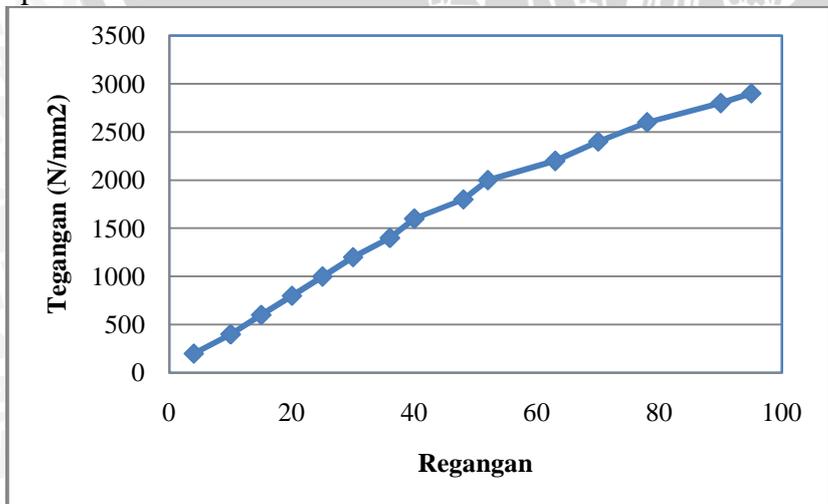
Spesimen 1



Spesimen 2

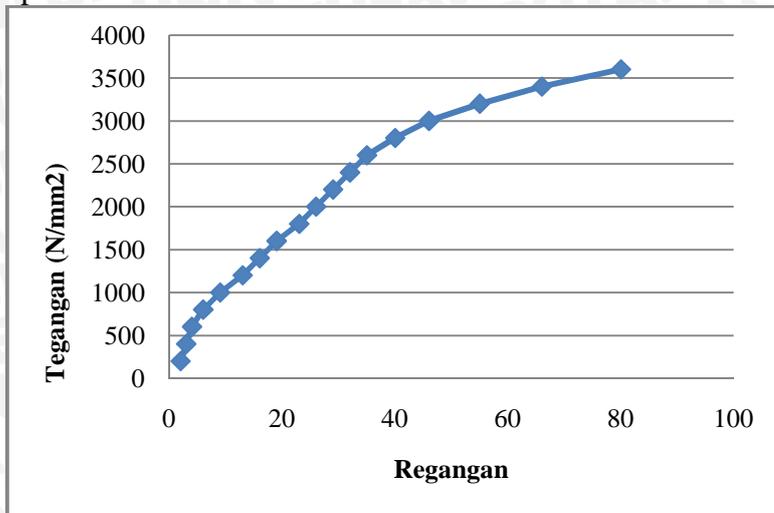


Spesimen 3

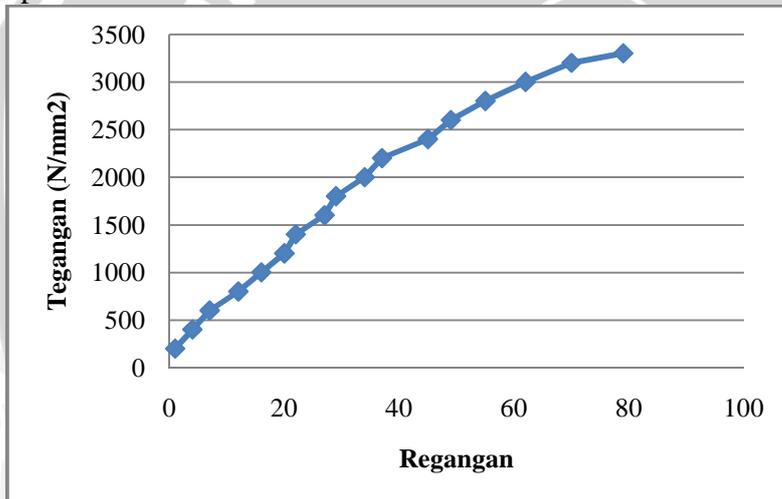


Variasi 100°C

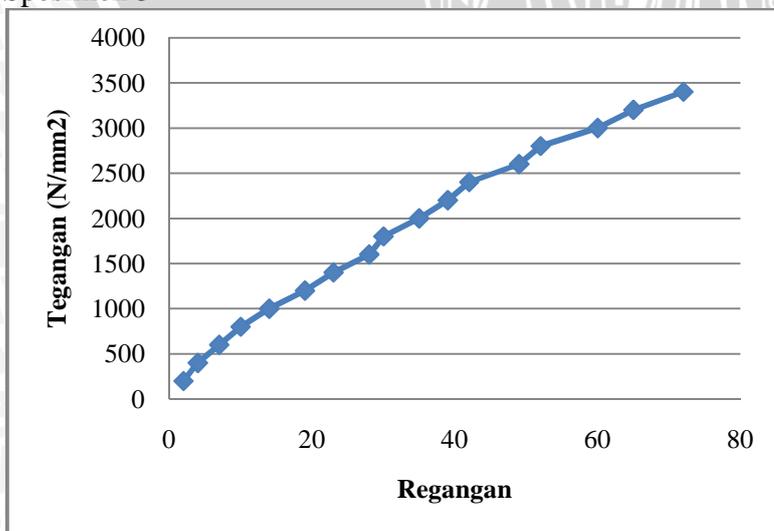
Spesimen 1



Spesimen 2

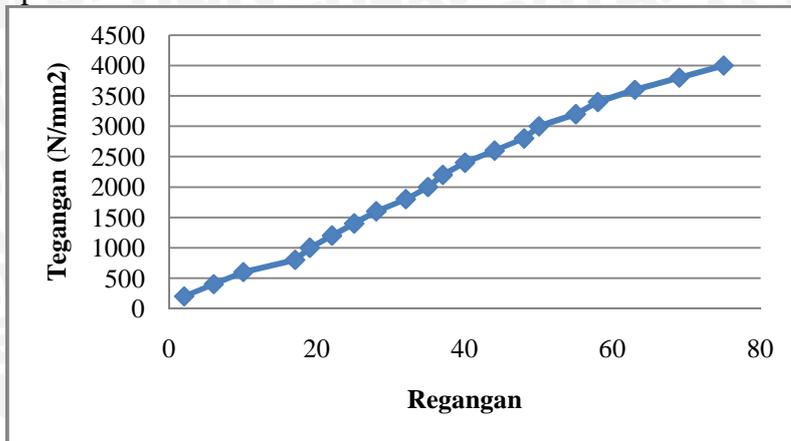


Spesimen 3

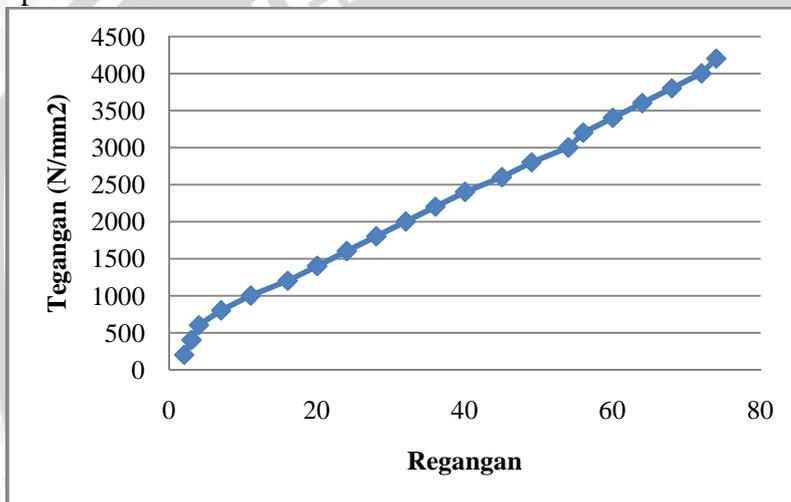


Variasi 125°C

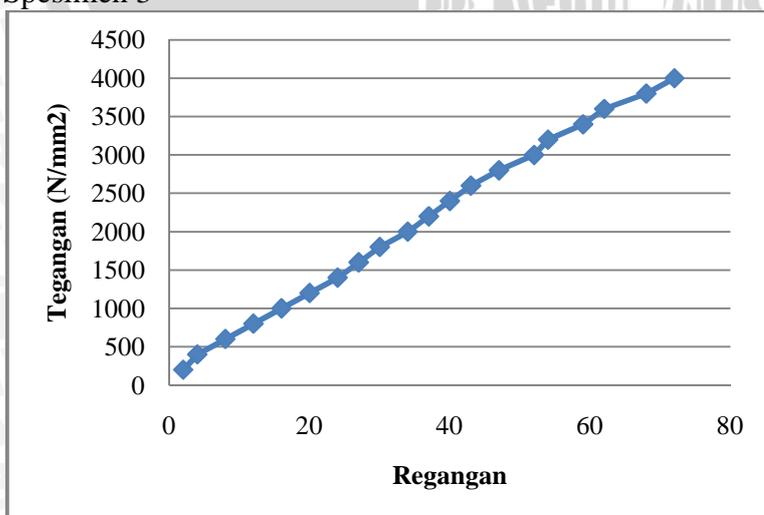
Spesimen 1



Spesimen 2

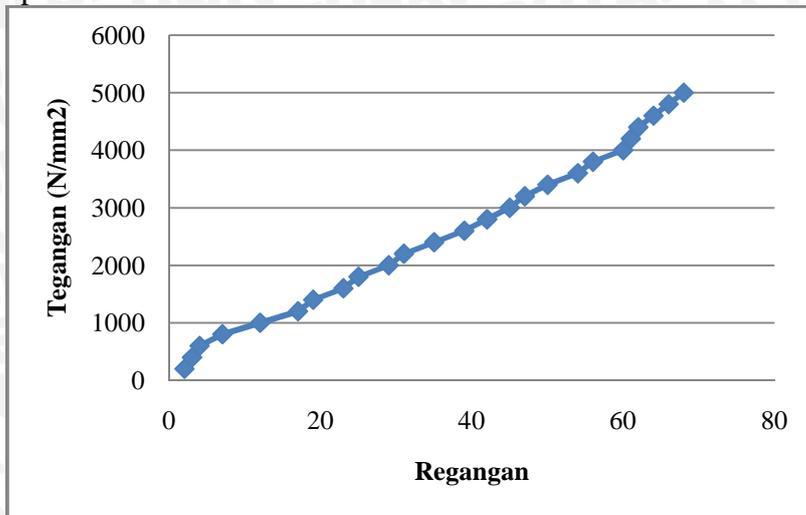


Spesimen 3

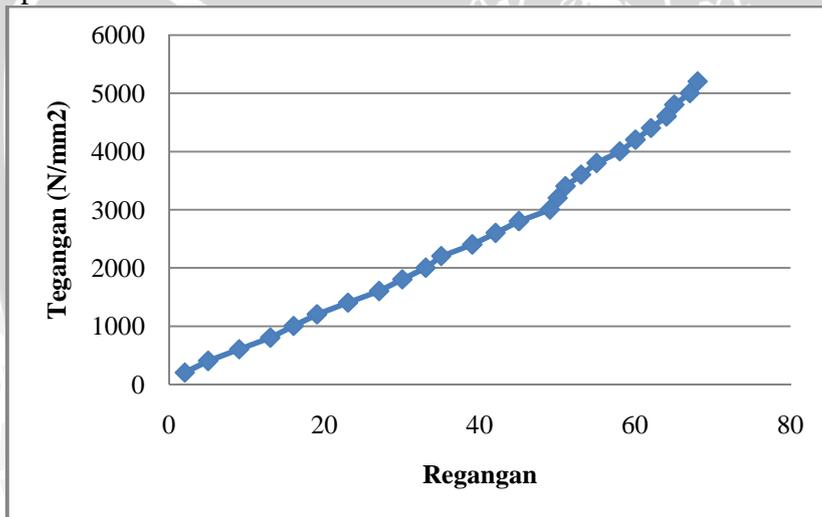


Variasi 150°C

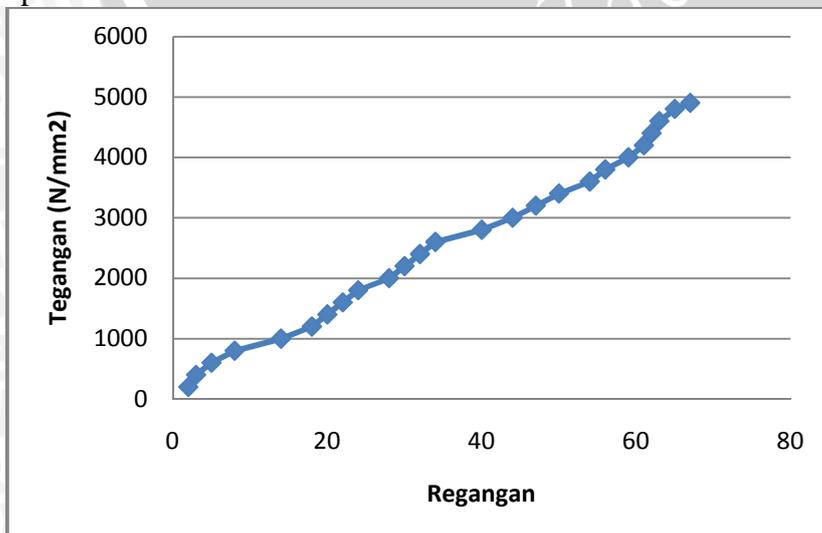
Spesimen 1



Spesimen 2

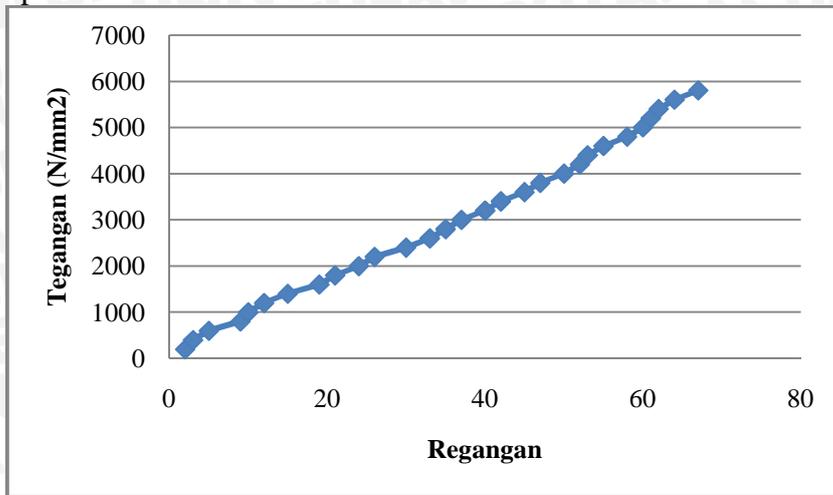


Spesimen 3

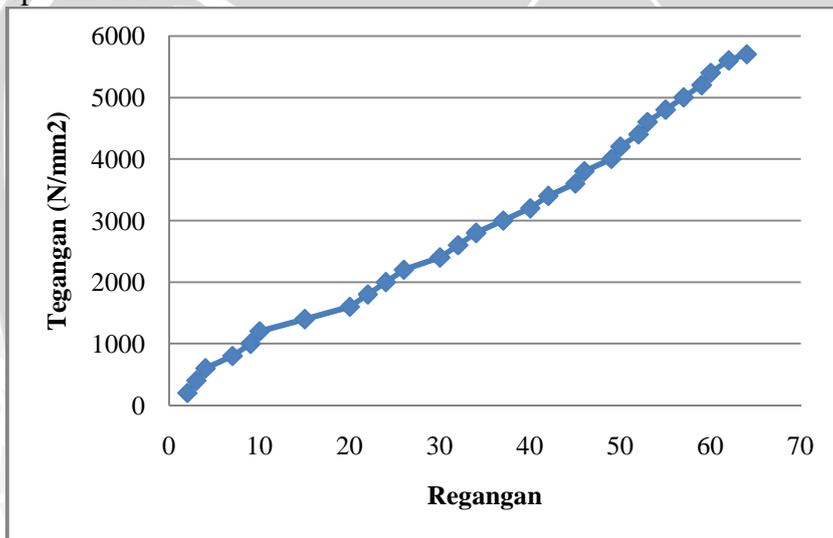


Variasi 175°C

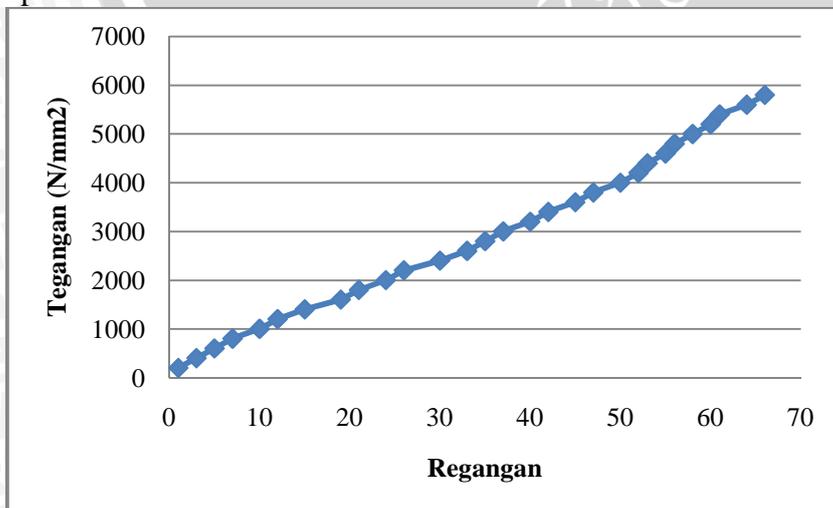
Spesimen 1



Spesimen 2

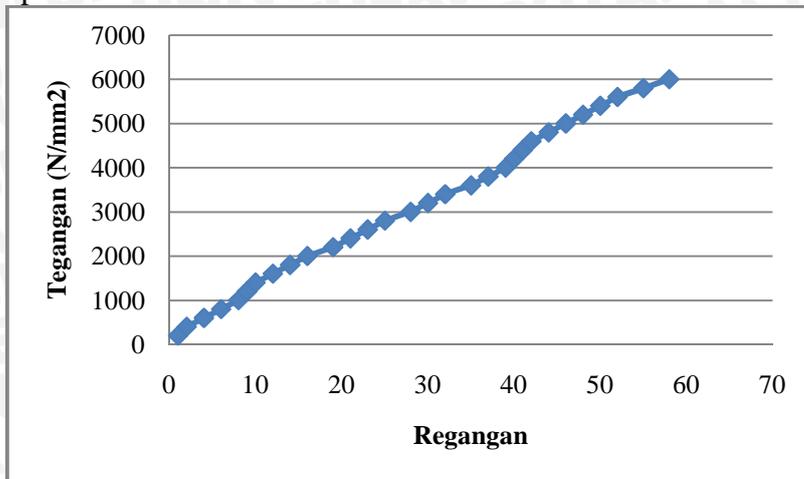


Spesimen 3

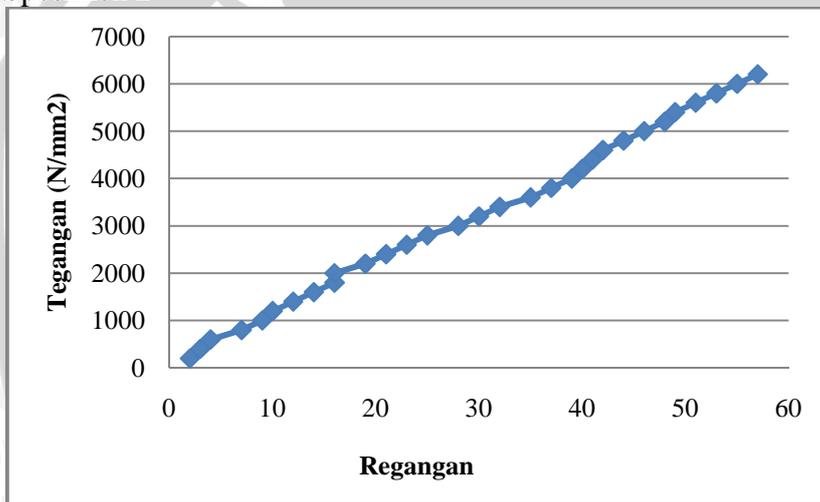


Variasi 200°C

Spesimen 1



Spesimen 2



Spesimen 3

