

**PENGARUH AGING TREATMENT TERHADAP POROSITAS DAN
KEKUATAN PUNTIR PRODUK SILINDER Al-Mg-Si PADASQUEEZE
CASTING**

**SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh :

**ANDITYA ADI PRASETYO
NIM. 0910623030-62**

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

LEMBAR PERSETUJUAN

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

SKRIPSI

KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
Memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh :

ANDITYA ADI PRASETYO

NIM. 0910623030-62

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Dr. Eng. Yudy Surya I., ST., M. Eng.

NIP. 19750710 199903 1 004

Ir. Tjuk Oerbandono, M.Sc., CSE.

NIP. 19740930 200012 1 001

LEMBAR PENGESAHAN

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

SKRIPSI KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
Memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh :

ANDITYA ADI PRASETYO
NIM. 0910623030-62

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

DOSEN PENGUJI

Penguji Skripsi I

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

Penguji Skripsi II

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

Penguji Skripsi III

Khairul Anam, ST., M.Sc
NIK. 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 **“Pengaruh *Aging Treatment* Terhadap Porositas dan Kekuatan Puntir Produk Silinder Al-Mg-Si Pada *Squeeze Casting*”**.

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

1. Ayah (Masruchan), Ibu (Rusianah), kakak (Nunik Wahyu W.) dan kakak (Haris Setyo Hadi Pramono) serta yang terkasih (Ika Retno Putri).
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 Aerokreasi Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
8. Teman seperjuangan dalam penelitian ini Petter, Hilmi dan Arfian, terima kasih untuk kebersamaanya selama ini.
9. Rekan-rekan senasib seperjuangan M'09(Black Mamba) yang selama ini memberikan semangat dan motivasi dan cambukan agar cepat lulus.

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
LEMBAR PERSETUJUAN.....	iii
LEMBAR PENGESAHAN	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR.....	viii
RINGKASAN	ix
BAB I PENDAHULUAN	
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	
2.1 Penelitian Sebelumnya	4
2.2 Pengecoran Logam	4
2.2.1 Pengertian 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 Pengecoran <i>Squeeze</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 Aluminium	14
2.5.1 Pengolahan Aluminium.....	14
2.5.2 Sifat-sifat Aluminium.....	14
2.5.3 Pengaruh Unsur-unsur Paduan	15
2.5.4 Aluminium Paduan	16
2.6 Densitas	17
2.6.1 Macam-macam Densitas	17

2.6.2 Pengukuran Densitas Menggunakan Metode Piknometri	18
2.7 Pengujian Porositas	19
2.7.1 Porositas Pada Pengecoran Logam	19
2.7.2 Perhitungan Porositas	20
2.8 Aging Treatment	20
2.8.1 Natural Aging	21
2.8.2 Artificial Aging	21
2.9 Pengujian Puntir	23
2.10 Porositas	27
2.11 Hipotesa	27
BAB III PENELITIAN	
3.1 Tempat Penelitian	28
3.2 Variabel Penelitian	28
3.3 Alat dan Bahan Penelitian	29
3.4 Prosedur Penelitian	29
3.4.1 Prosedur Pengecoran	29
3.4.2 Cara Kerja Alat <i>Squeeze Casting</i>	31
3.4.3 Aging Treatment	31
3.4.3 Prosedur Pengujian Porositas	32
3.4.4 Prosedur Pengujian Kekuatan Puntir	33
3.5 Diagram Alir Penelitian	34
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Pengujian Porositas	36
4.1.1 Data Hasil Pengujian Porositas	36
4.1.2 Data Hasil Pengujian Kekuatan Puntir	39
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan	42
5.2 Saran	42
DAFTAR PUSTAKA	43
LAMPIRAN	45

DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
2.1	Koefisien Kekentalan dan Tegangan Permukaan dari Logam	11
2.2	Sifat-sifat Fisik Alumunium	14
4.1	Data Hasil Pengujian Porositas	36
4.2	Data Beban Ultimate saat Pengujian	38
4.3	Data Momen Puntir Maksimum Hasil Pengujian Puntir	39
4.4	Data Hasil Pengujian Kekuatan Puntir	40



DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
2.1	Mekanisme <i>Direct Squeeze Casting</i>	8
2.2	Mekanisme <i>Indirect Squeeze Casting</i>	8
2.3	Berbagai Jenis <i>Part Ferrous</i> dan <i>NonFerrous</i> yang Dibuat dengan Menggunakan Pengecoran <i>Squeeze</i>	10
2.4	Ilustrasi Skematis dari Pembekuan Logam	12
2.5	Struktur <i>Chill</i> , <i>Columnar</i> , dan <i>Equiaxed Zone</i>	14
2.6	Skematik Piknometri	19
2.7	Grafik Hubungan Lama Waktu dengan Kekuatan Tarik pada Paduan Al-6061	22
2.8	Grafik Hubungan Lama Waktu dengan Kekuatan Luluh pada Paduan Al-6061	22
2.9	Grafik Hubungan Lama Waktu dengan Perpanjangan pada Paduan Al-6061	23
2.10	Pengujian Puntir pada Benda Uji Silinder Pejal	24
2.11	Diagram Momen Puntir dan Sudut Puntir	25
2.12	Keadaan Tegangan pada Benda Uji Silinder Pejal yang Mengalami Momen Puntir	26
2.13	Jenis Kegagalan Material dalam Pembebanan Puntir	26
3.1	Cetakan (satuan mm)	30
3.2	Instalasi <i>Squeeze Casting</i>	30
3.3	Heat Treatment	32
3.4	Spesimen Uji Piknometri	32
3.5	Spesimen Pengujian Puntir	33
3.6	Diagram Alir Penelitian Bagian 1	34
3.7	Diagram Alir Penelitian Bagian 2	35
4.1	Grafik Hubungan Suhu Aging dengan Porositas	37
4.2	Grafik Hubungan Suhu Agung dengan Momen Puntir	40
4.3	Grafik Hubungan Suhu Aging dengan Kekuatan Puntir	41

RINGKASAN

Anditya Adi Prsetyo, 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 penelitian skripsi ini mengangkat permasalahan mengenai pengaruh *aging treatment* terhadap porositas dan kekuatan puntir produk silinder Al-Mg-Si dengan menggunakan metode pengecoran DSC (*Direct Squeeze Casting*). Adapun tujuannya yaitu untuk mengetahui pengaruh efek *aging treatment* terhadap porositas dan kekuatan puntir produk silinder Al-Mg-Si pada *squeeze casting*. Metode penelitian yang dilakukan pertama yaitu membuat diagram alir penelitian untuk memudahkan proses melakukan penelitian, menentukan tempat penelitian, variable yang digunakan, menyiapkan alat dan bahan.

Untuk tahapan yang kedua yaitu prosedur penelitian yang meliputi melakukan prosedur pengecoran, bekerja dengan alat *squeeze casting*, melanjutkan langkah *aging treatment*, melakukan prosedur pengujian porositas, dan melakukan pengujian kekuatan puntir. Pada penelitian ini variasi *aging treatment* yang digunakan adalah 100°C, 125°C, 150°C, 175°C, 200°C dengan masing-masing waktu 8 jam.

Setelah dilakukan penelitian maka akan diperoleh penurunan porositas dan terjadi peningkatan pada kekuatan puntir. 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 porositas terkecil terjadi pada variasi suhu 200°C sebesar 0,8150% dan nilai puntir yang terbesar pada variasi suhu 200°C sebesar 190,2Mpa

Kata Kunci : *squeeze casting*, cacat porositas, kekuatan puntir, mikrostruktur.

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam era globalisasi perekonomian dunia, yang mana kemajuan teknologi dituntut untuk dapat memenuhi permintaan terhadap modernisasi dalam segala bidang. Khususnya dalam bidang industri yang berdampak pada semakin banyak ditemukannya barang-barang industri yang memiliki kualitas unggulan seperti barang-barang industri yang ringan tetapi juga memiliki sifat kuat, tahan korosi dan mampu menahan beban yang besar. Perkembangan perekonomian negara yang berkelanjutan ini dapat mempromosikan industri pengecoran logam sebagai salah satu pusat pengembangan teknologi dengan menghasilkan barang-barang tersebut. Hal ini sangat membantu secara bertahap dalam berkembangnya negara yaitu negara-negara berkembang seperti Indonesia.

Sebelum dikenal berbagai macam metode pengecoran, pengecoran awalnya dilakukan secara sederhana yaitu dengan menuangkan logam yang masih dalam keadaan cair ke dalam cetakan dan didinginkan sampai mencapai suhu ruang. Hasil coran yang dihasilkan dengan metode pengecoran yang sederhana tersebut sangat kurang memuaskan hasilnya, diantaranya adalah banyak cacat yang terbentuk dan kekuatan coran sangat rendah. Seiring berkembangnya teknologi dan pemikiran manusia, mulailah berkembang metode pengecoran guna mendapatkan hasil yang sempurna salah satunya adalah metode *squeeze casting*.

Sekarang ini sudah banyak sekali dikenal macam-macam metode pengecoran logam, salah satu metode pengecoran logam adalah *SqueezeCasting*. Berdasarkan mekanisme pengisian logam cair kedalam cetakan pengecoran *squeeze* diklasifikasikan menjadi 2, yaitu:

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

Dan metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode DSC (*Direct Squeeze Casting*). Dalam hasil *Squeeze Casting* juga masih terdapat cacat tetapi cacat tersebut sudah berkurang. Semakin maju perkembangan ilmu teknologo pengecoran maka ditemukan metode *aging treatment* dimana hasil coran logam tersebut dipanaskan sampai suhu tertentu guna mendapatkan hasil coran yang minim cacat.

Seiring dengan berkembangnya teknologi pengolahan bahan, sekarang ini aluminium banyak digunakan sebagai bahan baku dalam bidang industri. Bilamana parameter yang dijadikan acuan adalah produk harus ringan, penghantar panas yang baik dan juga bertitik cair rendah maka aluminium seringkali dapat menggantikan logam lain dengan fungsi yang sama. Selain itu aluminium juga dapat dipadukan dengan beberapa unsur yang dapat meningkatkan sifat mekaniknya. Salah satunya adalah Al-Mg-Si, paduan ini memiliki beberapa keunggulan dalam sifat mekaniknya seperti: kekuatan mekanik, keuletan, konduktivitas panas logam ini cukup memadai untuk kondisi perubahan tegangan,. Selain itu, daya tahan korosi terhadap uap air cukup tinggi. Oleh karena itu paduan Al-Mg-Si yang akan digunakan dalam penelitian ini. (Surdia Tata, 1986:136). Namun material ini memiliki beberapa kekurangan pada sifat mekaniknya, diantaranya adalah kekuatan. Kekuatan bahan Aluminium murni sangatlah kecil. Oleh karena itu perlu adanya *heat treatment* yang bertujuan untuk memperbaiki sifat mekaniknya, *heat treatment* dalam hal ini adalah *aging treatment*. *Aging treatment* adalah proses yang dilakukan dalam waktu dan suhu tertentu (ASM Internasional 1915).

Dari penjelasan di atas maka dalam penelitian ini akan dicari kekuatan puntir dan porositas silinder komposit Al, Mg, Si.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, pokok permasalahan dalam skripsi ini adalah: “Bagaimana pengaruh efek *aging treatment* terhadap porositas dan kekuatan punter produk silinder Al-Mg-Si pada *squeeze casting*?”.

1.3 Batasan Masalah

1. Pembahasan diutamakan pada porositas dan kekuatan puntir

2. Bahan yang akan digunakan adalah paduan A6061 yang mempunyai sifat homogen
3. mengabaikan suhu udara luar saat penuangan
4. Waktu *aging treatment* 8 jam

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh efek *aging treatment* terhadap porositas dan kekuatan punter produk silinder Al-Mg-Si pada *squeeze casting*.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat sebagai berikut :

1. Mampu menerapkan teori-teori yang didapatkan selama perkuliahan terutama berkenaan dengan teknologi pengecoran logam.
2. Penelitian ini akan menambah pengetahuan tentang pengaruh variasi suhu *aging treatment squeeze casting*.
3. Penelitian ini dapat memberikan masukan yang bermanfaat khususnya dalam bidang industri pengecoran.
4. Dapat digunakan sebagai referensi untuk pengembangan penelitian lebih lanjut terutama mengenai teknologi pengecoran berbahan paduan Al-Mg-Si.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Pengecoran logam *squeeze casting* adalah suatu proses pembentukan logam dimana logam tersebut dipanaskan sampai mencair kemudian dituangkan dalam cetakan yang sesuai keinginan atau bentuk benda yang akan dibuat dengan menambahkan tekanan hidrolik. Duskiardi dan Tjitro (2002), melakukan penelitian dengan membandingkan berbagai macam jenis material, temperatur die dan variasi tekan, penelitian ini menghasilkan hasil produk *squeeze casting* terutama sifat kekerasan mengalami peningkatan sebesar 5,29% dan cacat porositas menurun sebanyak 18,15% setelah dilakukan perlakuan panas. Dalam perkembangan zaman yang modern seperti sekarang ini dibutuhkan material yang sangat kuat atau mampu bertahan dalam waktu yang lama. Material tersebut sangat penting digunakan dalam suatu komponen mesin. Porositas juga berpengaruh dalam ketahanan suatu material. Proses pengecoran *squeeze casting* terhadap cacat porositas produk *Flens* motor. Hasil dari penelitian tersebut adalah mampu mengurangi terjadinya porositas gas dan penyusutan pada material produk *flens* motor sungai yang berasal dari material Al-13,5% Si dari 6,53% menjadi 0,79% : (Firdaus, 2002)

Sementara pengaruh tekanan *plunger* yang terdapat pada *squeeze casting* terhadap porositas dan kekuatan puntir silinder Al-Mg-Si. Dari penelitian ini peneliti memvariasikan tekanan untuk memperoleh nilai kekuatan puntir yang maksimal namun % porositas yang minimal. Dari data penelitian, tekanan 50 MPa memiliki nilai kekuatan puntir maksimal sebesar 179,3524 MPa dan 0,45% nilai porositas minimal. Aristiono (2012), melakukan penelitian yang hampir sama dengan yang dilakukan Mayvendra, 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. Dalam penelitian diatas belum diteliti tentang pengaruh variasi suhu *aging* terhadap porositas dan kekuatan puntir

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*.

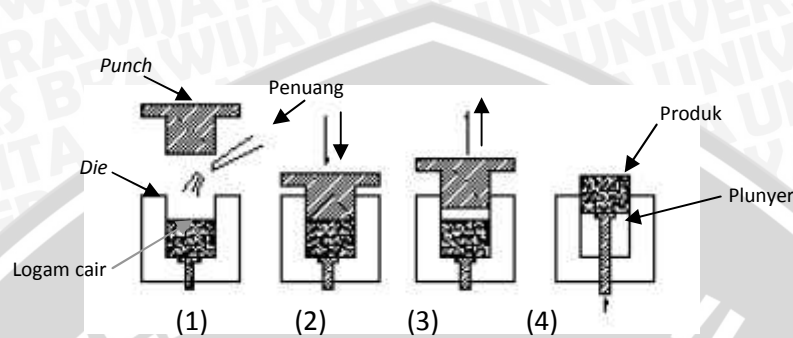
Pengecoran *squeeze* disebut juga penempaan logam cair (*liquid metal forging*). Proses pemadatan logam cair dilakukan di dalam cetakan yang ditekan dengan tenaga hidrolik. Penekanan logam cair oleh permukaan cetakan akan menghasilkan perpindahan panas dan menghasilkan penurunan porositas seperti sering 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.

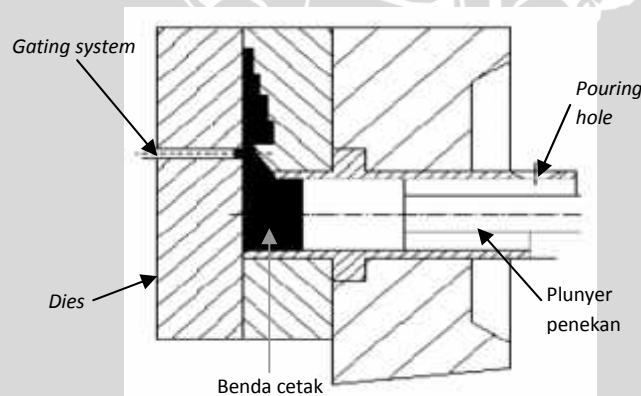


Gambar 2.1 Mekanisme *Direct Squeeze Casting*.

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.



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 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 penekanannya 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: ASM handbook Vol. 15 Casting 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, dngear *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 yaitu:

Pertama, temperatur sangat mempengaruhi logam, dan logam cair akan mencair seluruhnya pada temperatur yang tinggi, sedangkan logam cair akan membeku pada temperatur rendah.

Kedua, Berat jenis logam cair lebih besar dari pada berat jenis air. Yang mana berat jenis air sekitar 1,0 sedangkan besi cor bisa mencapai 6,8 sampai 7,0 lalu paduan aluminium 2,2 sampai 2,3 dan paduan timah 6,6 sampai 6,8. 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.

Ketiga, 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

Rahan	Titik cair (°C)	Berat jenis (g/cm ³)	Koefisien kekentalan (g/cm ² 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

Fluiditas adalah kualitas logam cair yang mampu membuat logam cair mengalir melalui cetakan dan mengisi semua celah-celah cetakan. Sifat fluiditas ini mempengaruhi baik atau buruknya hasil dari desain produk coran. Semakin rendah fluiditas maka akan menimbulkan cacat pada produk.

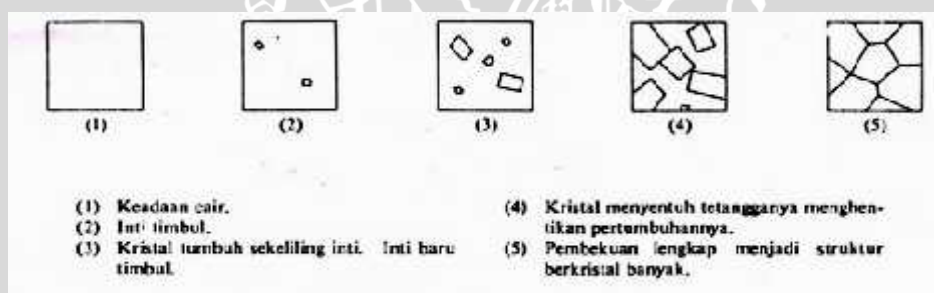
Visikositas juga salah satu faktor yang dapat mempengaruhi fluiditas, semakin tinggi visikositas maka fluiditas akan menurun dan sebaliknya. Hal ini disebabkan karena jika visikositas tinggi maka energi yang dibutuhkan untuk memindahkan molekul antar logam cair juga akan semakin tinggi sehingga bisa menghambat fluiditas.

Temperatur juga merupakan faktor yang dapat mempengaruhi fluiditas. Fluiditas logam cair sangat bergantung pada superheat, superheat adalah pemanasan diatas temperatur cair logam namun tetap dalam fase cair. Hal in perlu dilakukan untuk menghindari solidifikasi dini. Semakin tinggi superheat maka fluiditas akan semakin tinggi juga.

Komposisi logam juga mempengaruhi fluiditas. Terutama menyangkut mekanisme pembekuan (solidifikasi) logam cair. Fluiditas yang baik terdapat pada logam yang membeku pada temperature konstan contohnya logam mulia. Saat solidifikasi terjadi pada range tertentu (terutama logam paduan) dapat terjadi solidifikasi sebagian sehingga menurunkan fluiditas. Selain itu komposisi logam juga menentukan kalor laten. Kalor laten adalah panas yang dibutuhkan logam cair untuk mencair seluruhnya. Semakin tinggi kalor laten maka akan semakin tinggi pula fluiditas logam cair.

2.4 Pembekuan Logam

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



Gambar 2.4: 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 likuidnya. 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

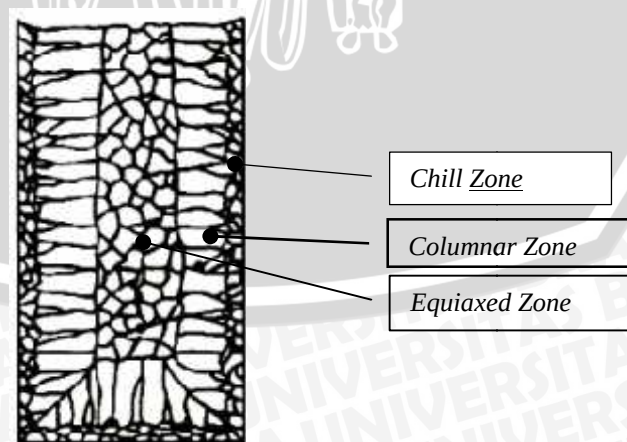
penuangan yang cukup tinggi dimana cairan yang berada ditengah-tengah coran tetap diatas temperatur leburnya sehingga dapat menyebabkan kristal yang dekat dengan daerah tersebut mencair lagi meninggalkan dinding cetakan. Hanya kristal yang berada pada dinding cetakan yang tumbuh menjadi *chill zone*.

▪ *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*). 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.

▪ *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 dibawah.



Gambar 2.5: 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 termal 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 alumina. Untuk mendapatkan aluminium murni dilakukan proses pemurnian pada bauksit yang menghasilkan oksida aluminium atau alumina. Kemudian alumina ini dielektrode sehingga berubah menjadi oksigen dan aluminium. Aluminium adalah logam terpenting dari logam nonferrous. Penggunaan aluminium adalah yang kedua setelah besi dan baja (Surdia dan Saito, 1999: 129). Keuntungan 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, 1996: 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 ($\text{Cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$) (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	Fcc, $\alpha = 4,013 \text{ Kx}$	Fcc, $\alpha = 4,04 \text{ Kx}$

Sumber: Surdia dan Saito 1999: 134

Sifat-sifat aluminium meliputi:

1. Modulus elastis

Modulus elastis aluminium rendah. Keburukan dari segi teknik adalah sifat elastis sangat rendah hampir tidak dapat diperbaiki dengan pemaduan maupun dengan *heat treatment*.

2. Ketahanan Korosi

Sifat tahan korosi pada aluminium diperoleh dari pembentukan lapisan oksidasi aluminium pada permukaannya. Lapisan oksidasi ini merekat kuat dan stabil pada permukaannya. Paduan aluminium tahan terhadap asam nitrit, asam organik dan asam sulfur.

3. Ketahanan Ausan

Ketahanan ausan aluminium sangat rendah, hal ini bisa dilihat dari harga batas luluh dan kekerasan aluminium yang sangat rendah namun sifat ini bisa diperbaiki dengan logam lainya seperti Cu.

2.5.3 Pengaruh Unsur-Unsur Paduan

Unsur-unsur pemuat 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 seri 6xxx, sebagai paduan praktis dapat diperoleh paduan 6053, 6063 dan 6061. Kekuatan tempa pada paduan ini masih kurang dibandingkan dengan paduan lainnya, sangat baik untuk ekstrusi, dan sangat baik pula untuk diperkuat dengan perlakuan panas setelah pengerjaan.

2.6 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.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad \text{ASTM E252-84} \quad (2-1)$$

dengan :

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

2.6.1 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:

$$r_{th} = \frac{100}{\left\{ \left(\frac{\%Al}{r_{Al}} \right) + \left(\frac{\%Si}{r_{Si}} \right) + \left(\frac{\%Fe}{r_{Fe}} \right) + etc \right\}} \quad \text{ASTM E252-84} \quad (2-2)$$

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 yang terdapat dalam material yang di uji (gr/cm^3). Standar ASTM B311-93 sebagaimana berikut:

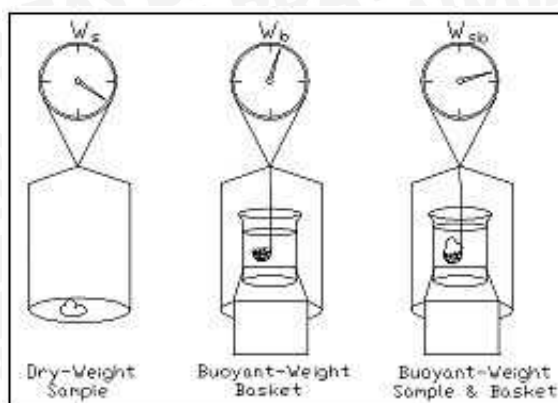
$$\rho_s = \rho_w \frac{W_s}{W_s - (W_{sb} - W_b)} \quad \text{ASTM B311-93} \quad (2-3)$$

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).

2.6.2 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 dibawah.



Gambar 2.6: Skema Piknometri
Sumber: Taylor dkk, 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 2.6, 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.

2.7 Pengujian Porositas

2.7.1 Porositas Pada Pengecoran Logam

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 benda tuang. 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 adalah:

- Unsur-unsur gas atau sumber gas yang terkandung dalam paduan.
- Tekanan udara yang berlebih.
- Temperatur cetakan.
- Teknik dan kondisi peleburan.

- Teknik atau cara pengeluaran gas dari logam cair.
- Temperatur logam cair.
- Uap air dalam udara.
- Permeabilitas cetakan.
- Uap air yang terkandung dalam cetakan
- Sumber-sumber gas yang terkandung dalam cetakan
- Bentuk saluran penuangan ataupun kecepatan penuangan

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

2.7.2 Perhitungan Porositas

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

$$\% P = 1 - \frac{\rho_s}{\rho_{th}} \times 100\% \quad (\text{Taylor dkk, 2000}) \quad (2-4)$$

dengan:

$\%P$ = Prosentasi porositas (%)

ρ_s = *Apparent Density* (gr/cm³).

ρ_{th} = *True Density* (gr/cm³)

2.8 Aging Treatment

Pada *Aging Treatment* pengerasan material dapat dicapai dengan temperatur ruangan (*natural aging*) atau pun percepatan perlakuan panas (*artificial aging*). Dalam beberapa paduan, percepatan dapat berlangsung beberapa hari, dalam temperatur ruang untuk menghasilkan produk stabil dengan sifat yang baik untuk berbagai aplikasi. Perlakuan *aging* ini biasanya dilakukan untuk memberikan peningkatan kekuatan dan kekerasan pada produk tempa atau coran. Pada beberapa paduan dengan reaksi yang lama pada temperatur ruang, selalu dilakukan perlakuan panas sebelum produk digunakan.

2.8.1 *Natural Aging*

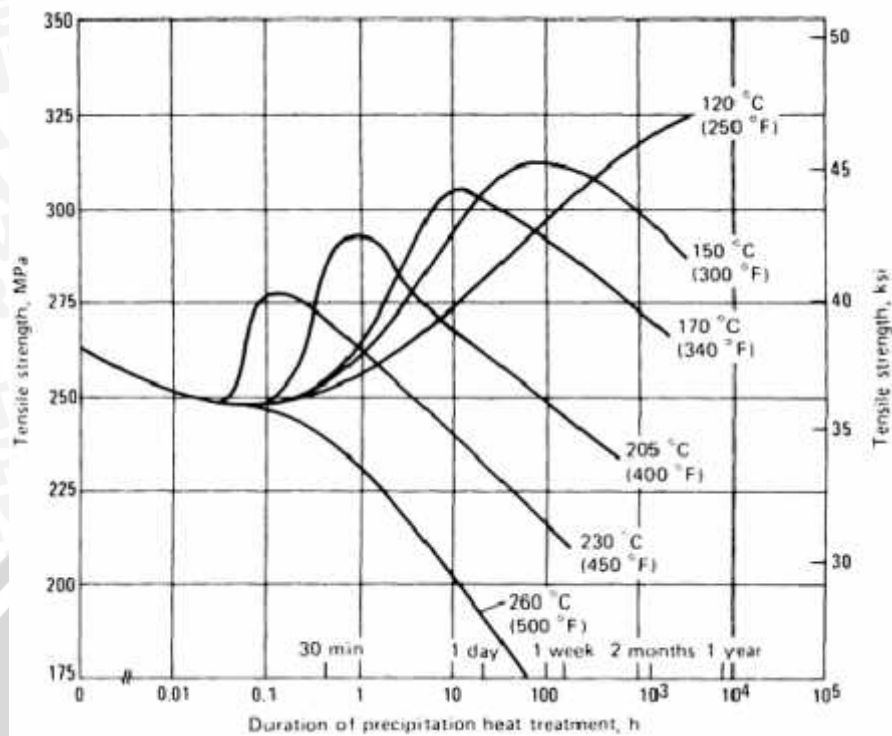
Digunakan pada paduan dengan seri tempa 6xxx, paduan dengan kandungan tembaga seri 7xxx, dan semua seri 2xxx. Pada beberapa paduan ini terutama pada paduan seri 2xxx dengan menggunakan *natural aging* menghasilkan rasio yang tinggi baik kekuatan tarik, luluh, ketangguhan, dan *fatigue*. Berbeda halnya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

2.8.2 *Artificial Aging*

Artificial aging memiliki keuntungan yaitu dapat 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. Adapun tujuannya yaitu untuk memilih siklus yang menghasilkan kekuatan mekanik yang maksimal.

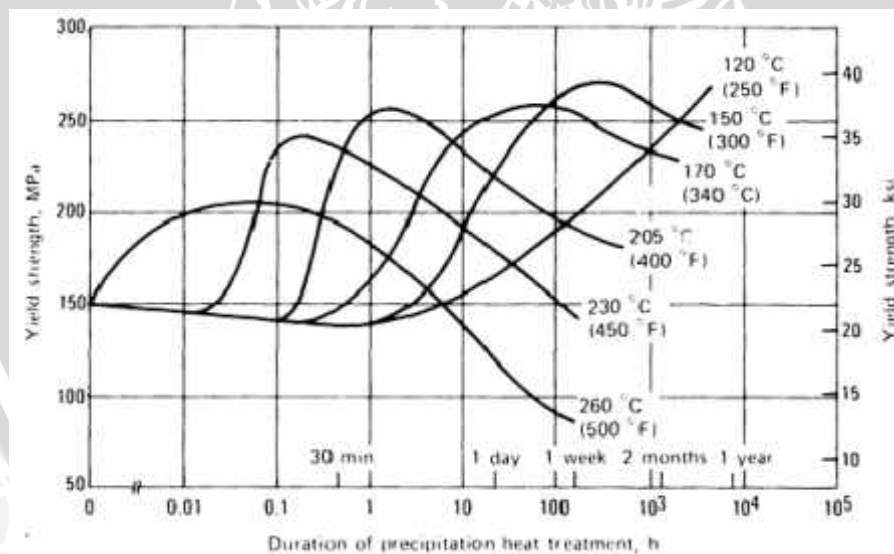
Pada umumnya *artificial aging* dilakukan pada suhu rendah dan proses yang lama, dimana suhu berkisar antara 115 – 190°C (240-375°F); variasi waktu dari 5–48 jam.

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 didalam 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 adalah grafik hubungan antara lama waktu *artificial aging* dengan kekuatan tarik, kekuatan luluh dan perpanjangan paduan Al-6061 dengan suhu yang berbeda pula.



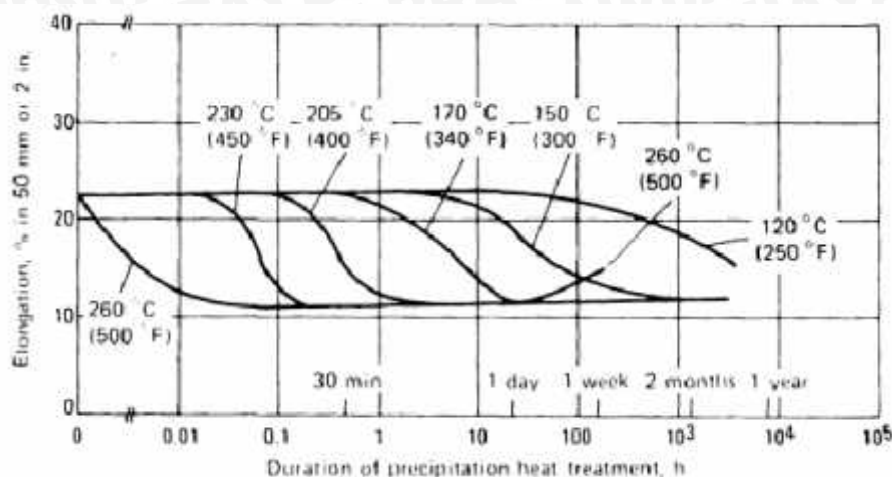
Gambar 2.7 Grafik hubungan lama waktu *artificial aging* dengan kekuatan tarik pada paduan Al-6061.

Sumber: ASM handbook , 1991: 1920



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

Sumber: ASM handbook, 1991: 1920



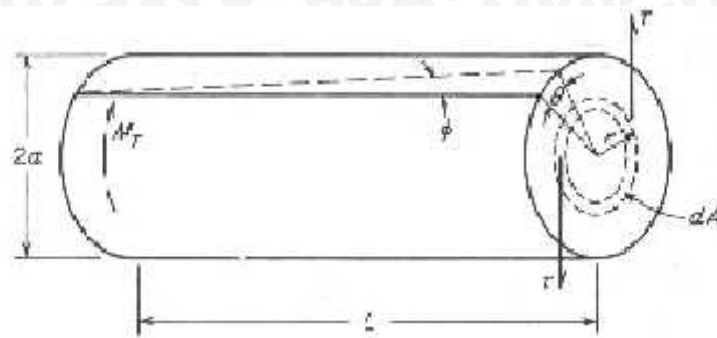
Gambar 2.9 Grafik hubungan lama waktu *artificial aging* dengan perpanjangan pada paduan Al-6061.

Sumber: ASM handbook, 1991: 1920

2.9 Pengujian Puntir (*Torsion Test*)

Pengujian puntir merupakan jenis pengujian yang lebih spesifik dibandingkan pengujian-pengujian terdahulu (tarik, kekerasan dan impak). Walaupun karakteristik mekanis material telah dapat diketahui dari hasil uji tariknya, pengujian puntir mampu memberikan informasi penting tambahan mengenai modulus elastisitas dalam arah geser (*shear*), kekuatan luluh puntir dan modulus pemuluran (*rupture*). Pengujian ini umumnya dilakukan pada material-material yang getas seperti baja perkakas dan pada komponen-komponen hasil fabrikasi seperti poros, as roda dan sebagainya (*full-scale test*).

Benda uji puntir umumnya memiliki penampang lintang silinder, karena bentuk ini mewakili geometri paling sederhana dalam penghitungan tegangan yang terjadi pada material. Dalam batas elastis tegangan geser bervariasi secara linier dari nol di bagian pusat lingkaran hingga mencapai maksimum pada permukaan terluar benda uji. Pengujian dilakukan dengan mencengkam salah satu ujung benda uji silinder pada grip pemegang (*chuck*), sementara ujung lainnya diberikan pembebanan melalui kepala beban. Deformasi diukur dengan alat pengukur sudut puntir (*twisting*) yang dinamakan *troptometer*. Penentuan deformasi didasarkan atas perpindahan sudut (*angular displacement*) dari suatu titik yang berada dekat ujung benda uji terhadap posisi suatu titik dengan elemen longitudinal yang sama di ujung lainnya. Gambar 2.10 di bawah ini memberikan ilustrasi deformasi pada benda uji puntir:



Gambar 2.10 Pengujian puntir pada benda uji silinder pejal.
Sumber: Dieter, 1996:343

Momen luar yang ditimbulkan pada salah satu ujung benda uji mendapat tahanan dari tegangan geser material. Tegangan tersebut bernilai nol pada pusat benda uji dan meningkat secara linier dengan penambahan jarak terhadap titik pusat. Kondisi kesetimbangan antara momen pemuntir luar dan momen reaksi dari material menghasilkan:

$$M_T = \int_{r=0}^{r=a} tr dA = \frac{t}{r} \int_0^a r^2 dA \quad (\text{Dieter, 1988:343}) \quad (2-5)$$

dengan $r^2 dA$ adalah momen inersia polar dari benda uji dan biasa dinotasikan dengan J .

Sehingga;

$$M_T = \frac{tJ}{r} \quad (\text{Dieter, 1988:343}) \quad (2-6)$$

Dan

$$t = \frac{M_T r}{J} \quad (\text{Dieter, 1988:343}) \quad (2-7)$$

dengan:

τ = adalah tegangan geser (N/mm^2),

M_T = momen puntir (N.mm)

r = jarak radial dari pusat (mm)

J =momen inersia polar yang tergantung geometris benda (mm^4). $J = \pi D^4/32$

Untuk benda uji silinder pejal dimana $J = \pi D^4/32$ maka tegangan maksimum yang terjadi pada permukaan adalah:

$$t_{\max} = \frac{M_T D / 2}{p D^4 / 32} = \frac{16 M_T}{p D^3} \quad (\text{Dieter, 1988:343}) \quad (2-8)$$

Dengan:

D = diameter

Sementara benda uji silinder tubular $J = p / 32 (D_0^4 - D_i^4)$ dengan D_0 diameter luar dan D_i diameter dalam, tegangan geser maksimum adalah:

$$t_{\max} = \frac{16 M_T D_0}{p (D_0^4 - D_i^4)} \quad (\text{Dieter, 1988:343}) \quad (2-9)$$

Dengan:

D_0 = diameter luar

D_i = diameter dalam

Besarnya regangan geser γ ditentukan oleh sudut puntir θ (dalam satuan radian):

$$g = \tan f = \frac{r\theta}{L} \quad (\text{Dieter, 1988:344}) \quad (2-10)$$

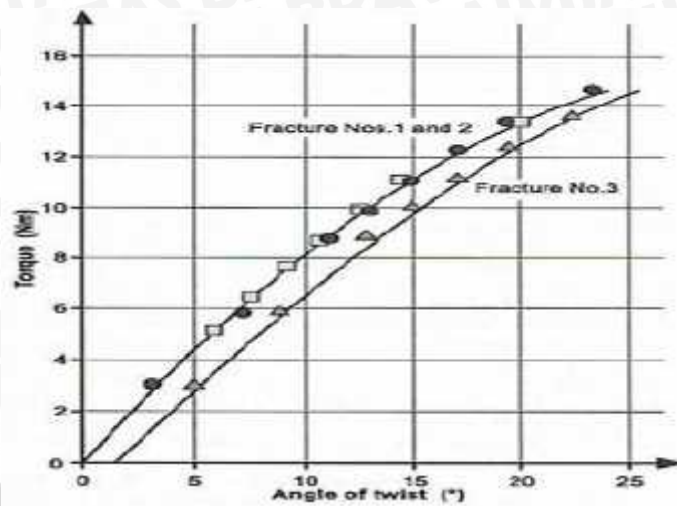
dengan:

L = panjang benda uji (mm)

θ = sudut puntir (dalam satuan radian)

γ = regangan geser (MPa)

dimana L adalah panjang benda uji pada Gambar 2.8. Pada saat pengujian maka pengukuran yang dilakukan adalah momen puntir M_T dan sudut puntir θ untuk memperoleh diagram seperti ditunjukkan Gambar 2.11 berikut:



Gambar 2.11 Diagram momen puntir-sudut puntir.
Sumber: Tecquipment, 2000.

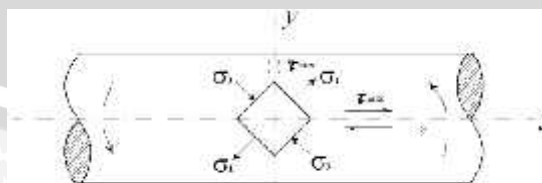
Pada daerah elastis, sebagaimana halnya hukum *Hooke* pada uji tarik, maka tegangan geser dapat dianggap proporsional dengan regangan gesernya. Konstanta proporsionalitas dalam hal ini adalah modulus kekakuan/ elastisitas dalam geseran, G menghasilkan persamaan:

$$t = G\gamma \quad (\text{Dieter, 1988:345}) \quad (2-11)$$

Substitusi persamaan (2-7) dan (2-10) ke persamaan (2-11) menghasilkan persamaan untuk modulus geser sebagai fungsi dari geometri benda uji, momen puntir dan sudut puntir:

$$G = \frac{M_T L}{J\theta} \quad (\text{Dieter, 1988:345}) \quad (2-12)$$

Keadaan tegangan internal yang terjadi pada suatu titik pada permukaan benda uji puntir pejal ditunjukkan oleh Gambar 2.12 berikut:



Gambar 2.12 Keadaan tegangan pada benda uji silinder pejal yang mengalami momen puntir.

Sumber: Dieter, 1988:345

Tegangan geser maksimum terjadi pada dua bidang yang saling tegak lurus, tegak lurus terhadap sumbu longitudinal yy dan sejajar dengan sumbu longitudinal xx . Tegangan utama σ_1 dan σ_3 menghasilkan sudut 45° terhadap sumbu longitudinal dan setara nilainya dengan tegangan-tegangan geser. σ_1 adalah tegangan tarik sementara σ_3 tegangan tekan. Tegangan intermediate σ_2 adalah nol. Keadaan tegangan inilah yang dapat dipakai untuk menjelaskan bentuk perpatahan pada benda uji ulet dan getas.

Logam ulet akan mengalami kegagalan karena mekanisme geser yang terjadi sepanjang salah satu bidang tegangan geser maksimum. Umumnya bidang perpatahan tegak lurus terhadap sumbu longitudinal, lihat Gambar 2.13a.



Gambar 2.13 Jenis kegagalan material dalam pembebanan puntir:

(a) Kegagalan ulet akibat mode geser.

(b) Kegagalan getas akibat mode tarik.

Sumber: Dieter, 1988:346

Material getas akan mengalami kegagalan dalam pembebanan puntir sepanjang bidang yang tegak lurus terhadap arah tegangan tarik maksimum. Karena bidang ini memotong sudut antara dua bidang tegangan geser dan membentuk sudut 45° terhadap arah-arah longitudinal dan transversal, maka perpatahan akan berbentuk heliks, seperti diperlihatkan oleh Gambar 2.13b. Bandingkan dengan kondisi tegangan dan perpatahan pada material ulet atau getas bila dikenakan pembebanan tarik atau tekan.

Pengujian puntir memiliki kelebihan daripada pengujian tarik dalam hal pengukuran dasar mengenai plastisitas material. Pengujian puntir mampu menghasilkan secara langsung kurva tegangan geser-regangan geser, yaitu melalui persamaan (2-6) dan (2-10). Nilai regangan yang besar mampu diperoleh dalam uji puntir tanpa komplikasi terjadinya penciutan (*necking*) dalam penarikan ataupun penggembungan (*barreling*) karena efek gesekan pada penekanan (Yuwono, 2009).

Umumnya nilai torsi yang terjadi berbanding lurus dengan nilai sudut torsi dengan demikian semakin tinggi nilai torsi maka semakin besar pula sudutnya. Kekuatan torsi adalah jumlah maksimum dari tegangan torsi sebuah benda/logam sebelum benda tersebut rusak oleh momen puntir yang terjadi (Azom, 2006).

2.10 Porositas

Porositas adalah timbulnya sekelompok gas yang membentuk pori-pori di dalam lasan akibat terperangkapnya gas selama proses solidifikasi yang cepat (Khan, 2007:182). Hampir setiap proses pengecoran, porositas akan selalu terjadi dan menyebabkan masalah. Bagaimanapun, sebuah proses pengecoran yang memiliki cacat porositas tidak secara langsung mengalami kegagalan namun porositas pasti akan berpengaruh buruk terhadap hasil pengecoran logam. Porositas dapat terjadi dari banyak sumber, sebagai contoh reaksi kimia di dalam kolam las yang dapat melepaskan gelembung gas.

2.11 Hipotesa

Temperatur *aging treatment* sangat berpengaruh pada kekuatan puntir hasil coran. Semakin tinggi temperatur yang digunakan dalam *aging treatment*, maka kekuatan puntir akan semakin meningkat sampai pada temperatur tertentu, kemudian akan menurun.

Dengan adanya *aging treatment* berdasarkan variasi suhu yang ada dan diturunkan sampai suhu kamar, porositas yang terjadi akan semakin menurun, karena struktur butiran akan mengecil sehingga kemungkinan udara masuk kedalam celah spesimen akan sangat sulit.

BAB III

METODE PENELITIAN

Tujuan dari penelitian yang dilakukan adalah untuk mengetahui pengaruh *aging treatment* pada *squeeze casting* terhadap kualitas hasil produk silinder berbahan paduan Al-Mg-Si. Dengan asumsi variabel yang konstan, maka metode penelitian yang digunakan adalah penelitian nyata (*true experimental research*), yaitu untuk menyelidiki kemungkinan hubungan sebab akibat dengan cara mengenakan kepada salah satu atau lebih kelompok eksperimental dengan kondisi perlakuan dan membandingkan hasilnya dengan kelompok kontrol.

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 mikro struktur.
- Laboratorium Pengujian Bahan, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Malang untuk proses pengujian puntir.

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:

- Suhu *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 Puntir (MPa).

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 *aging treatment* 8 jam.

3.3 Alat dan Bahan Penelitian

Alat-alat Penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Dapur pelebur logam.
2. Cetakan specimen.
3. Alat *squeeze casting*.
4. Ladel.
5. Infrared thermometer.
6. *Stopwatch*.
7. Alat uji punter.
8. Mesin bubut.
9. Jangkla sorong.
10. Kamera digital.
11. Burner.
12. Timbangan digital.
13. Dapur pemanas.

Bahan Penelitian

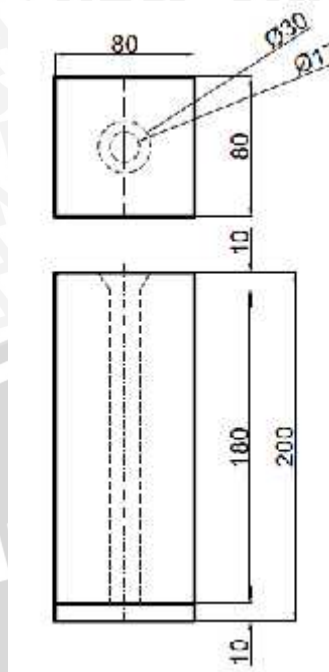
Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Alumunium paduan Al-Mg-Si 6061.

3.4 Prosedur Penelitian

3.4.1 Prosedur Pengecoran

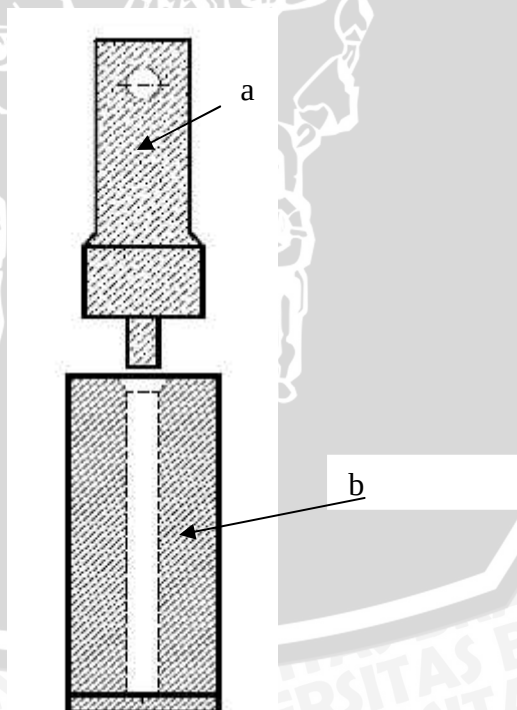
Langkah- langkah pengerjaan dalam penelitian ini adalah:

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*, seperti terlihat pada gambar 3.1.



Gambar 3.1: cetakan (satuan: mm)

- Gambar instalasi *squeeze casting* ditunjukkan pada gambar 3.2.



Gambar 3.2 Instalasi *Squeeze Casting*

Keterangan:

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

3. Peleburan Al-Mg-Si sampai temperatur $\pm 900^{\circ}\text{C}$.
4. Menghitung tekanan plunger menjadi tekanan pada *hydraulic*.
5. Penuangan logam cair dengan tekan *plunger* 75 MPa.

3.4.2 Cara Kerja Alat *Squeeze Casting*

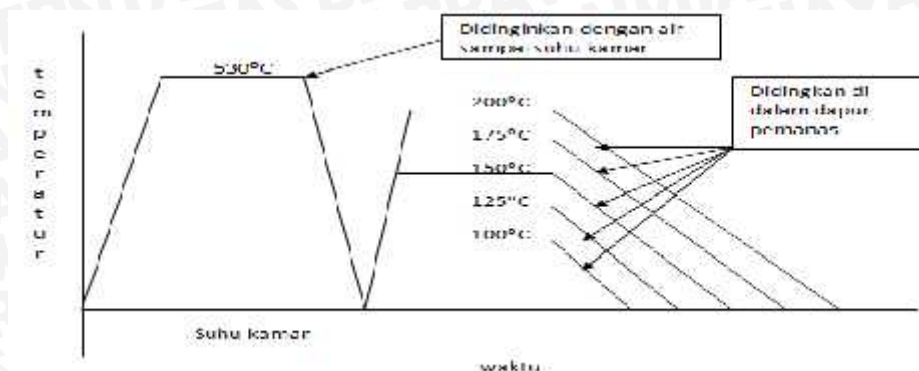
Berikut ini adalah cara kerja dari alat *squeeze casting*:

1. Memanaskan Al-Mg-Si hingga mencair dengan suhu 900°C pada dapur listrik.
2. Pasang cetakan logam ke dalam alat *squeeze casting*.
3. Panaskan cetakan logam hingga suhu 150°C kemudian cek dengan *infrared thermometer* pada semua titik cetakan.
4. Matikan alat pemanas (*burner*) kemudian tuang logam cair ke dalam saluran masuk dari alat *squeeze casting* secukupnya.
5. Menekan hidrolik silinder hingga mencapai tekanan 75 MPa sampai logam cair turun ke bawah dan mengisi seluruh cetakan.
6. Membuka cetakannya dan lepas benda kerja secara perlahan setelah temperatur pada logam cair sudah turun.
7. Melakukan pendinginan specimen dengan air sampai temperature specimen menjadi temperature ruangan.

3.4.3 Aging treatment

Keterangan gambar

- Langkah 1-2. Hasil coran *squeeze casting* dipanaskan dalam dapur pemanas hingga mencapai suhu 530°C .
- Langkah 2-3. Setelah suhu dapur pemanas mencapai suhu 530°C dilakukan holding selama 8 jam.
- Langkah 3-4. Setelah dilakukan holding maka selanjutnya hasil coran dilakukan quenching dengan menggunakan fluida air hingga mencapai suhu kamar.
- Langkah 4-5. Dilakukan *aging treatment* dengan variasi suhu 100°C , 125°C , 15°C , 17°C , 200°C . selama 8 jam.



Gambar 3.3 heat treatment

Pengerjaan *aging treatment* dalam penelitian ini adalah:

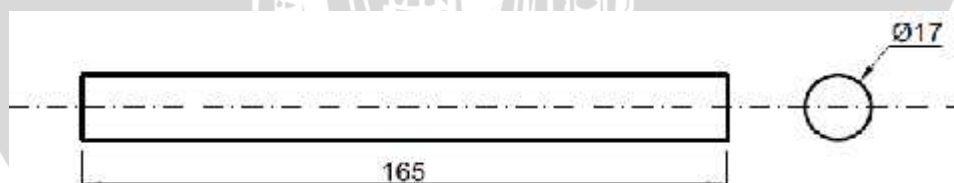
1. Dilakukan proses *quenching* dengan menggunakan air pada produk hasil coran sampai mencapai suhu 27 °C.
2. Dilakukan proses *aging treatment* dengan memasukkan produk coran ke dalam dapur pemanas dengan variasi suhu 100 °C, 125 °C, 150 °C, 175 °C, 200 °C selama 8 jam.

3.4.4 Prosedur pengujian porositas

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

Pengujian Porositas sebelum *finishing*.

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



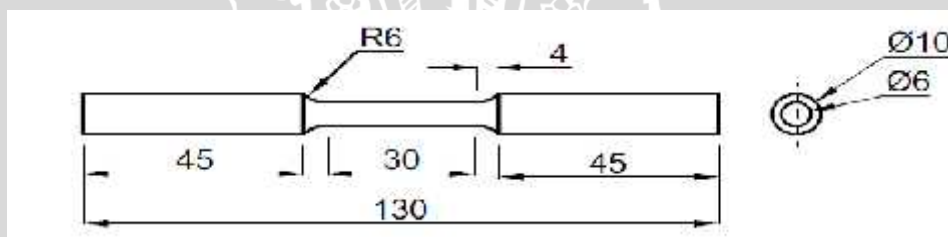
Gambar 3.4 Spesimen Uji Piknometri (satuan: mm)

2. Pengambilan data uji porositas menggunakan metode piknometri.
3. Pengolahan data hasil pengujian. Melakukan pengulangan langkah 1 sampai 4 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.

3.4.5 Prosedur Pengujian Kekuatan Puntir

Dalam penelitian ini dilakukan pengujian kekuatan puntir dengan spesifikasi mesin dan bentuk spesimen seperti ditunjukkan Gambar 3.5 dan Gambar 3.6.

1. Persiapkan spesimen yang akan diuji puntir.
2. Periksa dan pasang jarum penunjuk momen puntir pada skala nol.
3. Atur jarum penunjuk sudut puntir pada skala nol.
4. Atur jarum penunjuk momen puntir pada skala nol.
5. Pasang spesimen uji dengan baik. Putarlah grip pemegang ke arah yang sesuai. Pastikan pengencangan yang dilakukan tidak terlalu rendah maupun terlalu besar. Gunakan alat bantu bila perlu.
6. Putar pemutar pada mesin puntir untuk menghitung besarnya torsi tiap perubahan sudut yang terjadi.
7. Amati dan catat momen torsi pada penambahan sudut puntir tiap 10° hingga benda uji putus.



Gambar 3.5 Spesimen pengujian puntir (satuan:mm)

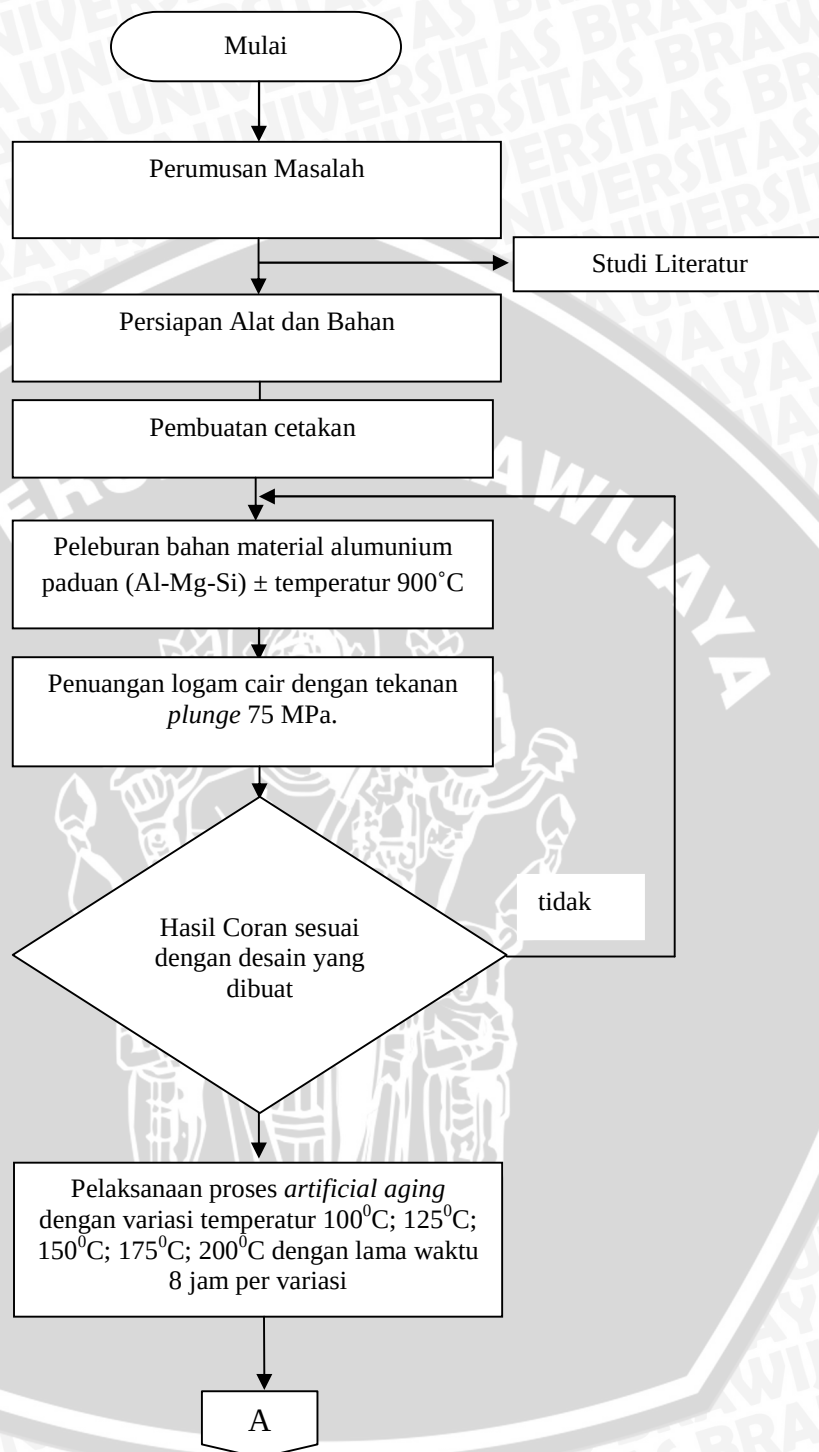
Sumber: ASTM E-143.



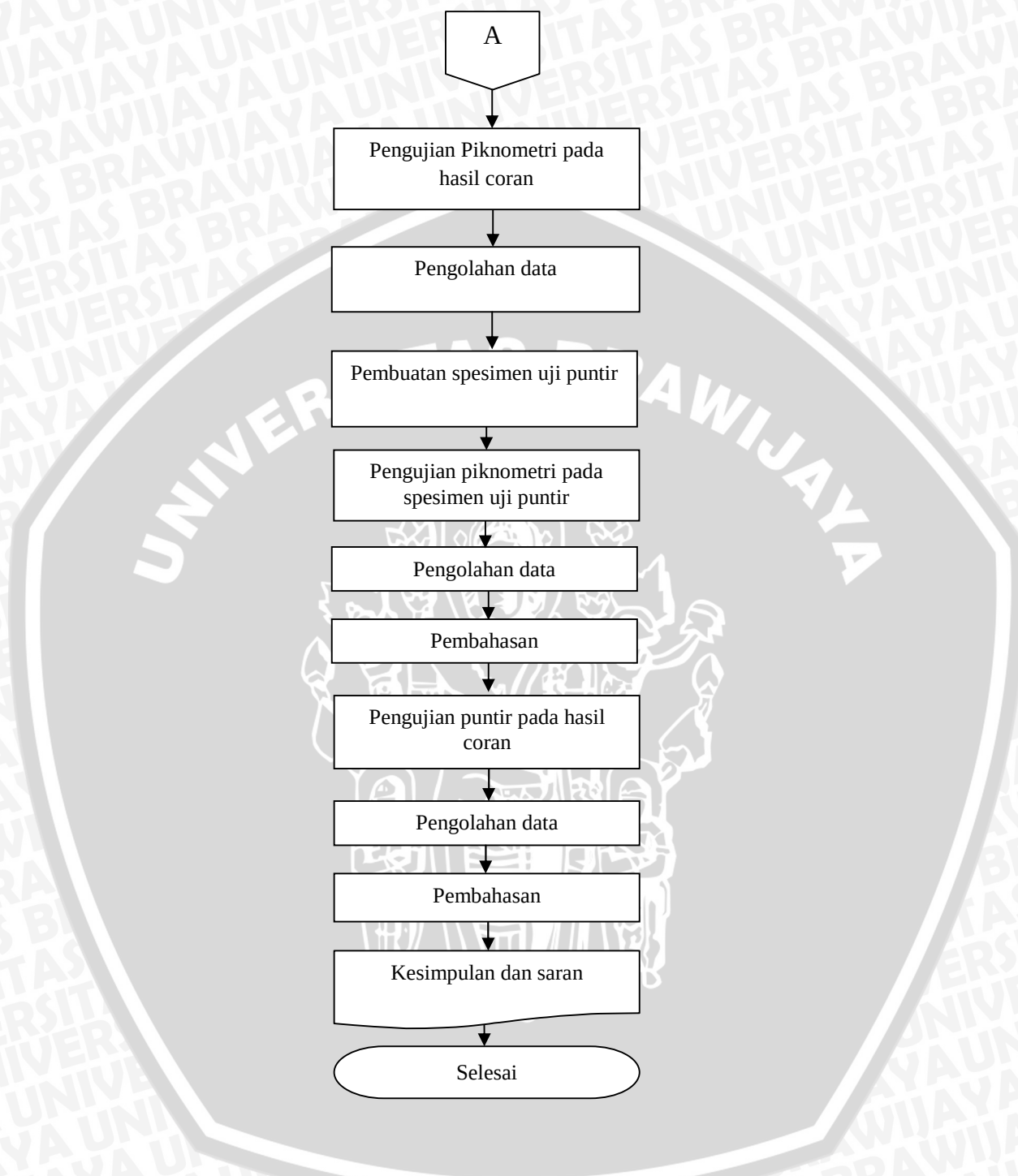
Gambar 3.6 Mesin uji puntir.

Sumber: Gatra (2010).

3.5 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.7 : Diagram alir penelitian bagian 1



Gambar 3.7 : Diagram alir penelitian bagian 2

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Pengujian

4.1.1 Data Hasil Pengujian Porositas

Porositas sendiri diakibatkan karena adanya gelembung-gelembung gas yang terjebak diantara butiran logam hasil coran saat logam cair dituang ke dalam cetakan. Data porositas dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut ini:

Tabel 4.1 Data Hasil Pengujian Porositas

Pengulangan	Suhu Aging (°C)					
	27 ⁰ C	100 ⁰ C	125 ⁰ C	150 ⁰ C	175 ⁰ C	200 ⁰ C
1	1,94	1,79	1,61	1,49	1,26	0,98
2	2,11	1,77	1,64	1,46	1,17	0,75
3	2,66	1,79	1,6	1,49	1,03	0,95
Jumlah	6,71	5,35	4,85	4,44	3,46	2,68
Rata-rata	2,24	1,78	1,62	1,48	1,15	0,83

Data porositas pada Tabel 4.1 didapatkan dari perhitungan porositas. Data yang diperlukan untuk perhitungan porositas. Contoh perhitungan porositas pada adalah sebagai berikut:

a. Suhu aging 100°C

➤ *Apparent Density*

$$\begin{aligned}
 \rho_s &= \frac{W_s}{V_w} = \frac{W_s}{\frac{W_s - W_{sb} - W_b}{\rho_w}} \\
 &= 1 \frac{22,33}{22,33 - 16,5 - 2,61} \\
 &= 2,6457 \text{ gr/cm}^3 \sim 2,65 \text{ gr/cm}^3
 \end{aligned}$$

➤ *True Density*

$$\rho_{th} = \frac{100}{\frac{\%Al}{\rho_{Al}} + \frac{\%Mg}{\rho_{Mg}} + \frac{\%Si}{\rho_{Si}} + etc}$$

$$= \frac{100}{\frac{97,63}{2,7} + \frac{1,023}{1,74} + \frac{0,661}{2,33} + \text{etc}}$$

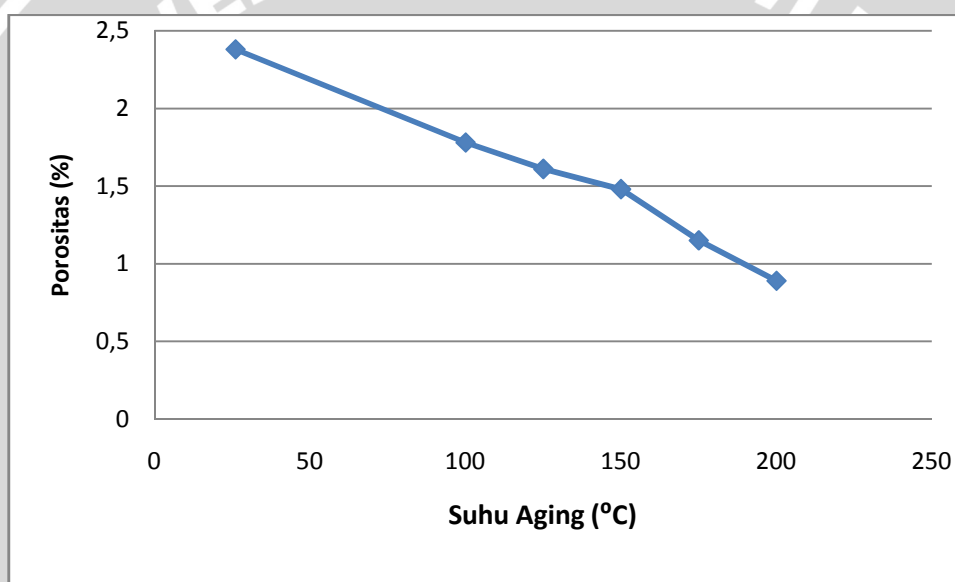
$$= 2,6939 \text{ gr/cm}^3 \sim 2,69 \text{ gr/cm}^3$$

➤ Porositas

$$\%P = 1 - \frac{\rho_s}{\rho_{th}} \times 100\%$$

$$= 1 - \frac{2,6457}{2,6939} \times 100\%$$

$$= 1,7892\% \sim 7,9\%$$



Gambar 4.1 Grafik hubungan suhu *aging* dengan porositas

Dari gambar 4.1 diatas dapat disimpulkan bawah *aging treatment* dapat menurunkan nilai porositas. Dari hasil *aging treatment* didapat hasil porositas tertinggi pada suhu aging 100°C sebesar 1,78% dan hasil porositas terendah terdapat pada suhu aging 200°C yaitu sebesar 0,883%. Hal ini disebabkan karena pada saat *solution treatment* terjadi pergerakan butiran secara acak. Pada saat atom bergerak secara acak lalu didinginkan secara cepat membuat atom tersebut berhenti bergerak secara mendadak dan tidak sempat tertata secara teratur. Lalu dilakukan *aging treatment*, pada saat dipanaskan pada suhu aging, atom-atom tersebut mulai tertata atau terdistribusi secara merata dan mulai mengisi rongga yang kosong. *Aging treatment* dilakukan

selama 8 jam, 8 jam itu merupakan waktu yang cukup untuk menata struktur atom secara merata. Setelah 8 jam melalui suhu aging dilakukan pendinginan didalam dapur sampai mencapai suhu 27°C. Karena perlakuan tersebut membuat benda hasil *aging treatment* menjadi menurun nilai porositasnya.

4.1.2 Data Hasil Pengujian Kekuatan Puntir

Dari mesin uji puntir yang digunakan diketahui bahwa panjang lengan 155mm = 0,155 m, kemudian dari pengujian puntir didapat beban yang diterima (dalam hal ini diambil beban yang diambil adalah beban *ultimate*) dapat dilihat pada Tabel 4.2 dibawah ini.

Tabel 4.2 Data Beban *Ultimate* Saat Pengujian Puntir

Pengulangan	Suhu Aging (°C)					
	27°C	100°C	125°C	150°C	175°C	200°C
1	1,25	3,75	4	5	5	5,5
2	1,25	4	4	5,5	5,5	5,5
3	1,25	4	4	5	5,5	5,5
Jumlah	3,75	11,75	12	15,5	16	16,5
Rata-rata	1,25	3,92	4	5,17	6	5,5

Contoh perhitungan momen puntir:

$$\begin{aligned}
 M_T &= F \cdot L \\
 &= 1,25 \cdot 9,81 \cdot 0,15 \\
 &= 1,84 \text{ N.m}
 \end{aligned}$$

dengan :

M_T : Momen torsi (N.m)

F : Gaya (N)

L : Panjang lengan (m)

Untuk spesimen lainnya, hasil perhitungan momen puntir dapat dilihat dalam Tabel 4.2.

Tabel 4.3 Data Momen Puntir Maksimum Hasil Pengujian Puntir

Pengulangan	Suhu Aging (°C)					
	27 ⁰ C	100 ⁰ C	125 ⁰ C	150 ⁰ C	175 ⁰ C	200 ⁰ C
1	1,84	5,52	5,88	7,36	7,36	8,09
2	1,84	5,87	5,88	8,09	8,09	8,09
3	1,84	5,87	5,88	7,36	8,09	8,09
Jumlah	5,52	17,29	17,66	22,81	23,54	24,28
Rata-rata	1,84	5,76	5,88	7,60	7,85	8,09

Setelah didapat data besarnya momen puntir maksimum saat pengujian puntir, kemudian data tersebut di-konversikan menjadi tegangan geser dengan menggunakan persamaan (2-8). Berikut ini adalah salah satu contoh perhitungan tegangan geser :

$$\begin{aligned}\tau_{max} &= \frac{M_T D/2}{\pi D^4/32} = \frac{16M_T}{\pi D^3} \\ &= \frac{16 \cdot 1,84}{3,14 \cdot 0,006^3} \\ &= 43,39 \text{ MPa}\end{aligned}$$

dengan :

τ_{max} : Tegangan geser (MPa)

M_T : Momen torsi (N.m)

D : Diameter (m)

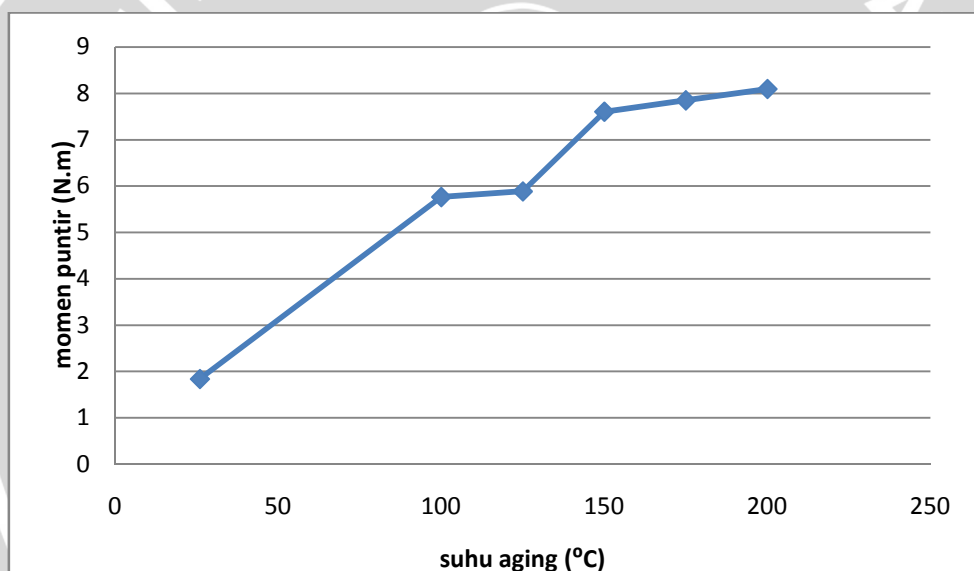
$\pi D^4/32$: Momen inersia polar benda uji pejal (m⁴)

Untuk data yang lain dihitung mengikuti urutan contoh perhitungan diatas dan hasilnya dirangkum didalam Tabel 4.4

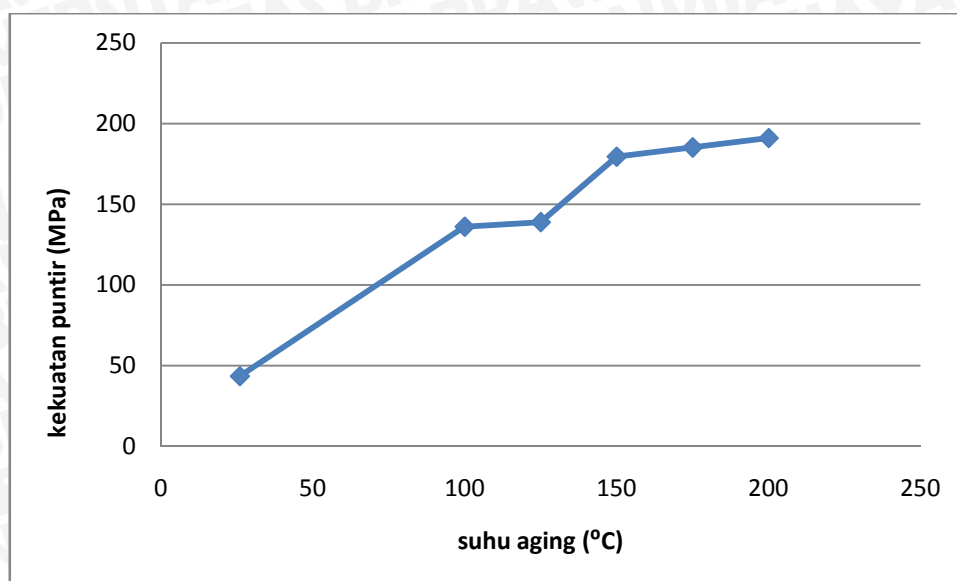
Tabel 4.4 Data Hasil Pengujian Kekuatan Puntir

Pengulangan	Suhu Aging (°C)					
	27°C	100°C	125°C	150°C	175°C	200°C
1	43,38	130,17	138,85	173,57	173,57	190,92
2	43,38	138,85	138,85	190,92	190,92	190,92
3	43,38	138,85	138,85	173,92	190,92	190,92
Jumlah	130,17	407,88	416,56	538,06	555,41	572,77
Rata-rata	43,38	135,85	138,85	185,13	185,13	190,92

Agar lebih mudah dipahami, nilai kekuatan puntir pada Tabel 4.3 dan Tabel 4.4 diatas diplot dalam bentuk grafik seperti pada Gambar 4.2 dan gambar 4.3



Gambar 4.2 Grafik hubungan suhu aging dengan momen puntir



Gambar 4.3 Grafik hubungan suhu aging dengan kekuatan puntir

Dari gambar 4.2 diatas dapat diperoleh nilai momen torsi minimum yaitu pada suhu 100°C dengan momen torsi 5,763 N.m dan untuk nilai momen torsi maksimum yaitu pada suhu 200°C dengan momentorsi 8,093 N.m. Sedangkan pada gambar 4.3 juga di tunjukkan nilai minimum untuk nilai tegangan geser pada suhu 100°C adalah 135,96 MPa dan untuk nilai maksimumnya pada suhu 200°C adalah 190,92 MPa. Pada lampiran 4 juga dapat dilihat semakin tinggi suhu *aging* maka beban untuk mematahkan juga akan semakin meningkat. Pada suhu aging 100°C beban puntir maksimal yang dapat diterima 3,17 kg dan beban puntir maksimal yang terdapat pada variasi suhu 200°C yaitu sbesar 5,5 kgMg dan Si tersebut mengalami keadaan yang stabil. Selain itu juga struktur butiran yang halus dan tertata secara merata juga berpengaruh pada kekuatan puntir. Semakin rapat dan padat struktur butirnya maka kekuatan puntir yang dihasilkan juga semakin meningkat. Kekuatan puntir juga dapat dipengaruhi oleh porositas, jika nilai porositas meningkat maka nilai kekuatan puntir juga akan semakin menurun hal ini disebabkan karena terdapat banyak rongga udara pada spesimen. Rongga udara inilah yang mengurangi penampang spesimen sehingga kekuatan puntir akan menurun. Grafik hubungan antara sudut puntir beban maksimal dengan variasi suhu *aging* terlampir pada lampiran 4.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang sudah dilakukan telah didapatkan hasil yaitu tekanan plunger berpengaruh terhadap porositas dan kekuatan puntir coran paduan Al-Mg-Si sehingga dapat disimpulkan bahwa:

- Peningkatan suhu *aging* akan berbanding terbalik terhadap nilai porositas hasil coran aluminium paduan Al-Mg-Si.
- Peningkatan suhu *aging* akan meningkatkan kekuatan puntir hasil coran aluminium Al-Mg-Si
- Kekuatan puntir tertinggi dan %porositas terendah terdapat pada hasil coran yang diberi suhu *aging* 200°C yaitu sebesar 190,2 MPa dan 0,75%.

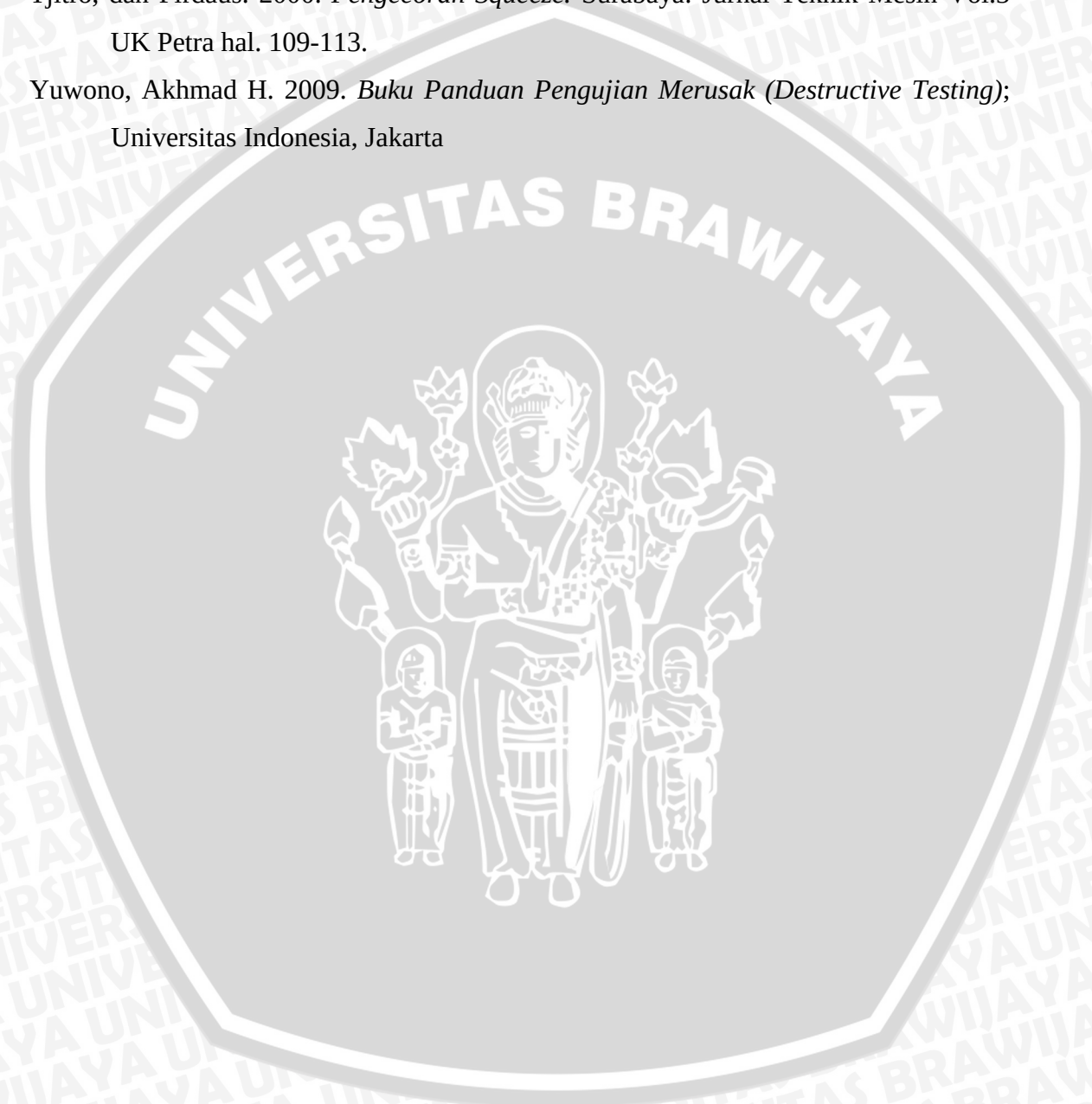
5.2 Saran

- Perlu diadakan penelitian lebih lanjut dengan menggunakan bahan coran dan metode pengecoran yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- Aristiono, Dian F A. 2012. *Pengaruh Tekanan Plunger pada Squeeze Casting Terhadap Porositas dan Kekuatan Tarik Produk Coran Silinder Al-Mg-Si*. Malang: Universitas Brawijaya.
- ASM handbook Vol. 4. 1991. *Heat Treating*. Materials. Detroit: ASM International
- ASM handbook Vol. 8. 1998. *Mechanical Testing and Evaluation*. Materials Park, OH : ASM International
- ASM handbook Vol.15. 1998. *Casting*. Materials. detroit: ASM International
- ASTM E 143– 03. 2003. *Standard Test Method for Brinell Hardness of Metallic Materials*1. ASTM International.
- Azom; 2006; *Mechanical Properties of Materials – Tensile, Compressive, Shear, Torsional and Yield Strength Defined*;
<http://www.azom.com/details.asp?articleid=3426>. (diakses tanggal 19 Agustus)
- Budinski, K. 1996. *Engineering Materials: Properties and Selection*.
- De Garmo, E. P. 1990. *Materials and Processes In Manufacturing*. John Wiley and Sons, Inc.
- Dieter, G.E; 1988: *Mechanical Metallurgy*; SI metric edition, McGraw-Hill, ISBN 0-07-100406-8.
- Duskiardi dan Tjitro, 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.
- Djaprie, Sriati. 1991. *Ilmu dan Teknologi Bahan*. Jakarta : Penerbit Erlangga.
- Firdaus. 2002. *Analisis Parameter Proses Pengecoran Squeeze Terhadap Cacat Porositas Produk Flens Motor Sungai*.
- Heine, R. W. 1990. *Principles of Metal Casting*. New Delhi: Tata McGraw -Hill,
- Kalpajian, S. 1990. *Manufacturing Engineering and Technology*. Massachusetts: Adison-Wesley Publish Company.
- Khan, Md. Ibrahim. 2007. *Welding Science and Technology*. New Delhi: New Age International (P) Ltd.
- Purnomo, Mayvendra R.S, 2012. *Pengaruh Tekanan Plunger pada Squeeze Casting Terhadap Porositas dan Kekuatan Puntir Silinder Al-Mg-Si*. Malang: Universitas Brawijaya.
- SM1/2 Torsion Testing Machine; 2000; Tecquipment Ltd

- Surdia, dan Kenji. 1996. *Teknik Pengecoran Logam*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Surdia, dan Saito. 1999. *Pengetahuan Bahan Teknik*. 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, dan Firdaus. 2000. *Pengecoran Squeeze*. Surabaya: Jurnal Teknik Mesin Vol.3 UK Petra hal. 109-113.
- Yuwono, Akhmad H. 2009. *Buku Panduan Pengujian Merusak (Destructive Testing)*; Universitas Indonesia, Jakarta



Lampiran 1. Foto proses penelitian

Proses Pengecoran Squeeze



Pengujian Piknometri



Pengujian Puntir

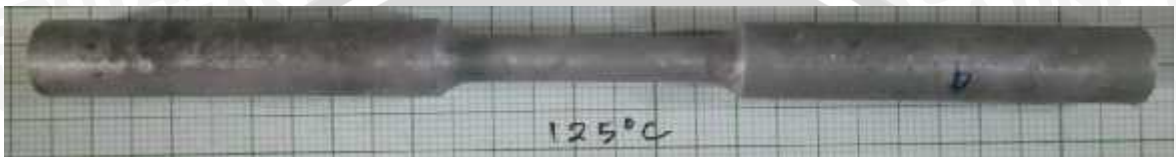


Lampiran 2. Foto benda kerja

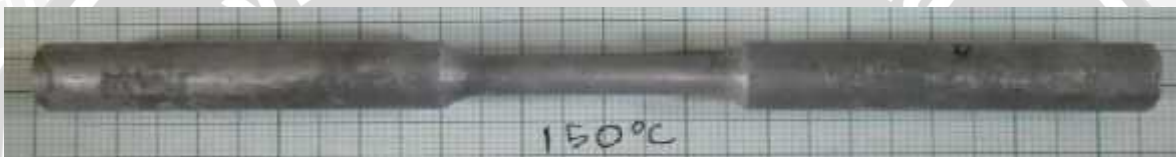
- Suhu Aging 100°C



- Suhu Aging 125°C



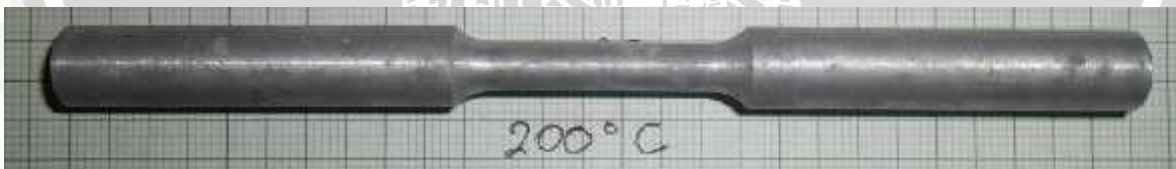
- Suhu Aging 150°C



- Suhu Aging 175°C



- Suhu Aging 200°C



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

FROM : FAX NO. : Oct. 30 2012 09:56AM P

KUM-04

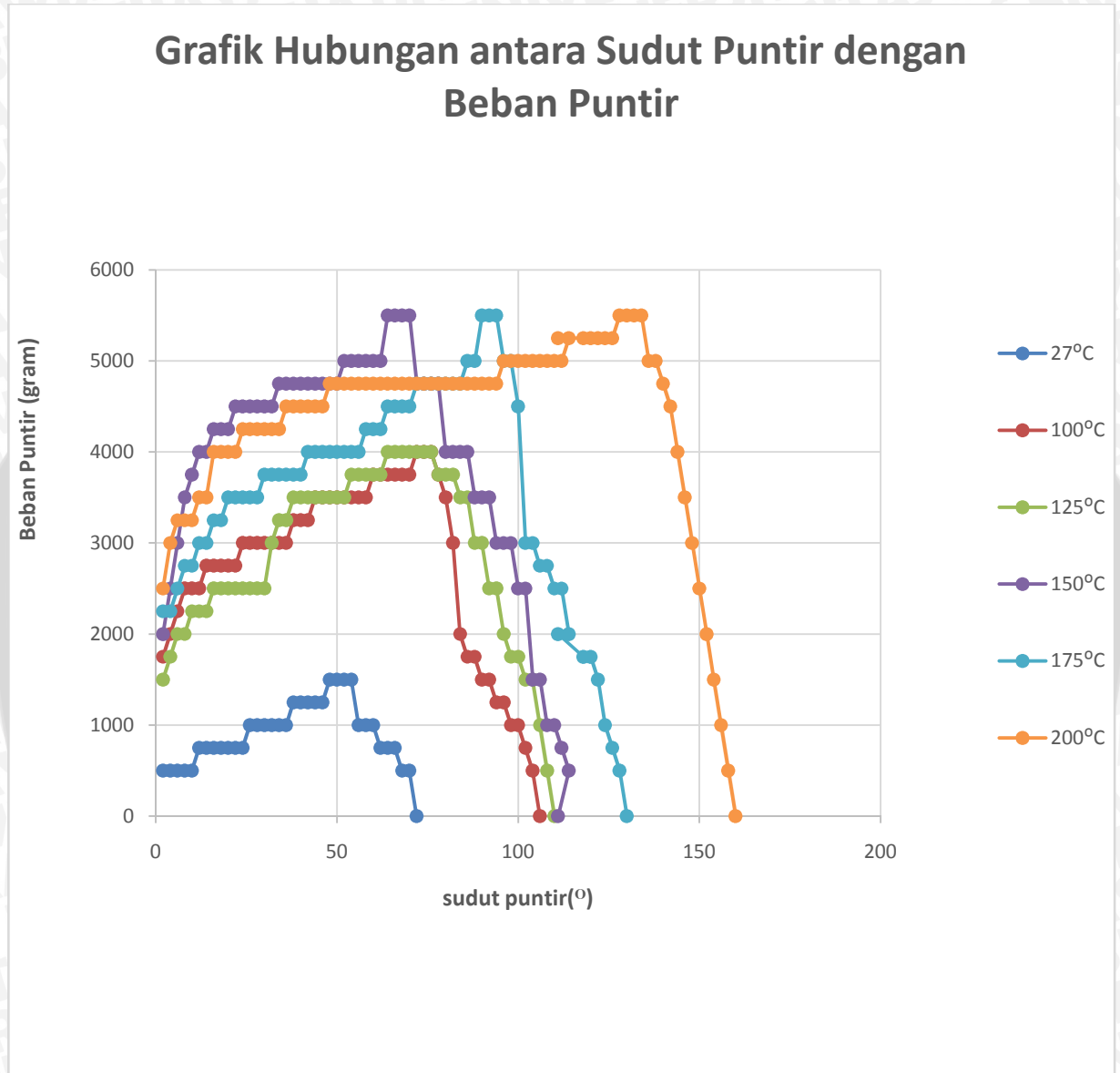
INSPECTION CERTIFICATE No 11.9585

EN 10204 - 3.1




Consigner		Quantity: 29								
Consignee		Net Weight, kg: 1422								
Contract number: V1283 S PO-KL M-01/170111 part 1		Specification No: V1283 Lot No: 1 Package No: 715210								
Article number:										
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 A6TMB206-07 This product conforms to European Union RoHS Directive 2002/95/EC								
0.000X1216.2X2438.4										
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	mm	ksi	mm	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	0.05	-	0.08	0.08	-
Element	Tin Sn	Antimony Sb	Plumbum Pb	Mn+Cr	Cu	Other Elements		Al		
						Each	Total	remainder		
Required	-	-	-	-	-	0.06	0.15	remainder		
Contents	-	-	-	-	-	0.06	0.15	remainder		
Other Tests										
Method	Macro-structure	Micro-structure	USI	Electro-conductivity	SCF	Contents H2 of metals cm ³ /100gr				
Result										

Lampiran 4. Grafik pengaruh suhu aging terhadap beban maksimal



Lampiran 5. Foto alat yang digunakan



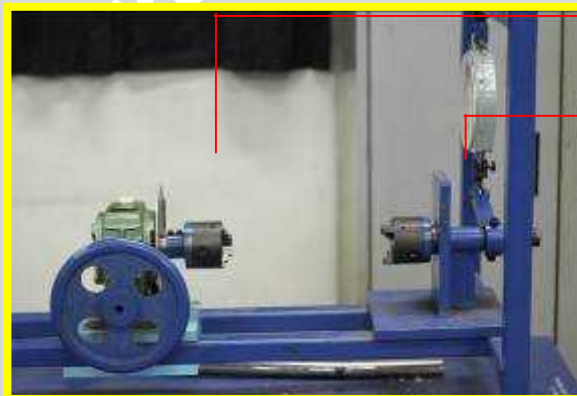
Squeeze Casting



Power Hacksaw



Alat Uji Porositas



Alat Uji Puntir



Infrared Thermometer



Ladel



Burner

Lampiran 6. Foto patahan benda kerja

- Suhu Aging 100°C



- Suhu Aging 125°C



- Suhu Aging 150°C



- Suhu Aging 175°C



- Suhu Aging 200°C

