

**PENGARUH TEKANAN *PLUNGER* PADA *DIRECT SQUEEZE CASTING*
TERHADAP POROSITAS DAN KEKUATAN PUNTIR SILINDER Al-Mg-Si**

**SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI**

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh :

**MAY VENDRA RIESA HADI PURNOMO
NIM. 0810620075-62**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

FAKULTAS TEKNIK

JURUSAN MESIN

MALANG

2013

LEMBAR PERSETUJUAN

**PENGARUH TEKANAN *PLUNGER* PADA *DIRECT SQUEEZE CASTING*
TERHADAP POROSITAS DAN KEKUATAN PUNTIR SILINDER Al-Mg-Si**

**SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI**



Disusun Oleh :

**MAY VENDRA RIESA HADI PURNOMO
NIM. 0810620075-62**

Telah diperiksa dan disetujui oleh

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

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

**Prof. Dr. Ir. Pratikto, MMT
NIP. 19461110 198103 1 001**

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH TEKANAN *PLUNGER* PADA *DIRECT SQUEEZE CASTING*
TERHADAP POROSITAS DAN KEKUATAN PUNTIR SILINDER Al-Mg-Si**

**SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh :

**MAY VENDRA RIESA HADI PURNOMO
NIM. 0810620075-62**

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
Tanggal 23 Januari 2013

DOSEN PENGUJI

Skripsi I

Skripsi II

**Lilis Yuliati, ST.,MT
NIP. 19750702 200003 2 001**

**Denny Widhiyanuriyawan, ST.,MT
NIP. 19750113 200012 1 001**

Komprehensif

**Djoko Sutikno, Ir.,M.Eng.
NIP. 19541009 198303 1 002**

Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Mesin

**Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT.
NIP. 19720903 199702 1 001**

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang senantiasa melimpahkan berkat dan rahmat-Nya sehingga penyusun dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Skripsi ini merupakan laporan akhir yang harus dipenuhi dalam mata kuliah Tugas Akhir pada Jurusan Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang. Untuk memenuhi syarat tersebut maka penyusun melakukan penelitian dengan judul **“Pengaruh Tekanan *Plunger* pada *Direct Squeeze Casting* Terhadap Porositas dan Kekuatan Puntir Silinder Al-Mg-Si”**.

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

- Bapak Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT., selaku Ketua Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- Bapak Dr. Eng. Anindito P, ST., M.Eng., selaku Sekretaris Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- Bapak Ir. Tjuk Oerbandono, M.Sc., CSE., selaku Ketua Konsentrasi Teknik Produksi Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- Bapak Dr. Eng. Yudy Surya Irawan, ST., M.Eng., selaku dosen pembimbing pertama dan dosen wali.
- Bapak Prof. Ir. Pratikto, MMT., selaku dosen pembimbing kedua.
- Bapak Gatot Siswanto, selaku Laboran Laboratorium Pengecoran Logam Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- Seluruh dosen, staf dan karyawan Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- Keluarga Besarku yang ada di Desa Sampang Agung, kec. Kutorejo, kab. Mojokerto.
- Ayah (Sumadi Hadi Purnomo), Ibu (Sudaryati), dan adikku (Chandra Andika H.P) serta seorang yang terkasih Rochma Mud Jayanah.
- Rekan-rekan Keluarga Besar Mahasiswa Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, khususnya Mesin angkatan 2008 (EMPEROR).
- Keluarga Besar Laboratorium Pengecoran Logam Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

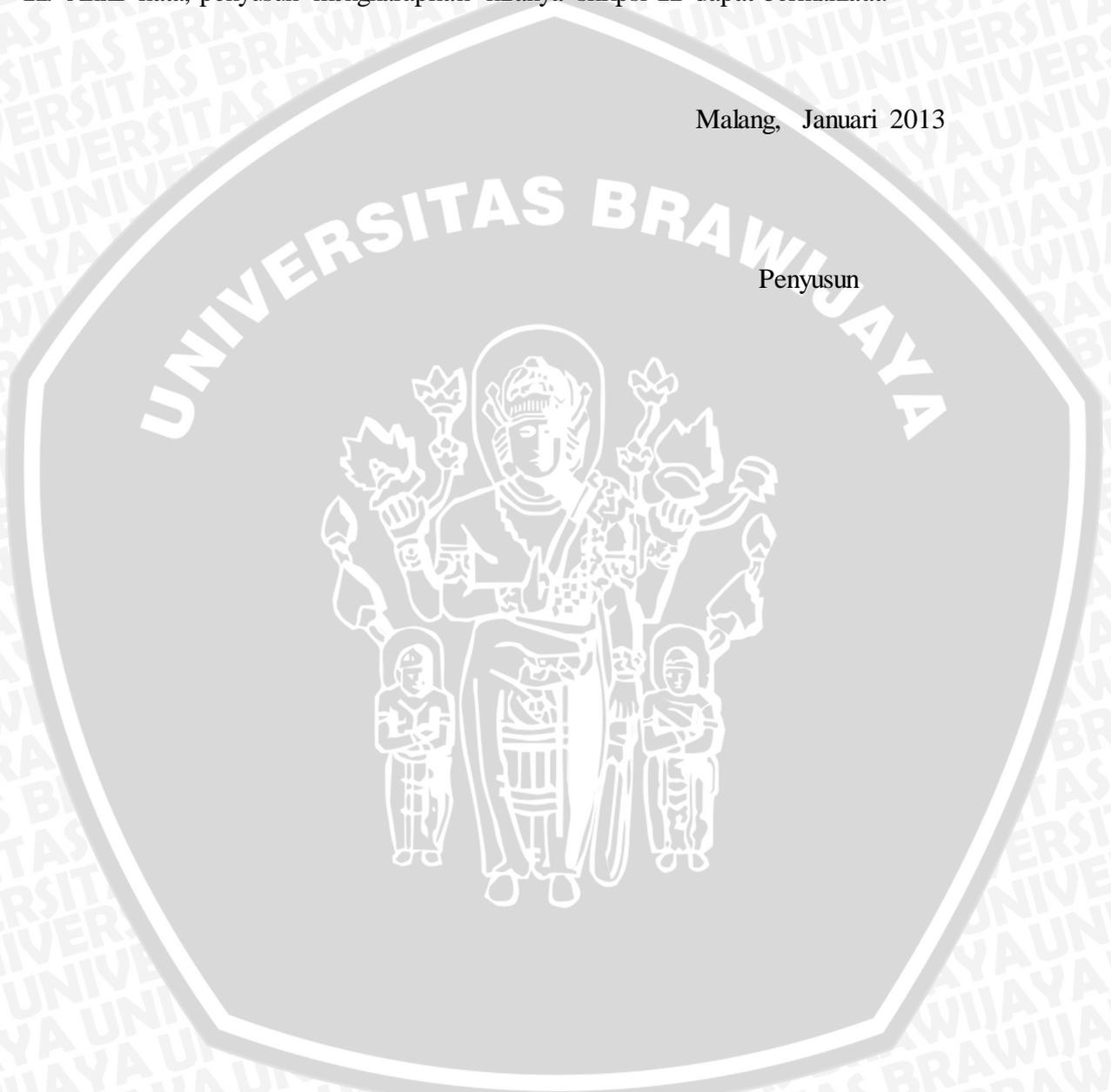
repository.ub.ac.id

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

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

Malang, Januari 2013

Penyusun



DAFTAR ISI

PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR LAMPIRAN	viii
RINGKASAN	ix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3. Batasan Masalah.....	2
1.4. Tujuan Penelitian.....	2
1.5. Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1. Penelitian Sebelumnya.....	4
2.2. Pengecoran Logam.....	4
2.2.1 Prinsip Kerja Pengecoran	4
2.2.2 Macam-macam Pengecoran Logam.....	5
2.2.3 Pengecoran <i>Squeeze (Squeeze Casting)</i>	6
2.2.4 Aplikasi Pengecoran <i>Squeeze</i>	7
2.3. Sifat-Sifat Logam Cair	8
2.3.1 Perbedaan logam cair dan Air	8
2.3.2 Fluiditas	9
2.4. Pembekuan Logam.....	10
2.5. Alumunium.....	13
2.5.1 Pengolahan Alumunium	13
2.5.2 Sifat-sifat Alumunium	13
2.5.3 Pengaruh Unsur-Unsur Paduan	14
2.5.4 Penggolongan Paduan Alumunium	15
2.5.1 Alumunium Paduan	16
2.6. Densitas	17
2.6.1 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 Jenis-Jenis Porositas pada Pengecoran Logam	20
2.7.3 Perhitungan Porositas	21
2.8. Pengujian Puntir (<i>Torsion Test</i>).....	21
2.9. Hipotesa	25
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	26
3.1. Metode Penelitian.....	26
3.2. Tempat dan Waktu Penelitian.....	26
3.3. Variabel Penelitian.....	26
3.4. Alat dan Bahan Penelitian.....	27
3.5. Prosedur Penelitian.....	28
3.5.1 Prosedur Pengecoran.....	28
3.5.2 Cara Kerja Alat <i>Squeeze Casting</i>	30
3.5.3 Prosedur Pengujian Porositas	31
3.5.4 Prosedur Pengujian Kekuatan Puntir	31
3.5.5 Prosedur Pengujian Mikrostruktur	32
3.6 Rancangan Penelitian.....	33
3.6.1 Rancangan Acak Lengkap untuk pengujian porositas.....	33
3.6.2 Rancangan Acak Lengkap untuk pengujian kekuatan puntir	35
3.7 Diagram Alir Penelitian	38
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	40
4.1. Data Hasil Pengujian	40
4.1.1 Data Hasil pengujian Kekuatan Puntir.....	40
4.1.2 Data Hasil pengujian Porositas.....	42
4.2. Analisis Statistik.....	43
4.2.1 Analisis Statistik Pengujian Porositas	43
4.2.2 Analisis Statistik Pengujian Kekuatan Puntir	46
4.3 Pembahasan.....	48
BAB V PENUTUP	52
5.1. Kesimpulan.....	52
5.2. Saran.....	52

DAFTAR PUSTAKA
LAMPIRAN



DAFTAR TABEL

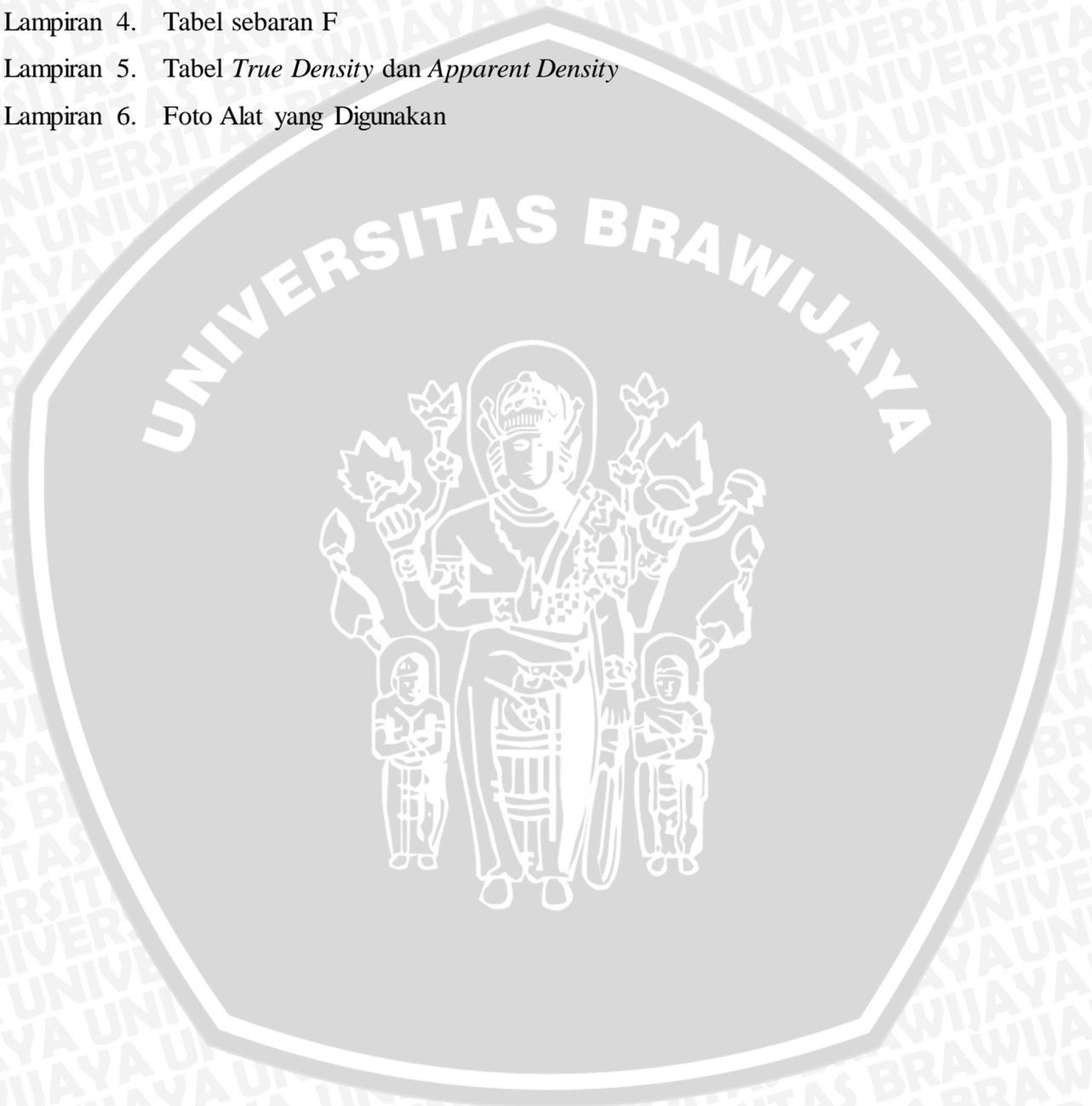
No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Koefisien Kekentalan dan tegangan permukaan dari logam	9
Tabel 2.2	Sifat-sifat Fisik Alumunium	13
Tabel 2.3	Klasifikasi paduan alumunium tempa	15
Tabel 2.4	Klasifikasi paduan alumunium cor	16
Tabel 3.1	Tabel pengamatan data RAL pengujian porositas	33
Tabel 3.2	<i>Analisis of Varian One Way Classification</i> untuk RAL Pengujian Porositas	35
Tabel 3.3	Tabel pengamatan data RAL pengujian puntir	36
Tabel 3.4	<i>Analisis of Varian One Way Classification</i> untuk RAL Pengujian Puntir	37
Tabel 4.1	Data Beban Ultimate Saat Pengujian Puntir	40
Tabel 4.2	Data Momen Puntir Maksimum Hasil Pengujian Puntir	41
Tabel 4.3	Data Hasil Pengujian Kekuatan Puntir	42
Tabel 4.4	Data Hasil Pengujian Porositas	42
Tabel 4.5	Data Prosentase Porositas Spesimen untuk RAL	44
Tabel 4.6	<i>Analisis of Varian One Way Classification</i> RAL untuk Porositas.	45
Tabel 4.7	Data Kekuatan Puntir Spesimen untuk RAL	46
Tabel 4.8	<i>Analisis of Varian One Way Classification</i> RAL untuk Kekuatan Puntir.	48

DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Mekanisme <i>Direct Squeeze Casting</i>	7
Gambar 2.2	Mekanisme <i>Indirect Squeeze Casting</i>	7
Gambar 2.3	Berbagai jenis part <i>ferrous</i> dan <i>non-ferrous</i> yang dibuat menggunakan pengecoran <i>Squeeze</i>	8
Gambar 2.4	Grafik hubungan antara fluiditas terhadap panas dari logam	10
Gambar 2.5	Ilustrasi skematis dari pembekuan logam	11
Gambar 2.6	Struktur <i>Chill</i> , <i>Columnar</i> , dan <i>Equiaxed Zone</i>	12
Gambar 2.7	Skema Piknometri	19
Gambar 2.8	Pengujian puntir pada benda uji silinder pejal	22
Gambar 2.9	Diagram momen puntir-sudut puntir	23
Gambar 2.10	Keadaan tegangan pada benda uji silinder pejal yang mengalami momen puntir.	24
Gambar 2.11	Jenis kegagalan material dalam pembebanan puntir	24
Gambar 3.1	Cetakan	29
Gambar 3.2	Instalasi <i>Squeeze Casting</i>	29
Gambar 3.3	Spesimen Uji Piknometri	31
Gambar 3.4	Spesimen Pengujian Puntir	32
Gambar 3.5	Mesin Uji Puntir	32
Gambar 3.6	Spesimen Uji Mikrostruktur	32
Gambar 3.7	Diagram Alir Penelitian	38
Gambar 4.1	Grafik Pengaruh Tekanan Plunger (MPa) terhadap Porositas (%)	49
Gambar 4.2	Grafik Pengaruh Tekanan plunger (MPa) Terhadap Kekuatan Puntir (MPa)	50
Gambar 4.3	Foto Mikro hasil coran <i>Squeeze casting</i>	51

DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul
Lampiran 1.	Foto Proses Penelitian
Lampiran 2.	Foto Benda Kerja
Lampiran 3.	Komposisi Paduan Aluminium 6061
Lampiran 4.	Tabel sebaran F
Lampiran 5.	Tabel <i>True Density</i> dan <i>Apparent Density</i>
Lampiran 6.	Foto Alat yang Digunakan



RINGKASAN

May Vendra Riesa Hadi Purnomo, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik
Universitas Brawijaya, Januari 2013, *Pengaruh Tekanan Plunger Pada Squeeze Casting*

terhadap Porositas dan Kekuatan Puntir Silinder Al-Mg-Si, Dosen Pembimbing: Yudy Surya Irawan dan Pratikto.

Sekarang sudah banyak dikenal bermacam-macam metode pengecoran logam salah satunya adalah *squeeze casting*. Berdasarkan mekanisme pengisian logam cair ke dalam cetakan, *squeeze casting* diklasifikasikan menjadi 2, yaitu: DSC (*Direct Squeeze Casting*) merupakan proses pengecoran dimana logam cair langsung dituang ke cetakan dan diberi tekanan dan ISC (*Indirect Squeeze Casting*) merupakan proses pengecoran dimana logam cair tidak langsung dituang melainkan dibantu dengan piston untuk masuk ke cetakkannya.

Dalam penelitian ini dibahas tentang pengaruh tekanan *plunger* dengan variasi 0,1 MPa, 10 MPa, 30 MPa, dan 50 MPa terhadap cacat porositas dan kekuatan puntir hasil coran yang berbentuk silinder dengan bahan aluminium paduan Al-Mg-Si. Setelah dilakukannya penelitian ini didapatkan hasil berupa pengaruh tekanan *plunger* yang berbanding terbalik terhadap prosentase porositas sedangkan terhadap kekuatan puntir akan berbanding lurus.

Semakin menurunnya prosentase porositas dikarenakan seiring dengan meningkatnya tekanan *plunger* maka logam cair akan terdorong dan cepat mengisi saluran *interdendritic* sehingga struktur butiran akan semakin padat. Hal ini dapat dilihat dari nilai prosentase porositas rata-rata yang semakin menurun seiring meningkatnya tekanan yaitu, 1,70%; 1,36%; 0,96%; 0,45%. Menurunnya porositas juga dapat dilihat dari struktur butiran yang dihasilkan yaitu semakin kecil dan rapat yang tercantum pada hasil foto mikro. Hal ini menyebabkan hasil coran yang dihasilkan akan semakin padat sehingga nilai kekuatan puntir juga akan semakin tinggi. Nilai kekuatan puntir rata-rata yang dihasilkan adalah 89,68 MPa, 119,57 MPa, 155,44 MPa, dan 173,37 MPa.

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.

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

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

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, pemanjangan. Selain itu, daya tahan korosi terhadap uap air cukup tinggi. Oleh karena itu paduan Al-Mg-Si yang akan digunakan dalam penelitian ini. (Surdia dan Kenji, 1996).

Dalam penelitian ini produk yang dihasilkan berupa silinder dengan menganalisa pengaruh tekanan *plunger* pada *direct squeeze casting* agar diperoleh produk yang memiliki kualitas baik. Proses pemadatan logam cair dilaksanakan di dalam cetakan yang ditekan dengan tenaga hidrolis. Penekanan logam cair oleh *plunger* akan menghasilkan perpindahan panas yang cepat dan menghasilkan penurunan porositas. Hal ini disebabkan karena semakin besar tekanan *plunger* maka gaya pendorong untuk mendorong logam cair semakin besar sehingga dapat menyebabkan udara lebih cepat keluar sebelum logam cair membeku (Firdaus, 2002). Semakin berkurangnya porositas juga akan mengakibatkan semakin padatnya struktur butiran yang dihasilkan pada coran sehingga kekuatan puntirnya akan meningkat. Jadi tekanan *plunger* akan berbanding terbalik dengan porositas tetapi sebanding dengan kekuatan puntir.

Dari beberapa hasil penelitian tentang *direct squeeze casting* masih belum diketahui pengaruh tekanan *plunger* terhadap kekuatan puntir. Oleh karena itu dalam penelitian ini akan dicari tentang bagaimana pengaruh tekanan *plunger* pada *direct squeeze casting* yang dapat mengurangi porositas dan menghasilkan kekuatan puntir yang baik pada paduan Al-Mg-Si.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, pokok permasalahan dalam skripsi ini adalah: “Bagaimana pengaruh tekanan *plunger* pada *direct squeeze casting* terhadap porositas dan kekuatan puntir silinder berbahan paduan Al-Mg-Si?”

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bahan yang akan digunakan adalah paduan Al-Mg-Si yang bersifat homogen.
2. Sistem pengecoran yang digunakan adalah *direct squeeze casting*.
3. Waktu penuangan dijaga konstan pada 4 detik.

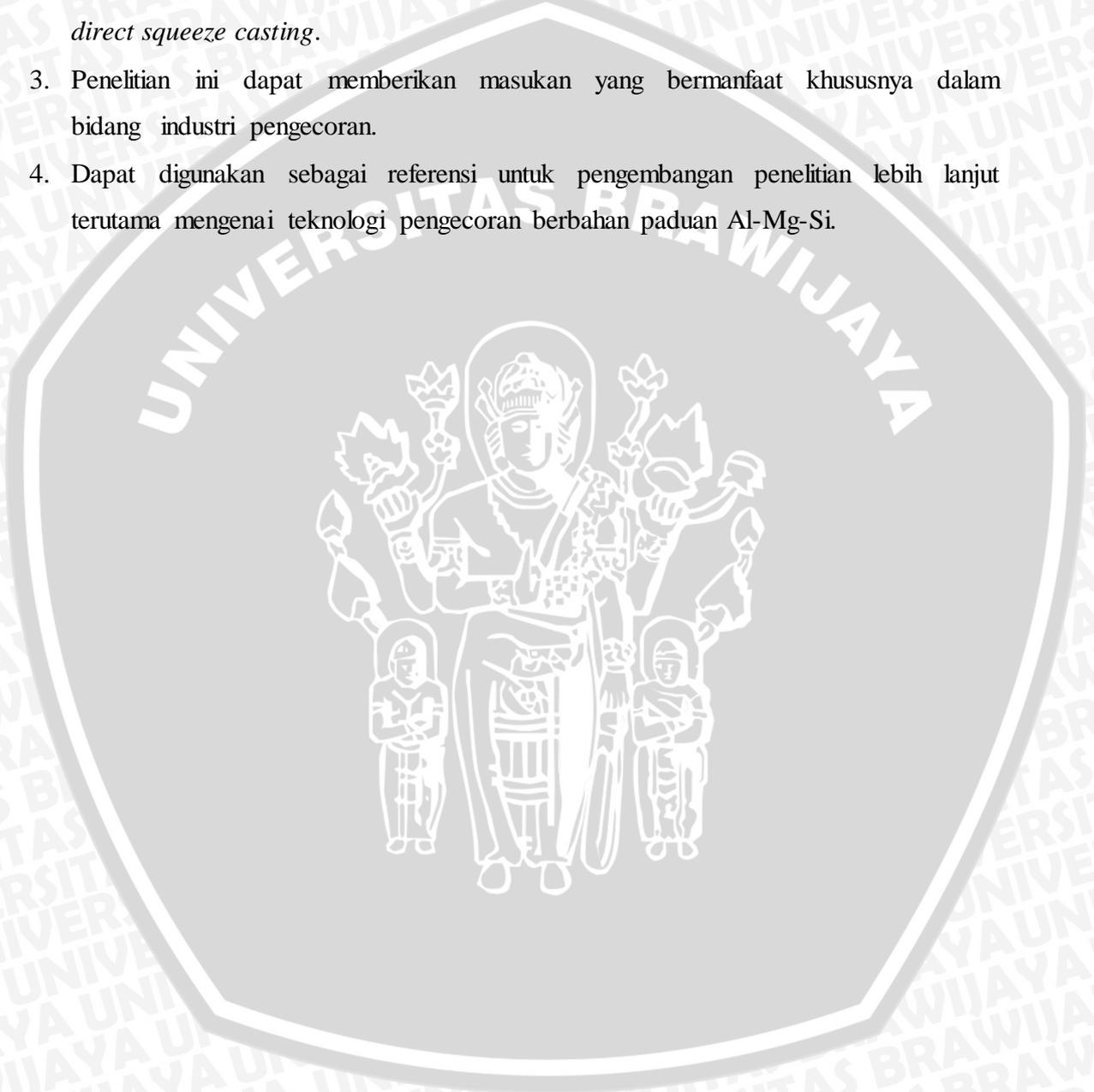
1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh tekanan *plunger* pada *direct squeeze casting* terhadap porositas dan kekuatan puntir silinder berbahan paduan Al-Mg-Si.

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 tekanan *plunger* pada *direct 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

Firdaus (2002) melakukan penelitian dengan tekanan dan temperature *die* pada *squeeze casting* yang divariasikan dan terbukti mampu mengurangi porositas gas dan penyusutan pada material produk *flens* motor sungai yang berasal dari material Al-13,5%Si dari 6,53% menjadi 0,79%. Dalam penelitian ini belum dilakukan penelitian tentang kekuatan puntir.

Duskiardi dan Tjitro (2002) melakukan penelitian yang menghasilkan produk *squeeze casting* dengan variasi tekanan dan temperatur *die* dan menghasilkan kekerasan produk yang mengalami peningkatan sebesar 5,29% setelah dilakukan perlakuan panas dengan T6. Dalam penelitian ini belum dilakukan penelitian tentang kekuatan puntir dan porositas.

Zhang, et al. (2007) melakukan penelitian tentang pengaruh tekanan pada *squeeze casting* dengan bahan Al-Cu dan didapatkan hasil bahwa dengan penekanan sebesar 75 Mpa, kekuatan tarik dan *elongation* yang dihasilkan sebesar 520 Mpa dan 7,9 %, yang diikuti dengan proses *solution treatment* dengan suhu 763 K selama 1 jam dan suhu 773 K selama 8 jam, lalu di-*quenching* dengan air pada suhu normal dan terakhir di-*aging* dengan suhu 463 K selama 5 jam. Dalam penelitian ini belum dilakukan penelitian tentang kekuatan puntir dan bahan yang digunakan bukan Al-Mg-Si.

2.2 Pengecoran Logam

2.2.1 Prinsip Kerja Pengecoran

Definisi pengecoran (*casting*) adalah salah satu teknik pembuatan produk dimana logam dicairkan dalam tungku peleburan kemudian di tuangkan kedalam rongga cetakan 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.
- Mampu membuat bentuk yang kompleks, baik di bagian luar maupun bagian dalam sehingga banyak proses yang dapat diminimalisir.
- Mampu membuat benda dengan ukuran yang sangat besar dan berat.
- Sifat-sifat mekanik yang jauh lebih baik mampu dihasilkan dengan proses pengecoran.

2.2.2 Macam-Macam Pengecoran Logam

A. Berdasarkan umur cetakan dibagi menjadi 2 macam yaitu:

1. *Permanent mold casting*

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

2. *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.

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

4. *Shell Mould Casting*

Dalam hal 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*

Adalah suatu 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.

2.2.3 Pengecoran *Squeeze (Squeeze Casting)*

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

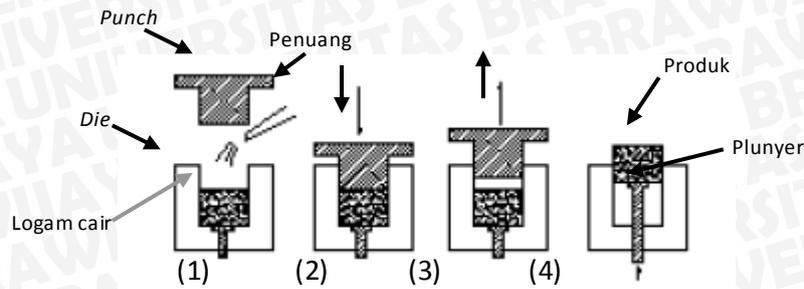
Pengecoran *squeeze* sering disebut juga penempaan logam cair (*liquid metal forging*). Proses pemadatan logam cair dilaksanakan di dalam cetakan yang ditekan dengan tenaga hidrolis. Penekanan logam cair oleh permukaan cetakan akan menghasilkan perpindahan panas dan menghasilkan penurunan porositas seperti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

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*)**

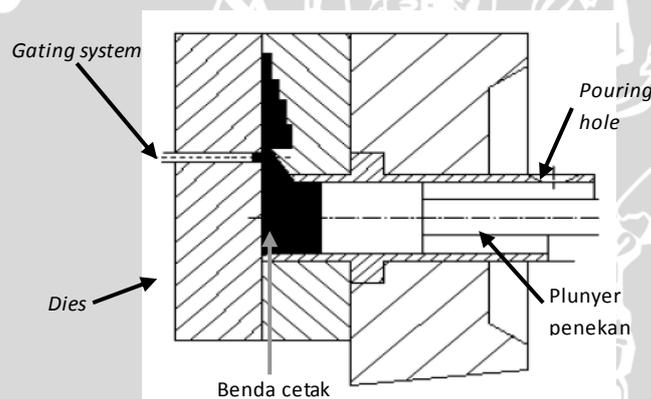
DSC merupakan istilah yang diberikan untuk proses pengecoran dimana logam cair didinginkan melalui pemberian tekanan secara langsung yang diharapkan mampu mencegah munculnya porositas gas dan penyusutan.



Gambar 2.1 Mekanisme *Direct Squeeze Casting*
 Sumber : Tjitro. 2001: 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. 2001: 110.

2.2.4 Aplikasi Pengecoran *Squeeze*

Proses pengecoran *squeeze* telah dipergunakan untuk sejumlah aplikasi menggunakan berbagai macam jenis logam dan paduan. Beberapa *part* ditunjukkan dalam Gambar 2.3 meliputi *aluminium dome*, *ductile iron mortar shell*, dan *steel bevel gear*. Part-part lain yang telah dan sedang dicor dengan metode *squeeze* meliputi *stainless steel blades*, *superalloy disks*, *aluminum automotive wheels* dan piston, dan *gear blanks* yang terbuat dari *brass* dan *bronze*.



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

Sumber : *ASM Handbook Vol. 15 Casting*. 1998: 718.

2.2 Sifat-sifat Logam Cair

2.3.1 Perbedaan Logam Cair dan Air

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

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.

Lalu hal lain yang terkait perbedaan antara logam cair dengan air yaitu air menyebabkan permukaan dinding wadah menjadi basah, sedangkan logam cair tidak. Oleh karena itu kalau logam cair mengalir di atas permukaan cetakan pasir, dan ia tidak meresap ke dalam pasir asalkan jarak antara partikel-partikel pasir cukup kecil. Perbedaan-perbedaan tersebut membuat aliran logam cair pada pengecoran berbeda sampai tingkat tertentu apabila dibandingkan dengan aliran air.

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

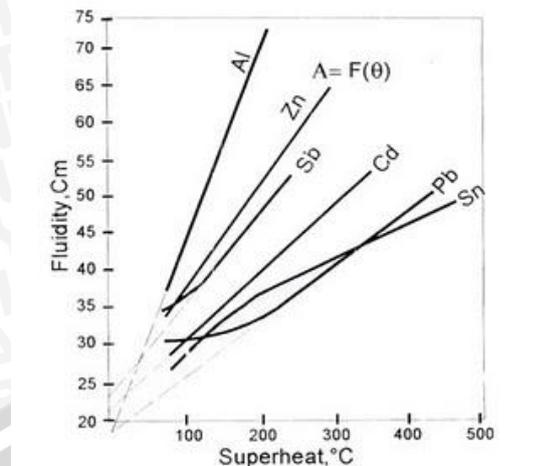
Tabel 2.1 Koefisien Kekentalan dan Tegangan Permukaan Dari Logam

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

Sumber : Surdia dan Kenji. 1996 : 12.

2.3.2 Fluiditas

Dalam teknik pengecoran logam, fluiditas tidak diartikan sebagai kebalikan dari viskositas, akan tetapi berarti kemampuan logam cair untuk mengisi ruang-ruang dalam rongga cetak. Fluiditas tidak dapat dikaitkan 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 (dalam hal ini 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 range temperatur tertentu (terutama logam paduan) dapat terjadi solidifikasi sebagian sehingga menurunkan fluiditasnya. Selain itu komposisi logam juga menentukan *heat of fusion* (kalor laten), yaitu panas yang dibutuhkan logam untuk mencair seluruhnya. Tingginya kalor laten ini akan meningkatkan fluiditas logam cair. Disini dapat dilihat pada Gambar 2.4 berikut ini.



Gambar 2.4: Grafik Hubungan antara Fluiditas Terhadap Panas dari Logam
Sumber : Vai, 2009.

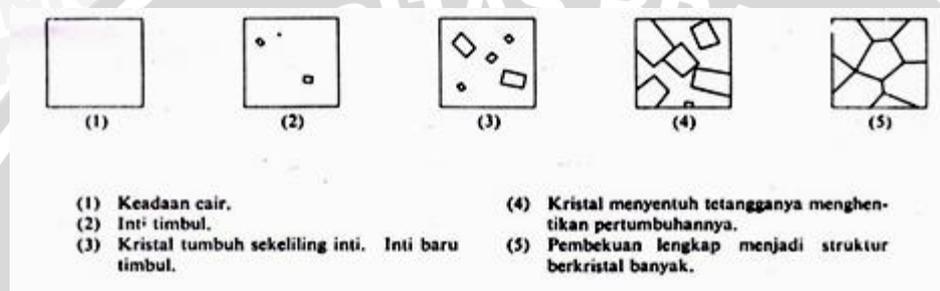
2.3 Pembekuan Logam

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

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

menimbulkan butiran-butiran yang kecil. Perbedaan ukuran butir menyebabkan perbedaan sifat mekanik.

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



Gambar 2.5: Ilustrasi Skematis Dari Pembekuan Logam
 Sumber: Surdia dan Kenji, 1996 : 14.

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

- Daerah pembekuan cepat (*chill zone*)

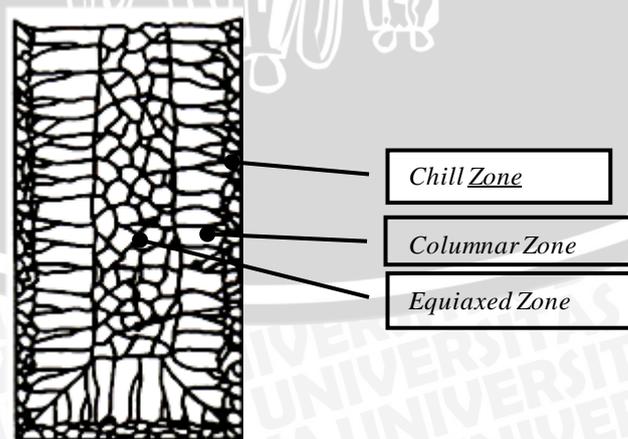
Selama proses penuangan logam cair kedalam cetakan, logam cair yang berkontak langsung dengan dinding cetakan akan mengalami pendinginan yang cepat dibawah temperatur likuidusnya. Daerah ini berada paling luar yang dipengaruhi oleh *heat removal*. Dalam hal ini struktur terbentuk saat kontak pertama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

- *Columnar zone*

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

- *Equiaxed zone*

Terdiri dari butir-butir equiaxial yang tumbuh secara acak ditengah-tengah *ingot*. Dalam hal ini dipengaruhi oleh perbedaan temperatur yang ada dan tidak menyebabkan terjadinya pertumbuhan butir memanjang. Struktur ini terdiri dari butiran bersumbu sama memiliki arah yang acak. Penyebab butiran ini adalah mencairnya kembali lengan dendrit bila suhu disekitar masih tinggi, setelah cabang dendrit tersebut terlepas dari induknya dan tumbuh menjadi dendrit yang baru. Hal ini ditunjukkan pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6: Struktur *Chill*, *Columnar*, dan *Equiaxed Zone*
Sumber: Kalpakjian. 1990 : 279.

2.4 Aluminium

2.5.1 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 Kenji, 1996 : 129). Keutamaan dari aluminium dalam bidang teknik adalah sifatnya yang unik dan menarik, yaitu mudah untuk pengerjaan lanjutan, beratnya yang ringan, konduktivitas listrik dan panas baik (De Garmo, 1990).

2.5.2 Sifat-sifat Aluminium

Aluminium mempunyai beberapa sifat fisik yang ditunjukkan pada Tabel 2.2 :

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 (°C)	660,2	653 – 657
Panas jenis (Cal/g.°C) (100°C)	0,2226	0,2297
Hantaran listrik (%)	64,91	59 (dianil)
Tahanan listrik koefisien temperatur (/ °C)	0,00429	0,0115
Koefisien pemuaian (M / °C) (20-100°C)	23,86 × 10 ⁻⁶	23,5 × 10 ⁻⁶
Jenis kristal, Konstanta kisi	Fcc, α = 4,013 kX	Fcc, α = 4,04 Kx

Sumber: Surdia dan Kenji, 1996: 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*.

2.5.3 Pengaruh Unsur-Unsur Paduan

Unsur-unsur pepaduan 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.

2.5.4 Penggolongan Paduan Aluminium

Paduan Al diklasifikasikan dalam berbagai standar oleh negara didunia. saat ini klasifikasi yang terkenal adalah *standart aluminium association* di Amerika (AA) yang berdasar pada Alcoa (*Aluminium Company of America*).

Paduan aluminium berdasar pemuaduanya dibagi menjadi dua yaitu :

1. Paduan aluminium tempa (*Wrought alloy*)

Dibuat dengan jalan *rolling, forming* (paduan tempa), *drawing, forging*, dan *press working* . Berupa barang setengah jadi misalnya batang, plat, dll. Paduan ini dapat diklasifikasikan berdasarkan komposisi kimianya seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Klasifikasi Paduan Aluminium Tempa

Standart AA (seri xxxx)	Standart Alcoa Terdahulu	Keterangan
1xxx(1001)	1S	Al murni 99.5% atau lebih
2xxx(1100)	2S	Al murni 99.0% atau lebih
2xxx(2010-2029)	10S-29S	Copper (Cu)
3xxx(3003-3009)	3S-9S	Manganese (Mn)
4xxx(4030-4039)	30S-39S	Silicon (Si)
5xxx(5050-5086)	50S-86S	Magnesium (Mg)
6xxx(6061-6069)	61S-69S	Magnesium dan silicon (Mg2Si)
7xxx(7070-7079)	70S-79S	Zinc (Zn)

Sumber : Surdia dan Kenji. 1996 : 134.

2. Paduan aluminium cor (*Casting- Aluminium Alloy*)

Dibuat berdasarkan pengecoran (paduan tuang). Paduan ini merupakan paduan yang kompleks dari Al dengan Cu, Ni, Fe, Si, dan unsur lainnya seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Klasifikasi Paduan Aluminium Coran

Unsur Utama paduan	Seri
Aluminium, 99% atau lebih	1xx.x
Tembaga	2xx.x
Silikon dengan Cu dan/atau Mg	3xx.x
Silikon	4xx.x
Magnesium	5xx.x
Magnesium dan Silikon	6xx.x
Seng	7xx.x
Elemen lain	8xx.x

Sumber : De Garmo. 1990: 176.

2.5.5 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. 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).

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, 1990).

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.

2.6 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.

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

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 sebagaimana berikut ini:

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

dengan :

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

➤ Apparent Density

Apparent density atau densitas sampel adalah berat setiap unit volum material termasuk cacat (*void*) yang terdapat dalam material yang di uji (gr/cm³). Standar ASTM B311-93 sebagaimana berikut ini:

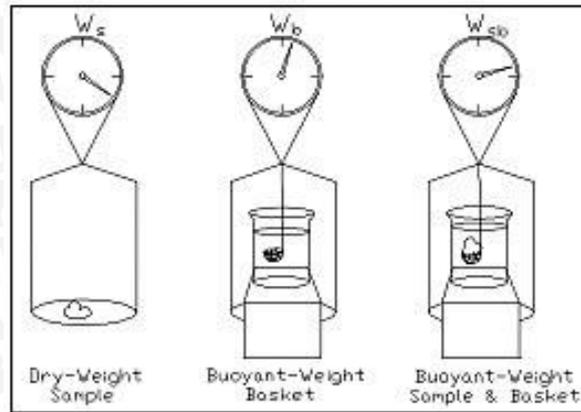
$$\rho_s = \rho_w \frac{W_s}{W_s - (W_{sb} - W_b)} \quad (2-3)$$

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)

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 2.7.



Gambar 2.7: Skema Piknometri
Sumber: Taylor, et al. 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.

2.7 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 ialah :

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

- Uap air dalam udara.
- Permeabilitas cetakan.
- Uap air yang terkandung dalam cetakan
- Sumber-sumber gas yang terkandung dalam cetakan
- Bentuk saluran penuangan ataupun kecepatan penuangan

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

2.7.2 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).

➤ *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.

2.7.3 Perhitungan Porositas

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

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

dengan:

$\%P$ = Prosentasi porositas (%).

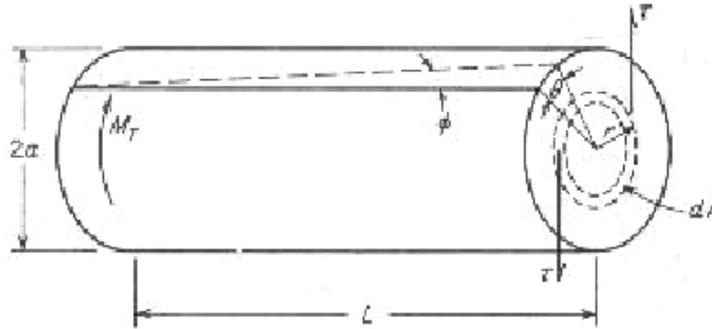
ρ_s = *Apparent Density* (gr/cm³).

ρ_{th} = *True Density* (gr/cm³).

2.8 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 2.8 di bawah ini memberikan ilustrasi deformasi pada benda uji puntir:



Gambar 2.8 Pengujian Puntir pada Benda Uji Silinder Pejal.
 Sumber: Dieter. 1988: 339.

Momen luar yang ditimbulkan pada salah 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:

$$M_T = \int_{r=0}^{r=a} \tau r dA = \frac{\tau}{r} \int_0^a r^2 dA \tag{2-5}$$

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

Sehingga;

$$M_T = \frac{\tau J}{r} \tag{2-6}$$

Dan

$$\tau = \frac{M_T r}{J} \tag{2-7}$$

dimana τ adalah tegangan geser (N/mm^2), M_T momen puntir (N.mm), r jarak radial dari pusat (mm) dan J momen inersia polar yang tergantung geometris benda (mm^4).

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

$$\tau_{\max} = \frac{M_T D/2}{\pi D^4/32} = \frac{16M_T}{\pi D^3} \tag{2-8}$$



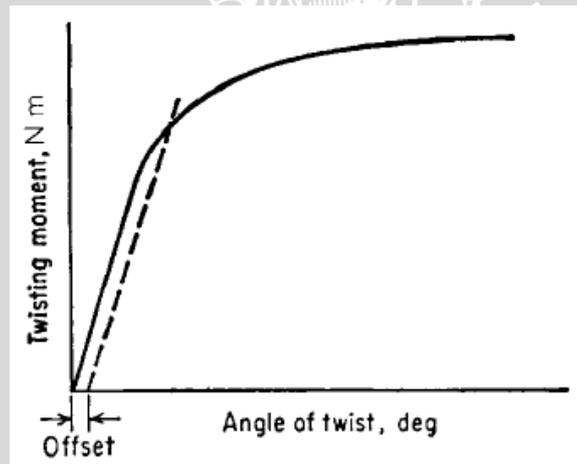
Sementara benda uji silinder tubular $J = \pi/32(D_0^4 - D_i^4)$ dengan D_0 diameter luar dan D_i diameter dalam, tegangan geser maksimum adalah:

$$\tau_{\max} = \frac{16M_T D_0}{\pi(D_0^4 - D_i^4)} \quad (2-9)$$

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

$$\gamma = \tan \phi = \frac{r\theta}{L} \quad (2-10)$$

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 2.9 berikut:



Gambar 2.9 Grafik Pengaruh Sudut Puntir terhadap Momen Torsi.
Sumber: Dieter. 1988: 340.

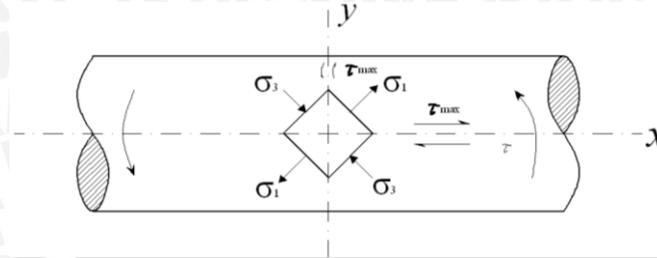
Pada daerah elastis, sebagaimana halnya hukum *Hooke* pada uji tarik, maka tegangan geser dapat dianggap proporsional dengan regangan gesernya. Konstanta proporsionalitas dalam hal ini adalah modulus kekakuan/ elastisitas dalam geseran, G menghasilkan persamaan:

$$\tau = G\gamma \quad (2-11)$$

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.

$$G = \frac{M_T L}{J\theta} \quad (2-12)$$

Keadaan tegangan internal yang terjadi pada suatu titik pada permukaan benda uji puntir pejal ditunjukkan oleh Gambar 2.10 berikut:



Gambar 2.10 Keadaan Tegangan pada Benda Uji Silinder Pejal yang Mengalami Momen Puntir.

Sumber: Dieter. 1988: 343.

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 2.11a.



Gambar 2.11 Jenis Kegagalan Material dalam Pembebanan Puntir:

- (a) Kegagalan Ulet Akibat Mode Geser.
- (b) Kegagalan Getas Akibat Mode Tarik.

Sumber: Dieter. 1988: 343.

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 2.11b. 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)

2.9 Hipotesa

Tekanan *plunger* sangat berpengaruh pada hasil coran. Karena dengan bertambahnya tekanan *plunger* maka tekanan pada logam cair akan diteruskan ke udara yang terjebak yang bersifat *compressible* sehingga volume udara akan mengecil dan porositasnya pun akan semakin berkurang. Semakin berkurangnya porositas juga akan mengakibatkan semakin padatnya coran yang dihasilkan sehingga kekuatan puntir juga semakin tinggi. Jadi, tekanan *plunger* akan berbanding lurus dengan kekuatan puntir tetapi berbanding terbalik dengan cacat porositas.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Tujuan dari penelitian yang dilakukan adalah untuk mengetahui pengaruh tekanan *plunger* pada *direct 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.

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Tempat yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- Laboratorium Pengecoran Logam, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Brawijaya untuk proses pengecoran dan pengujian porositas pada bulan Mei - September.
- Laboratorium Metalurgi Fisik, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Brawijaya untuk proses pengujian mikrostruktur pada bulan November.
- Laboratorium Pengujian Bahan, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Malang untuk proses pengujian puntir pada bulan November.

3.3 Variabel Penelitian

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

1. Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang besarnya ditentukan sebelum penelitian.

Variabel bebas yang digunakan adalah:

Tekanan *plunger* 0.1 MPa, 10 MPa, 30 MPa, 50 MPa.

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 : 800 °C
- Waktu Penekanan : 5 menit
- Temperatur Cetakan : 150 °C
- Kecepatan Pemutaran pada Pengujian Puntir : 10 mm/menit

3.4 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 *direct squeeze casting* dan mengambil gambar hasil coran.

9. Timbangan digital

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

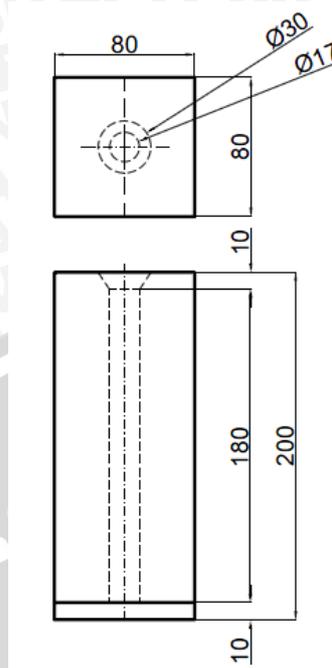
Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah aluminium paduan Al-Mg-Si.

3.5 Prosedur Penelitian

3.5.1 Prosedur Pengecoran

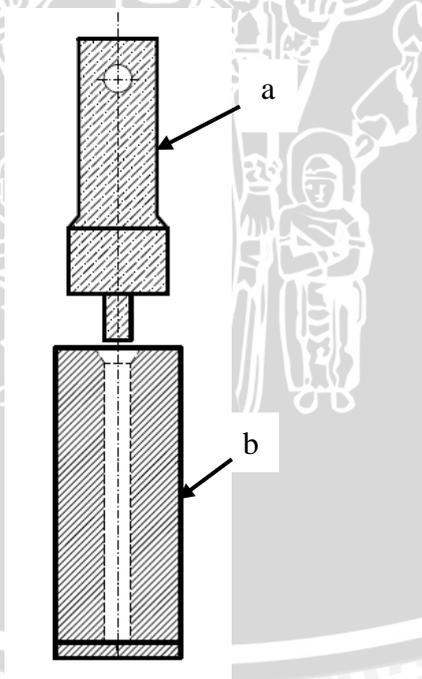
Langkah- langkah pengerjaan dalam penelitian ini adalah:

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



Gambar 3.1 : Cetakan (satuan : mm)

- Gambar instalasi *direct squeeze casting* ditunjukkan pada Gambar 3.2



Gambar 3.2 Instalasi *Direct Squeeze Casting*

- Plunger
- Cetakan

3. Peleburan Al-Mg-Si sampai temperatur $\pm 800^{\circ}\text{C}$

4. Menghitung tekanan *plunger* 0,1 ; 10 ; 30 dan 50 MPa menjadi tekanan pada *hydraulic*.
5. Penuangan logam cair ke dalam cetakan logam yaitu sebagai berikut:
 - Pengecoran pertama dilakukan dengan menuangkan logam cair ke dalam cetakan dengan variasi tekanan *plunger* 0,1 MPa. Selanjutnya dilakukan pembongkaran cetakan.
 - Pengecoran kedua dilakukan dengan menuangkan logam cair ke dalam cetakan dengan variasi tekanan *plunger* 10 MPa. Selanjutnya dilakukan pembongkaran cetakan.
 - Pengecoran ketiga dilakukan dengan menuangkan logam cair ke dalam cetakan dengan variasi tekanan *plunger* 30 MPa. Selanjutnya dilakukan pembongkaran cetakan.
 - Pengecoran ketiga dilakukan dengan menuangkan logam cair ke dalam cetakan dengan variasi tekanan *plunger* 50 MPa. Selanjutnya dilakukan pembongkaran cetakan.

3.5.2 Cara Kerja Alat *Squeeze Casting*

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

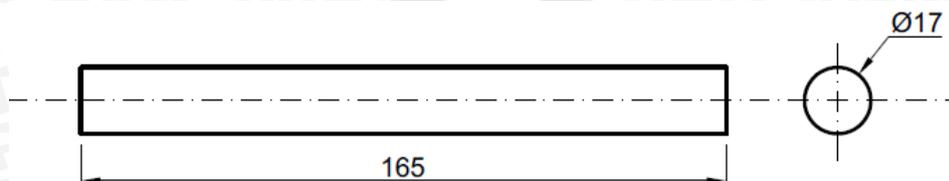
1. Memanaskan Al-Mg-Si hingga mencair dengan suhu 800°C pada dapur listrik.
2. Cetakan logam dipasang ke dalam alat *direct squeeze casting*.
3. Cetakan logam dipanaskan hingga suhu 150°C kemudian cek dengan *infrared thermometer* pada semua titik cetakan.
4. Matikan alat pemanas (*burner*) kemudian tuang logam cair ke dalam saluran masuk dari alat *direct squeeze casting* secukupnya.
5. Menekan hidrolik silinder menggunakan motor listrik hingga mencapai tekanan yang diinginkan sampai logam cair turun ke bawah dan mengisi seluruh cetakan. (variasi pertama tekanan *plunger* sebesar 0,1 MPa)
6. Membuka cetakannya dan lepas benda kerja secara perlahan setelah temperatur pada logam cair sudah turun.
7. Mengulangi langkah 1-6 dengan variasi tekanan *plunger* sebesar 10, 30 dan 50 MPa.

3.5.3 Prosedur pengujian porositas

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

a. Pengujian porositas.

1. Mengambil benda kerja hasil coran dan dilakukan pemotongan, seperti Gambar 3.



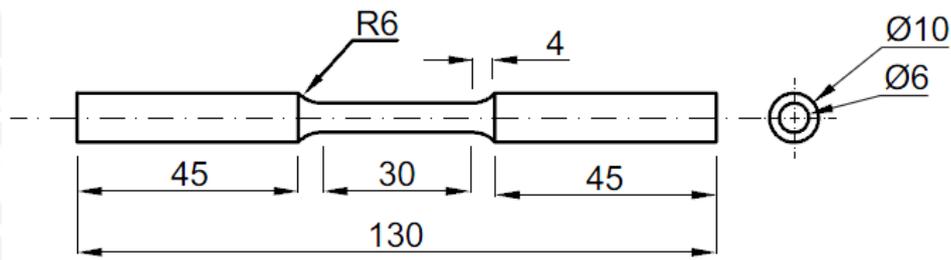
Gambar 3.3 Spesimen Uji Piknometri

2. Pengambilan data uji porositas menggunakan metode piknometri.
3. Pengolahan data hasil pengujian. Melakukan pengulangan langkah 1 sampai 4 untuk spesimen dengan variasi tekanan *plunger* 0,1 ; 10; 30; 50 MPa.
4. Melakukan analisa dan pembahasan dari data-data yang diperoleh.
5. Selesai.

3.5.4 Prosedur Pengujian Kekuatan Puntir

Dalam penelitian ini dilakukan pengujian kekuatan puntir dengan spesifikasi mesin dan bentuk spesimen seperti ditunjukkan Gambar 3.4 dan Gambar 3.5.

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. Pastikan pengencangan yang dilakukan tidak terlalu rapat dan gunakan alat bantu bila perlu.
6. Putarlah grip pemegang sehingga torsometer berputar ke arah yang sesuai sehingga dapat mengetahui besarnya beban tiap perubahan sudut yang terjadi.
7. Amati dan catat beban pada penambahan sudut puntir tiap 10° hingga benda uji putus.



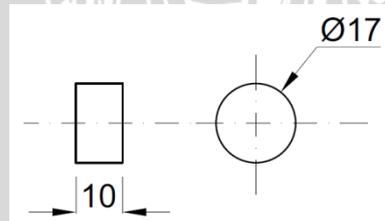
Gambar 3.4 Spesimen Pengujian Puntir.
Sumber: ASTM E-143



Gambar 3.5 Mesin Uji Puntir.
Sumber: Simamora. 2011.

3.5.5 Prosedur Pengujian Mikrostruktur

1. Pemotongan dan pembuatan spesimen uji, seperti ditunjukkan Gambar 3.6



Gambar 3.6 Spesimen Uji Mikrostruktur

2. Penghalusan permukaan spesimen uji menggunakan kertas gosok dengan nomor 150, 1200 dan terakhir olesi dengan Autosol.
3. Pengetsaan dilakukan dengan pemberian larutan *Hydroflouric Acid* (HF), ditahan selama 1 menit.

4. Pencucian spesimen.
5. Dilakukan pemeriksaan dengan kamera, kemudian hasilnya disimpan dalam file berformat jpg.

3.6 Rancangan Penelitian

3.6.1 RAL (Rancangan Acak Lengkap) Untuk Pengujian Porositas

Dari data yang telah didapat kemudian diuji secara statistik menggunakan rancangan acak lengkap (RAL) tentang pengaruh variabel bebas (tekanan *plunger* 0,1 MPa, 10 MPa, 30 MPa, dan 50 MPa) terhadap variabel terikatnya (porositas).

Harga variabel terikat dianggap sebagai μ_1 , μ_2 , dan μ_3 , μ_4 . Maka hipotesis penelitian dapat ditulis sebagai berikut:

$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4$ (tidak ada pengaruh nyata tekanan *plunger* terhadap porositas dari aluminium Al-Mg-Si coran hasil proses *direct squeeze casting*).

$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4$ (ada pengaruh nyata tekanan *plunger* terhadap porositas dari aluminium Al-Mg-Si coran hasil proses *direct squeeze casting*).

Hasil pengamatan dapat dilihat pada rencana Tabel 3.1 dibawah ini:

Tabel 3.1 Tabel Pengamatan Data RAL Pengujian Porositas

Pengulangan	Tekanan <i>Plunger</i> (MPa)			
	0.1	10	30	50
1	Y_{11}	Y_{12}	Y_{13}	Y_{14}
2	Y_{21}	Y_{22}	Y_{23}	Y_{24}
3	Y_{31}	Y_{32}	Y_{33}	Y_{34}
Jumlah	$\sum_{i=1}^3 Y_{i1}$	$\sum_{i=1}^3 Y_{i2}$	$\sum_{i=1}^3 Y_{i3}$	$\sum_{i=1}^3 Y_{i4}$
Total	$\sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^4 Y_{ij}$			

$i = 1, \dots, n$

$j = 1, \dots, p$

Faktor Koreksi (FK)

$$\frac{(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^p Y_{ij})^2}{np} \quad \text{Rumus (3-1)}$$

Jumlah Kuadrat Total (JKT)

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^p (Y_{ij})^2 - FK \quad \text{Rumus (3-2)}$$

Jumlah Kuadrat Perlakuan (JKP)

$$\frac{\sum_{j=1}^p (\sum_{i=1}^n Y_{ij})^2}{n} - FK \quad \text{Rumus (3-3)}$$

Jumlah Kuadrat Galat (JKG)

$$JKT - JKP \quad \text{Rumus (3-4)}$$

Derajat Bebas Perlakuan ($db_{\text{perlakuan}}$)

$$p - 1 \quad \text{Rumus (3-5)}$$

Derajat Bebas Total (db_{total})

$$np - 1 \quad \text{Rumus (3-6)}$$

Derajat Bebas Galat (db_{galat})

$$(np - 1) - (p - 1) \quad \text{Rumus (3-7)}$$

Kuadrat Tengah Perlakuan (KTP)

$$\frac{JKP}{db_{\text{perlakuan}}} \quad \text{Rumus (3-8)}$$

Kuadrat Tengah Galat (KTG)

$$\frac{JKG}{db_{\text{galat}}} \quad \text{Rumus (3-9)}$$

Dari data perhitungan diatas dapat dicari F hitung dengan rumus:

$$\frac{KTP}{KTG} \quad \text{Rumus (3-10)}$$

Untuk membuat uji analisis varian dibuat tabel *analysis of varian one way classification* untuk RAL seperti Tabel 3.2 berikut ini:

Tabel 3.2 *Analysis of Varian One Way Classification* untuk RAL Pengujian Porositas

Sumber Keragaman (SK)	Derajat Bebas (db)	Jumlah Kuadrat (JK)	Kuadrat Tengah (KT)	F Hitung
Perlakuan	dbp	JKP	KTP	F Hitung perlakuan
Galat	dbg	JKG	KTG	
Total	dbt	JKT		

Pengujian ada tidaknya pengaruh perlakuan adalah dengan membandingkan F hitung dengan F tabel (nilai F yang berdasarkan α , $db_{\text{perlakuan}}$, dan db_{galat} yang berada di tabel sebaran F).

1. Jika $F_{\text{hitung}} > F(\alpha, db_{\text{perlakuan}}, db_{\text{galat}})$ berarti H_0 ditolak, H_1 diterima menyatakan bahwa ada pengaruh yang berarti antara variasi penekanan *plunger* terhadap porositas aluminium Al-Mg-Si coran hasil proses *direct squeeze casting*.
2. Jika $F_{\text{hitung}} < F(\alpha, db_{\text{perlakuan}}, db_{\text{galat}})$ berarti H_0 diterima, H_1 ditolak menyatakan bahwa tidak ada pengaruh yang berarti antara variasi penekanan *plunger* terhadap porositas aluminium Al-Mg-Si coran hasil proses *direct squeeze casting*.

3.6.2 RAL (Rancangan Acak Lengkap) Untuk Pengujian Kekuatan Puntir

Dari data yang telah didapat kemudian diuji secara statistik menggunakan rancangan acak lengkap (RAL) tentang pengaruh variabel bebas (tekanan *plunger* 0,1 MPa, 10 MPa, 30 MPa, dan 50 MPa) terhadap variabel terikatnya (kekuatan puntir).

Harga variabel terikat dianggap sebagai μ_1 , μ_2 , dan μ_3 , μ_4 . Maka hipotesis penelitian dapat ditulis sebagai berikut:

H_0 : $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4$ (tidak ada pengaruh nyata tekanan *plunger* terhadap kekuatan puntir dari aluminium Al-Mg-Si coran hasil proses *direct squeeze casting*).

H_1 : $\mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4$ (ada pengaruh nyata tekanan *plunger* terhadap kekuatan puntir dari aluminium Al-Mg-Si coran hasil proses *direct squeeze casting*).

Hasil pengamatan dapat dilihat pada rencana Tabel 3.1 berikut ini:

Tabel 3.3 Tabel Pengamatan Data RAL Pengujian Puntir

Pengulangan	Tekanan <i>Plunger</i> (MPa)			
	0.1	10	30	50
1	Y_{11}	Y_{12}	Y_{13}	Y_{14}
2	Y_{21}	Y_{22}	Y_{23}	Y_{24}
3	Y_{31}	Y_{32}	Y_{33}	Y_{34}
Jumlah	$\sum_{i=1}^3 Y_{i1}$	$\sum_{i=1}^3 Y_{i2}$	$\sum_{i=1}^3 Y_{i3}$	$\sum_{i=1}^3 Y_{i4}$
Total	$\sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^4 Y_{ij}$			

$$i = 1, \dots, n$$

$$j = 1, \dots, p$$

Faktor Koreksi (FK)

$$\frac{(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^p Y_{ij})^2}{np}$$

Rumus (3-11)

Jumlah Kuadrat Total (JKT)

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^p (Y_{ij})^2 - FK$$

Rumus (3-12)

Jumlah Kuadrat Perlakuan (JKP)

$$\frac{\sum_{j=1}^p (\sum_{i=1}^n Y_{ij})^2}{n} - FK$$

Rumus (3-13)

Jumlah Kuadrat Galat (JKG)

$$JKT - JKP$$

Rumus (3-14)

Derajat Bebas Perlakuan (db_{perlakuan})

$$p - 1$$

Rumus (3-15)

Derajat Bebas Total (db_{total})

$$np - 1$$

Rumus (3-16)

Derajat Bebas Galat (db_{galat})

$$(np - 1) - (p - 1)$$

Rumus (3-17)

Kuadrat Tengah Perlakuan (KTP)

$$\frac{JKP}{db_{perlakuan}}$$

Rumus (3-18)

Kuadrat Tengah Galat (KTG)

$$\frac{JKG}{db_{galat}}$$

Rumus (3-19)

Dari data perhitungan diatas dapat dicari F hitung dengan rumus:

$$\frac{KTP}{KTG}$$

Rumus (3-20)

Untuk membuat uji analisis varian dibuat tabel *analysis of varian one way classification* untuk RAL seperti Tabel 3.2 dibawah ini:

Tabel 3.4 *Analysis of Varian One Way Classification* untuk RAL pengujian puntir

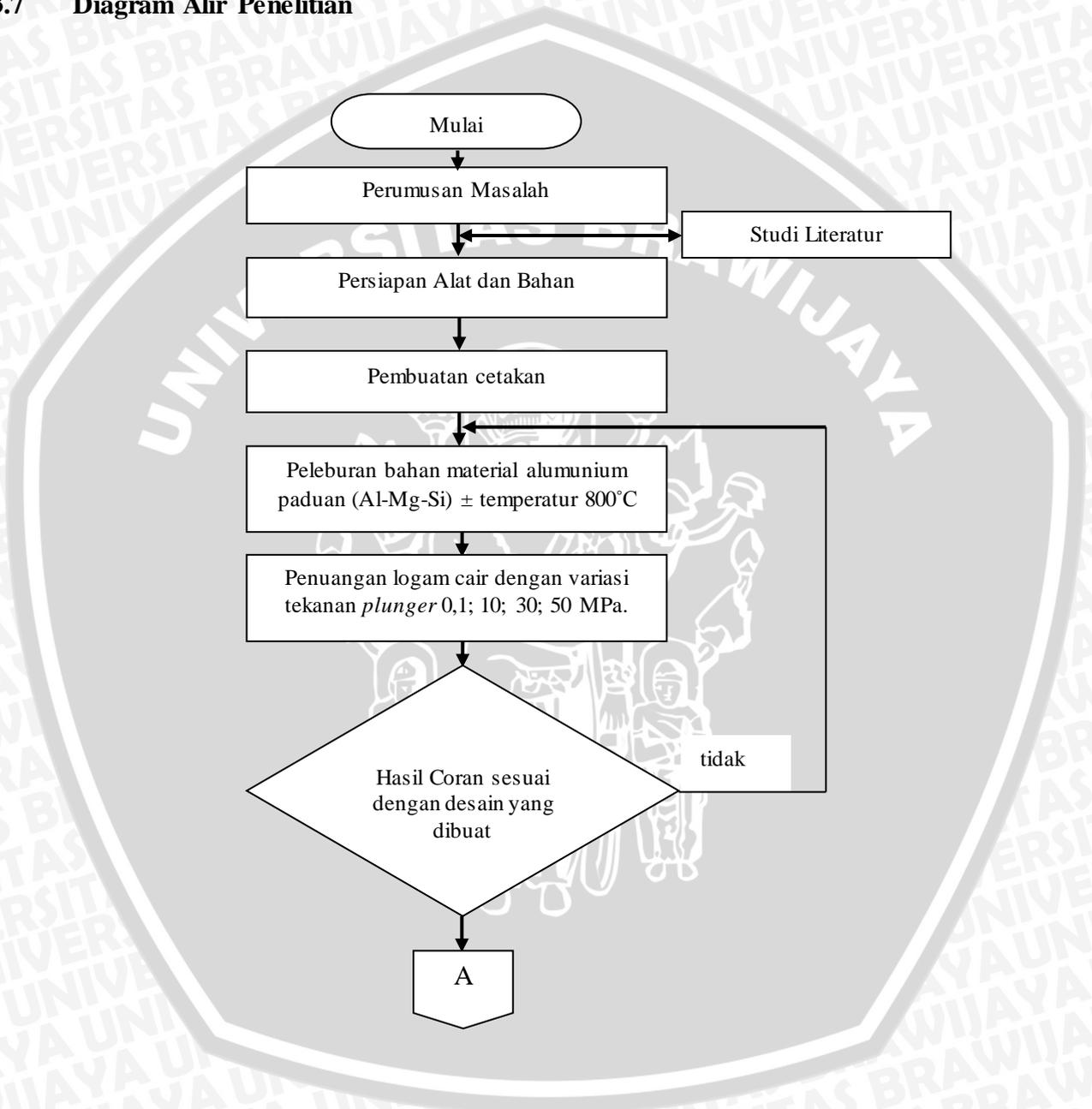
Sumber Keragaman (SK)	Derajat Bebas (db)	Jumlah Kuadrat (JK)	Kuadrat Tengah (KT)	F Hitung
Perlakuan	dbp	JKP	KTP	F Hitung perlakuan
Galat	dbg	JKG	KTG	
Total	dbt	JKT		

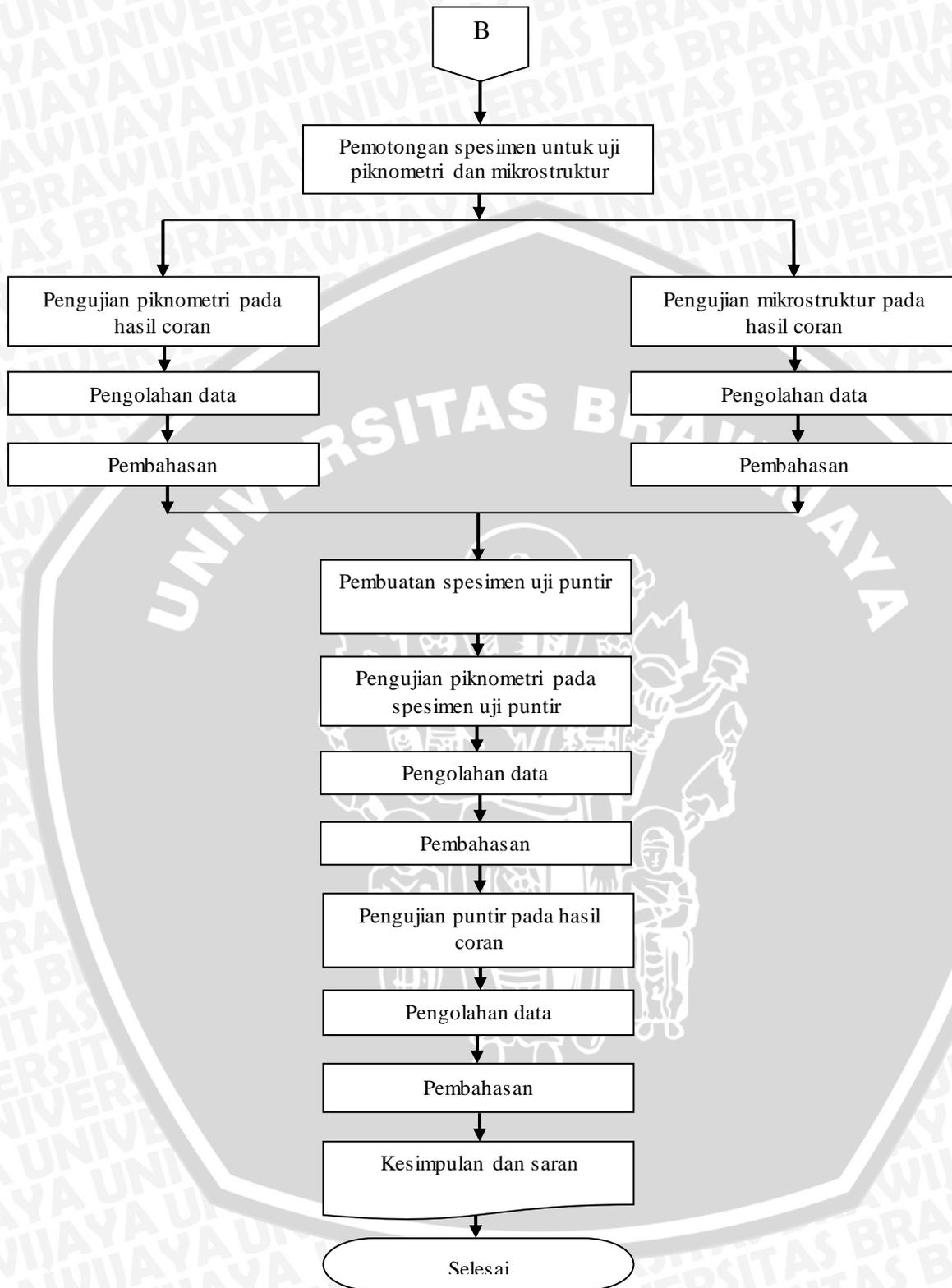
Pengujian ada tidaknya pengaruh perlakuan adalah dengan membandingkan F hitung dengan F tabel (nilai F yang berdasarkan α , $db_{perlakuan}$, dan db_{galat} yang berada di tabel sebaran F).

1. Jika $F_{hitung} > F(\alpha, db_{perlakuan}, db_{galat})$ berarti H_0 ditolak, H_1 diterima menyatakan bahwa ada pengaruh yang berarti antara variasi penekanan *plunger* terhadap kekuatan puntir aluminium Al-Mg-Si coran hasil proses *Squeeze Casting*.

2. Jika $F_{hitung} < F(\alpha, db_{perlakuan}, db_{galat})$ berarti H_0 diterima, H_1 ditolak menyatakan bahwa tidak ada pengaruh yang berarti antara variasi penekanan *plunger* terhadap kekuatan puntir aluminium Al-Mg-Si coran hasil proses *Squeeze Casting*.

3.7 Diagram Alir Penelitian





Gambar 3.7 : Diagram Alir Penelitian

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Pengujian

4.1.1 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 4.1 dibawah ini.

Tabel 4.1 Data Beban *Ultimate* pada Pengujian Puntir

Pengulangan	Tekanan Plunger				Mpa
	0.1	10	30	50	
1	2.5	3.5	4.5	5	Kg
2	2.5	3.5	4	5	
3	2.5	3	4.5	4.5	
Jumlah	7.50	10.00	13.00	14.50	
Rata-rata	2.50	3.33	4.33	4.83	

Contoh perhitungan momen puntir:

$$\begin{aligned}
 M_T &= F \cdot L \\
 &= (2,5 \cdot 9,81) \cdot 0,15 \\
 &= 3,80 \text{ N.m}
 \end{aligned}$$

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 4.2 Data Momen Puntir Maksimum Hasil Pengujian Puntir

Pengulangan	Tekanan <i>Plunger</i>				Mpa
	0.1	10	30	50	
1	3.80	5.32	6.84	7.60	N.m
2	3.80	5.32	6.08	7.60	
3	3.80	4.56	6.84	6.84	
Jumlah	11.40	15.20	19.76	22.04	
Rata-rata	3.80	5.07	6.59	7.35	

Setelah didapatkan 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 :

$$\begin{aligned}\tau_{max} &= \frac{M_T D/2}{\pi D^4/32} = \frac{16M_T}{\pi D^3} \\ &= \frac{16 \cdot 3,80}{3,14 \cdot (0,006)^3} \\ &= 89676220,81\end{aligned}$$

dengan :

τ_{max} : Tegangan geser (Pa)

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 4.3.

Tabel 4.3 Data Hasil Pengujian Kekuatan Puntir

Pengulangan	Tekanan <i>Plunger</i>				Mpa
	0.1	10	30	50	
1	89.68	125.55	161.42	179.35	Mpa
2	89.68	125.55	143.48	179.35	
3	89.68	107.61	161.42	161.42	
Jumlah	269.04	358.71	466.32	520.12	
Rata-rata	89.68	119.57	155.44	173.37	

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

4.1.2 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 4.4 berikut ini:

Tabel 4.4 Data Hasil Pengujian Porositas

Pengulangan	Tekanan <i>Plunger</i>				Mpa
	0.1	10	30	50	
1	1.69	1.34	0.98	0.44	%
2	1.79	1.44	0.97	0.43	
3	1.61	1.32	0.94	0.49	
Jumlah	5.09	4.10	2.89	1.36	
Rata-rata	1.70	1.37	0.96	0.45	

Data porositas pada Tabel 4.4 didapatkan dari perhitungan porositas. Data yang diperlukan untuk perhitungan porositas dapat dilihat pada Lampiran 5. Contoh perhitungan porositas pada adalah sebagai berikut:

a. Tekanan *Plunger* 0.1 MPa

➤ *Apparent Density*

$$\begin{aligned}\rho_s &= \rho_w \frac{W_s}{W_s - (W_{sb} - W_b)} \\ &= 1 \frac{99,43}{99,43 - (65,46 - 3,57)} \\ &= 2,65 \text{ gr/cm}^3\end{aligned}$$

➤ *True Density*

$$\begin{aligned}\rho_{th} &= \frac{100}{\left\{ \left(\frac{\%Al}{\rho_{Al}} \right) + \left(\frac{\%Mg}{\rho_{Mg}} \right) + \left(\frac{\%Si}{\rho_{Si}} \right) + etc \right\}} \\ &= \frac{100}{\left\{ \left(\frac{97,63}{2,7} \right) + \left(\frac{1,023}{1,74} \right) + \left(\frac{0,661}{2,33} \right) + etc \right\}} \\ &= 2,69 \text{ gr/cm}^3\end{aligned}$$

➤ *Porositas*

$$\begin{aligned}\%P &= \left(1 - \frac{\rho_s}{\rho_{th}} \right) \times 100\% \\ &= \left(1 - \frac{2,65}{2,69} \right) \times 100\% \\ &= 1,69\%\end{aligned}$$

4.2 Analisa Statistik

4.2.1 Analisa Statistik Pengujian Porositas (Piknometri).

Analisis Statistik ini akan dilakukan pada hasil pengujian porositas.. Untuk itu akan dilakukan analisa statistik satu arah (*Analisis of Variant One Way Classification*).

Tabel 4.5 Data Prosentase Porositas Spesimen untuk RAL

PENGULANGAN	TEKANAN <i>PLUNGER</i>			
	0,1	10	30	50
1	1.69	1.34	0.98	0.44
2	1.79	1.44	0.97	0.43
3	1.61	1.32	0.94	0.49
JUMLAH	5.09	4.09	2.88	1.36
TOTAL	13.42			

Faktor Koreksi (FK)

$$FK = \frac{(1,69 + 1,79 + 1,61 + \dots + 0,44 + 0,43 + 0,49)^2}{3 \times 4}$$

$$= \frac{(13,42)^2}{12}$$

$$= 1,12$$

Jumlah Kuadrat Total (JKT)

$$JKT = (1,69)^2 + (1,79)^2 + \dots + (0,43)^2 + (0,49)^2 - 1,12$$

$$= 17,63 - 1,12$$

$$= 16,51$$

Jumlah Kuadrat Perlakuan (JKP)

$$JKP = \frac{(5,09)^2 + (4,09)^2 + (2,88)^2 + (1,36)^2}{3} - 1,12$$

$$= \frac{52,81}{3} - 1,12$$

$$= 17,60 - 1,12$$

$$= 16,48$$

Jumlah Kuadrat Galat (JKG)

$$JKG = 16,51 - 16,48$$

$$= 0,03$$

Derajat Bebas Perlakuan ($db_{\text{perlakuan}}$)

$$\begin{aligned} dbp &= 4 - 1 \\ &= 3 \end{aligned}$$

Derajat Bebas Total (db_{total})

$$\begin{aligned} dbt &= (3 \times 4) - 1 \\ &= 12 - 1 \\ &= 11 \end{aligned}$$

Derajat Bebas Galat (db_{galat})

$$\begin{aligned} dbg &= 11 - 3 \\ &= 8 \end{aligned}$$

Kuadrat Tengah Perlakuan (KTP)

$$\begin{aligned} KTP &= \frac{16,48}{3} \\ &= 5,49 \end{aligned}$$

Kuadrat Tengah Galat (KTG)

$$\begin{aligned} KTG &= \frac{0,03}{8} \\ &= 0,003 \end{aligned}$$

Dari data perhitungan diatas dapat dicari F_{hitung} dengan rumus:

$$\begin{aligned} F_{\text{hitung}} &= \frac{5,49}{0,003} \\ &= 1579,60 \end{aligned}$$

Tabel 4.6 Analisis of Varian One Way Classification RAL untuk Porositas.

Sumber Keragaman (SK)	Derajat Bebas (db)	Jumlah Kuadrat (JK)	Kuadrat Tengah (KT)	F Hitung
Perlakuan	3	16,48	5,49	1579,60
Galat	8	0,03	0,003	
Total	11	16,51		

$$F \text{ Tabel} : F_{(0,05, 3, 8)} = 4,07$$

$$\text{Perlakuan} : F \text{ Hitung} (1579,60) > F \text{ Tabel} (4,07) \text{ Tolak } H_0$$

Dengan tingkat kesalahan 5%, maka sudah ada cukup bukti untuk mengatakan bahwa ada pengaruh antara variasi penekanan pada spesimen terhadap porositas.

4.2.2 Analisis Statistik Pengujian Puntir (*Torsion Test*)

Dalam pengujian puntir ini akan dilakukan analisa statistik satu arah (*Analisis of Variant One Way Classification*). Dengan menggunakan data pengujian berupa tegangan geser maksimum (σ_{max}).

Tabel 4.7 Data Kekuatan Puntir Spesimen untuk RAL

PENGULANGAN	TEKANAN <i>PLUNGER</i>			
	0.1	10	30	50
1	89.68	125.55	161.42	179.35
2	89.68	125.55	143.48	179.35
3	89.68	107.61	161.42	161.42
JUMLAH	269.03	358.70	466.32	520.12
TOTAL	1614.17			

Faktor Koreksi (FK)

$$\begin{aligned}
 FK &= \frac{(89,68 + 89,68 + 89,68 + \dots + 179,35 + 179,35 + 161,42)^2}{3 \times 4} \\
 &= \frac{(1614,17)^2}{12} \\
 &= 217128,73
 \end{aligned}$$

Jumlah Kuadrat Total (JKT)

$$\begin{aligned}
 JKT &= (89,68)^2 + (89,68)^2 + \dots + (179,35)^2 + (161,42)^2 - 217128,73 \\
 &= 230317,86 - 217128,73 \\
 &= 13189,13
 \end{aligned}$$

Jumlah Kuadrat Perlakuan (JKP)

$$\begin{aligned}
 JKP &= \frac{(269,03)^2 + (358,70)^2 + (466,32)^2 + (520,12)^2}{3} - 217128,27 \\
 &= \frac{412718,09}{3} - 217128,27 \\
 &= 229674,51 - 217128,27 \\
 &= 12545,24
 \end{aligned}$$

Jumlah Kuadrat Galat (JKG)

$$\begin{aligned}
 JKG &= 13189,13 - 12545,24 \\
 &= 643,89
 \end{aligned}$$

Derajat Bebas Perlakuan ($db_{\text{perlakuan}}$)

$$\begin{aligned}
 dbp &= 4 - 1 \\
 &= 3
 \end{aligned}$$

Derajat Bebas Total (db_{total})

$$\begin{aligned}
 dbt &= (3 \times 4) - 1 \\
 &= 12 - 1 \\
 &= 11
 \end{aligned}$$

Derajat Bebas Galat (db_{galat})

$$\begin{aligned}
 dbg &= 11 - 3 \\
 &= 8
 \end{aligned}$$

Kuadrat Tengah Perlakuan (KTP)

$$\begin{aligned}
 KTP &= \frac{12545,24}{3} \\
 &= 4181,75
 \end{aligned}$$

Kuadrat Tengah Galat (KTG)

$$KTG = \frac{643,89}{8}$$



$$= 80,49$$

Dari data perhitungan diatas dapat dicari F_{hitung} dengan rumus:

$$F_{hitung} = \frac{4181,75}{80,49}$$

$$= 51,95$$

Tabel 4.8 Analisis of Varian One Way Classification RAL untuk Kekuatan Puntir.

Sumber Keragaman (SK)	Derajat Bebas (db)	Jumlah Kuadrat (JK)	Kuadrat Tengah (KT)	F Hitung
Perlakuan	3	12545,24	4181,75	51,95
Galat	8	643,89	80,49	
Total	11	13189,13		

$$F \text{ Tabel} : F_{(0,05, 3, 8)} = 4,07$$

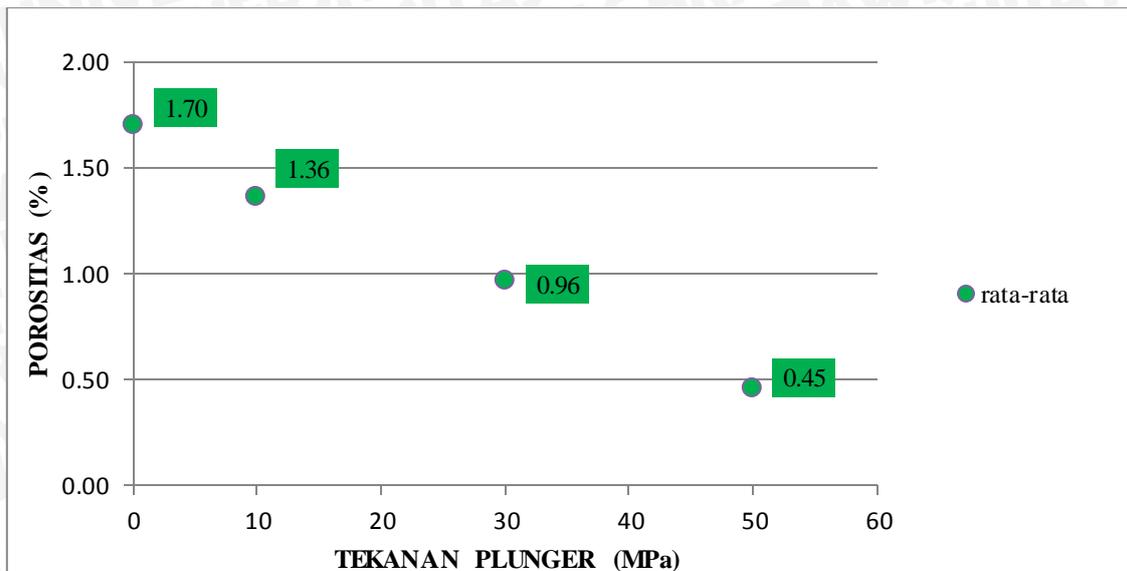
$$\text{Perlakuan} : F \text{ Hitung} (51,95) > F \text{ Tabel} (4,07) \text{ Tolak } H_0$$

Dengan tingkat kesalahan 5%, maka sudah ada cukup bukti untuk mengatakan bahwa ada pengaruh antar variasi penekanan pada spesimen terhadap kekuatan puntir.

4.3 Pembahasan

Tekanan *plunger* pada proses *direct squeeze casting* sangat berpengaruh pada hasil coran. Semakin tinggi tekanan *plunger* maka gaya tekan akan diteruskan ke udara yang bersifat *compressible* sehingga volume udara akan mengecil dan porositas pun menurun. Selain itu tekanan juga akan mengakibatkan logam cair dapat masuk ke dalam saluran *interdendritic* sehingga struktur butiran yang dihasilkan semakin rapat.

Hubungan antara tekanan *plunger* dengan porositas aluminium paduan (Al-Mg-Si) hasil *direct squeeze casting* dapat dilihat pada Gambar 4.1 berikut ini:

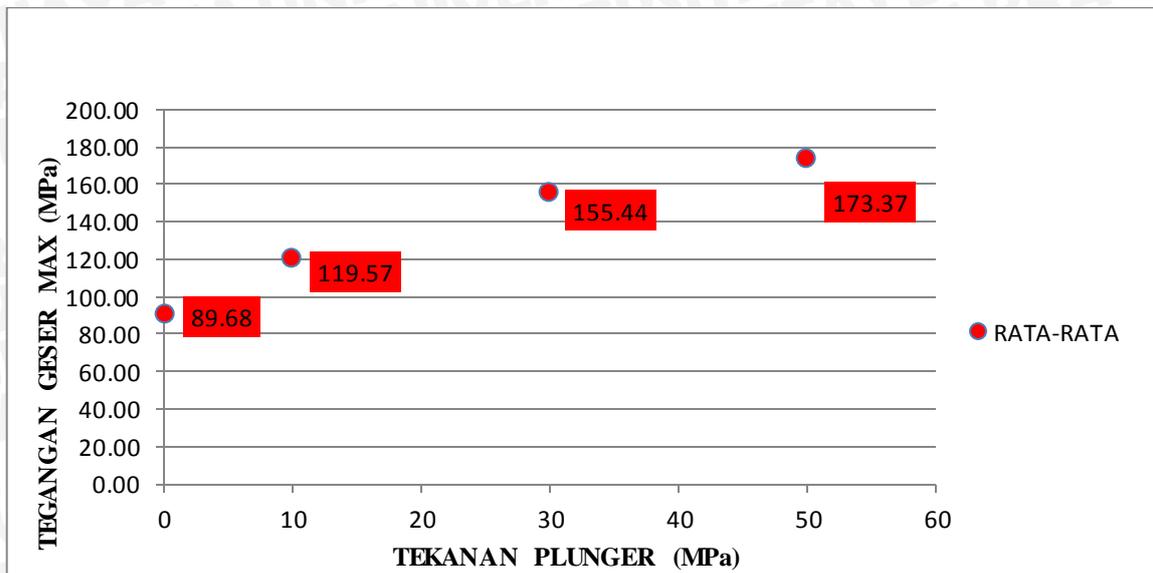


Gambar 4.1 Grafik Pengaruh Tekanan *Plunger* (MPa) terhadap Porositas (%)

Pada grafik hubungan antara tekanan *plunger* terhadap porositas aluminium paduan (Al-Mg-Si) hasil *direct squeeze casting* tersebut (Gambar 4.1) dapat dilihat bahwa terjadi penurunan porositas yang terjadi akibat tekanan *plunger*. Nilai porositas rata-rata tertinggi didapatkan pada tekanan *plunger* 0.1 MPa dengan nilai porositas yaitu 1,70% dan untuk nilai porositas rata-rata terendah didapat pada tekanan *plunger* 50 MPa yaitu sebesar 0,45%. Penurunan besarnya prosentase porositas tersebut disebabkan karena semakin tingginya tekanan *plunger*, maka semakin besar tekanan yang diberikan pada udara yang bersifat *compressible* sehingga volume udara akan mengecil dan porositas pun akan berkurang. Selain itu porositas juga dapat disebabkan karena ketidakmampuan logam cair untuk masuk ke dalam saluran *interdendritic* sebelum logam cair tersebut membeku, dengan tekanan *plunger* yang semakin meningkat maka logam cair akan tertekan masuk ke dalam saluran *interdendritic* sehingga struktur butiran akan semakin padat dan didapatkan prosentase porositas yang semakin rendah. Hubungan antara tekanan *plunger* dengan porositas juga dapat dilihat pada hasil foto mikro (Gambar 4.3).

Setiap produk hasil coran pada setiap aplikasinya akan mengalami pembebanan dinamis, sehingga akan mengalami penambahan penampang, dengan melakukan pengujian puntir maka sifat mekanis coran berupa kekuatan puntir akan diketahui. Kekuatan puntir dipengaruhi oleh ukuran butiran serta porositasnya. Semakin halus/kecil butiran dan semakin kecilnya prosentase porositas maka kekuatan puntir akan meningkat.

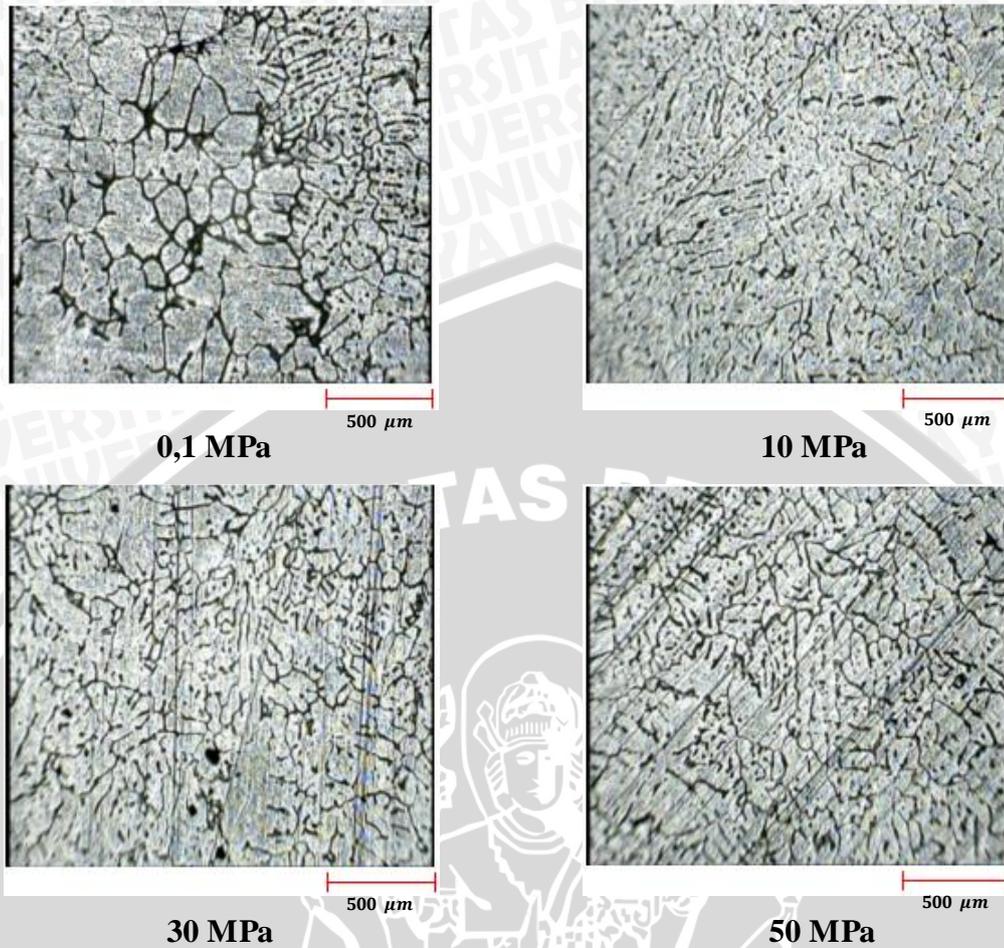
Hubungan antara tekanan *plunger* terhadap kekuatan puntir aluminium paduan Al-Mg-Si hasil *direct squeeze casting* dapat dilihat pada Gambar 4.2 dibawah ini.



Gambar 4.2 Grafik Pengaruh Tekanan *plunger* (MPa) terhadap Kekuatan Puntir (MPa)

Pada grafik hubungan antara tekanan *plunger* dan kekuatan puntir aluminium paduan (Al-Mg-Si) hasil *direct squeeze casting* (Gambar 4.2) dapat dilihat bahwa terjadinya peningkatan nilai kekuatan puntir yang diakibatkan oleh peningkatan tekanan *plunger*. Pada grafik tersebut didapatkan peningkatan nilai kekuatan puntir terendah sebesar 89,68 MPa yang terjadi pada spesimen dengan tekanan *plunger* sebesar 0,1 MPa dan meningkat sampai nilai maksimum sebesar 179,35 MPa yang terjadi pada spesimen dengan tekanan *plunger* 50 MPa.

Peningkatan nilai kekuatan puntir ini disebabkan oleh meningkatnya tekanan *plunger*, yang dapat mengakibatkan tekanan pada logam cair sehingga butiran yang dihasilkan akan semakin kecil, selain itu adanya peningkatan tekanan akan menyebabkan dendrit tidak sempat berkembang, sehingga butiran akan menjadi lebih halus dan padat. Semakin kecil ukuran butiran dan padat maka semakin merata tegangan yang diterima butiran saat hasil coran menerima beban sehingga kekuatan puntirnya akan meningkat. Ukuran butiran dapat dilihat pada hasil foto mikro (Gambar 4.3).



Gambar 4.3 Foto Mikro Hasil Coran *Direct Squeeze Casting*

Pada gambar mikrostruktur diatas terlihat terjadi perubahan pada struktur butiran, yang mana semakin tinggi tekanan *plunger* yang diberikan akan mengakibatkan semakin kecil butiran yang dihasilkan, dan semakin kecil butiran maka akan semakin rapat dan padat struktur butirannya sehingga kekuatan puntir yang dihasilkan akan semakin tinggi pula.

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 tekanan *plunger* akan berbanding terbalik terhadap ukuran butir dan porositas hasil coran aluminium paduan Al-Mg-Si.
- Peningkatan tekanan *plunger* akan meningkatkan kekuatan puntir hasil coran aluminium Al-Mg-Si
- Kekuatan puntir tertinggi dan prosentase porositas terendah terdapat pada hasil coran yang diberi tekanan 50 MPa yaitu sebesar 179,35 MPa dan 0,45%.

5.2 Saran

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

DAFTAR PUSTAKA

- ASM Handbook Vol. 8. 1998. *Mechanical Testing and Evaluation*. Materials Park, OH : ASM International.
- ASM Handbook Vol.15. 1998. *Casting*. Materials Park, OH : ASM International.
- Azom. 2006. *Mechanical Properties of Materials – Tensile, Compressive, Shear, Torsional and Yield Strength Defined*; <http://www.azom.com/details.asp?articleid=3426>. 19 Agustus 2012.
- 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 Soejono Tjitro. 2002. *Pengaruh Tekanan dan Temperatur Die Proses Squeeze Casting Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro Pada Material Piston Komersial Lokal*. Surabaya : Jurnal Teknik Mesin Vol.4, Universitas Kristen Petra.
- Firdaus. 2002. *Analisis Parameter Proses Pengecoran Squeeze Terhadap Cacat Porositas Produk Flens Motor Sungai*. Surabaya : Jurnal Teknik Mesin Vol.4, Universitas Kristen Petra.
- 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.
- Ming, Zhang & Zhang Wei-wen, Zhao Hai-dong, Zhang Da-tong, Li Yuan-yuan. 2007. *Effect of pressure on microstructures and mechanical properties of Al-Cu-based alloy prepared by squeeze casting*. China: Sciencedirect.
- Neave, Henry. 1977. *Statistics Tables for mathematicians, engineers, economist, and the behavioural and management sciences*. Nottingham University.
- Simamora, Panca. 2011. *Pengaruh Gaya Tekan Akhir Terhadap Kekuatan Puntir Sambungan Las Gesek Pada Aluminium Paduan AA6061*. Malang: Universitas Brawijaya.
- Simanjuntak, Adolf. 2011. *Pengaruh Kecepatan Putar Terhadap Kekuatan Puntir Dan Cacat Porositas Aluminium Al-Mg-Si Hasil Pengecoran Sentrifugal*. Malang: Universitas Brawijaya.

- Surdia, Tata dan Kenji Chijiwa. 1996. *Teknik Pengecoran Logam*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Taylor, Sum & McClain, and 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. 2001. *Pengecoran Squeeze*. Surabaya: Jurnal Teknik Mesin Vol.3 Universitas Kristen Petra.
- Vai. 2009. *aluminiumcasting*. <http://Aluminiumcasting.wordpress.com>. 20 September 2011.
- Verhoeven. 1975. *Fundamental of Physically Metallurgy*. New York : Department of Metallurgy Iowa State University.
- Yitnosumarto, Suntoyo. 1991. *Percobaan, Perancangan, Analisis, dan Interpretasinya*. Jakarta: PT. Gramedia.
- 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

a. Benda Uji Porositas berbagai Variasi Tekanan *Plunger*

- 0,1 MPa



- 10 MPa



- 30 MPa



- 50 MPa



b. Benda Uji Puntir berbagai Variasi Tekanan *Plunger*

- 0,1 MPa



- 10 MPa



- 30 MPa



- 50 MPa



c. Benda Uji Mikrostruktur berbagai Variasi Tekanan *Plunger*



0,1 MPa



10 MPa



30 MPa



50 MPa

Lampiran 3. Komposisi Paduan Aluminium 6061



LEMBAGA ILMU PENGETAHUAN INDONESIA PUSAT PENELITIAN METALURGI

Kawasan PUSPIPEK - Serpong, Tangerang Selatan 15314
Telp 021- 7560911, 7560562 psw 3211 Faks: 021 - 7560553
E-mail : p2m@metalurgi.lipi.go.id Web : http://www.metalurgi.lipi.go.id

LAPORAN ANALISIS Report of Analysis

Laporan No : 278PK.4.06/KS/VI/2010
Report Nr
Dibuat Untuk : PRADITYA
Executed for
Metode Uji : SPARK OES
Test Method
Komoditi : AL 6061
Material
Hasil Pengujian :
Test Result

Unsur Element	Kadar/% Content/%	Unsur Element	Kadar/% Content/%
Si	0.661	Cr	0.107
Fe	0.248	Ni	0.017
Cu	0.187	Pb	0.008
Mn	0.034	Sn	0.004
Mg	1.023	V	0.010
Zn	0.055	Cd	0.002
Ti	0.010	Al	97.63

Serpong, 21 Juni 2010
Pusat Penelitian Metalurgi - LIPI
Kepala Bagian Tata Usaha,

Ir. Toni Bambang Romijarso, MT
NIP 19590828 198602 1 003

* Laporan ini hanya berlaku untuk sampel yang diuji

This report refers to the tested sample only

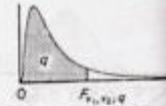
* Laporan ini tidak boleh disalin sebagian maupun seluruhnya tanpa izin dari Pusat Metalurgi

This report may not be reproduced in whole or in part, without permission from Research Center for Metallurgy



Lampiran 4. Tabel Distribusi F

3.3 the F distribution



v_2	q	v_1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	30	50	∞	
1	.9	39.9	49.5	53.6	55.8	57.2	58.2	58.9	59.4	59.9	60.2	60.7	61.2	61.7	62.3	62.7	63.3		
	.95	161	200	216	225	230	234	237	239	241	242	244	246	248	250	252	254		
	.975	648	800	864	900	922	937	948	957	963	969	977	985	993	1001	1008	1018		
	.990	4052	5000	5403	5625	5764	5859	5928	5981	6022	6056	6106	6157	6209	6261	6303	6366		
	.995	1621	2000	2162	2250	2306	2344	2371	2393	2409	2422	2443	2463	2484	2504	2521	2546		
.999	4053	5000	5404	5625	5764	5859	5929	5981	6023	6056	6107	6158	6209	6261	6303	6366			
		For $v_2 = 1$: values for $q = 0.995$ should be multiplied by 10 values for $q = 0.999$ should be multiplied by 100																	
2	.9	8.53	9.00	9.16	9.24	9.29	9.33	9.35	9.37	9.38	9.39	9.41	9.42	9.44	9.46	9.47	9.49		
	.95	18.5	19.0	19.2	19.2	19.3	19.3	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.5	19.5		
	.975	38.5	39.0	39.2	39.2	39.3	39.3	39.4	39.4	39.4	39.4	39.4	39.4	39.4	39.5	39.5	39.5		
	.990	98.5	99.0	99.2	99.2	99.3	99.3	99.4	99.4	99.4	99.4	99.4	99.4	99.4	99.5	99.5	99.5		
	.995	195	199	199	199	199	199	199	199	199	199	199	199	199	199	199	199		
.999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999			
3	.9	5.54	5.46	5.39	5.34	5.31	5.28	5.27	5.25	5.24	5.23	5.22	5.20	5.18	5.17	5.15	5.13		
	.95	10.1	9.55	9.28	9.32	9.28	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.74	8.70	8.66	8.62	8.58	8.53		
	.975	17.4	16.0	15.4	15.1	14.9	14.7	14.6	14.5	14.5	14.4	14.3	14.3	14.2	14.1	14.0	13.9		
	.990	34.1	30.8	29.5	28.7	28.2	27.9	27.7	27.5	27.3	27.2	27.1	26.9	26.7	26.5	26.4	26.1		
	.995	55.6	49.8	47.5	46.2	45.4	44.8	44.4	44.1	43.9	43.7	43.4	43.1	42.8	42.5	42.2	41.8		
.999	157	149	141	137	135	133	132	131	130	129	128	127	126	125	125	123			
4	.9	4.54	4.32	4.19	4.11	4.05	4.01	3.98	3.95	3.94	3.92	3.90	3.87	3.84	3.82	3.80	3.76		
	.95	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.91	5.86	5.80	5.75	5.70	5.63		
	.975	12.2	10.6	9.98	9.60	9.36	9.20	9.07	8.98	8.90	8.84	8.75	8.66	8.56	8.46	8.38	8.26		
	.990	21.2	18.0	16.7	16.0	15.5	15.2	15.0	14.8	14.7	14.5	14.4	14.2	14.0	13.8	13.7	13.5		
	.995	31.3	26.3	24.3	23.7	22.5	22.0	21.6	21.4	21.1	21.0	20.7	20.4	20.2	19.9	19.7	19.3		
.999	74.1	61.2	56.2	53.4	51.7	50.5	49.7	49.0	48.5	48.1	47.4	46.8	46.1	45.4	44.9	44.1			
5	.9	4.06	3.78	3.62	3.52	3.45	3.40	3.37	3.34	3.32	3.30	3.27	3.24	3.21	3.17	3.15	3.10		
	.95	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.68	4.62	4.56	4.50	4.44	4.36		
	.975	10.0	8.43	7.76	7.39	7.15	6.98	6.85	6.76	6.68	6.62	6.52	6.43	6.33	6.23	6.14	6.02		
	.990	16.3	13.3	12.1	11.4	11.0	10.7	10.5	10.3	10.2	10.1	9.89	9.72	9.55	9.38	9.24	9.02		
	.995	22.8	18.3	16.5	15.6	14.9	14.5	14.2	14.0	13.8	13.6	13.4	13.1	12.9	12.7	12.5	12.1		
.999	47.2	37.1	33.2	31.1	29.8	28.8	28.2	27.6	27.2	26.9	26.4	25.9	25.4	24.9	24.4	23.8			
6	.9	3.78	3.46	3.29	3.18	3.11	3.05	3.01	2.98	2.96	2.94	2.90	2.87	2.84	2.80	2.77	2.72		
	.95	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.00	3.94	3.87	3.81	3.75	3.67		
	.975	8.81	7.26	6.60	6.23	5.99	5.82	5.70	5.60	5.52	5.45	5.37	5.27	5.17	5.07	4.98	4.85		
	.990	13.7	10.9	9.78	9.15	8.75	8.47	8.26	8.10	7.98	7.87	7.72	7.56	7.40	7.23	7.09	6.88		
	.995	18.6	14.5	12.9	12.0	11.5	11.1	10.8	10.6	10.4	10.3	10.0	9.81	9.59	9.36	9.17	8.88		
.999	35.5	27.0	23.7	21.9	20.8	20.0	19.5	19.0	18.7	18.4	18.0	17.6	17.1	16.7	16.3	15.7			
7	.9	3.59	3.26	3.07	2.96	2.88	2.83	2.78	2.75	2.72	2.70	2.67	2.63	2.59	2.56	2.52	2.47		
	.95	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.57	3.51	3.44	3.38	3.32	3.23		
	.975	8.07	6.54	5.98	5.52	5.29	5.12	4.99	4.90	4.82	4.76	4.67	4.57	4.47	4.36	4.28	4.14		
	.990	12.2	9.55	8.45	7.85	7.46	7.19	6.99	6.84	6.72	6.62	6.47	6.31	6.16	5.99	5.86	5.65		
	.995	16.2	12.4	10.9	10.1	9.52	9.16	8.89	8.68	8.51	8.38	8.18	7.97	7.75	7.53	7.35	7.08		
.999	29.2	21.7	18.8	17.2	16.2	15.5	15.0	14.6	14.3	14.1	13.7	13.3	12.9	12.5	12.2	11.7			
8	.9	3.46	3.11	2.92	2.81	2.73	2.67	2.62	2.59	2.56	2.54	2.50	2.46	2.42	2.38	2.35	2.29		
	.95	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.28	3.22	3.15	3.08	3.02	2.93		
	.975	7.57	6.06	5.42	5.05	4.82	4.65	4.53	4.43	4.36	4.30	4.20	4.10	4.00	3.89	3.81	3.67		
	.990	11.3	8.65	7.59	7.01	6.63	6.37	6.18	6.03	5.91	5.81	5.67	5.52	5.36	5.20	5.07	4.86		
	.995	14.7	11.0	9.60	8.81	8.30	7.95	7.69	7.50	7.34	7.21	7.01	6.81	6.61	6.40	6.22	5.95		
.999	25.4	18.5	15.8	14.4	13.5	12.9	12.4	12.0	11.8	11.5	11.2	10.8	10.5	10.1	9.80	9.33			

Lampiran 5. Tabel *True Density* dan *Apparent Density*

- Tabel Densitas Unsur dan Prosentase Berat (*True Density*)

Unsur	Massa Jenis (g/cm ³)	Densitas 1/(g/cm ³)	Prosentase Berat (%)	Densitas Prosentase Berat *
Si	2.33	0.4292	0.6610	0.2837
Fe	7.86	0.1272	0.2480	0.0316
Cu	8.96	0.1116	0.1870	0.0209
Mn	7.86	0.1272	0.0340	0.0043
Mg	1.74	0.5747	1.0230	0.5879
Zn	7.14	0.1401	0.0550	0.0077
Ti	11.85	0.0844	0.0100	0.0008
Cr	7.19	0.1391	0.1070	0.0149
Ni	6.8	0.1471	0.0170	0.0025
Pb	11.4	0.0877	0.0080	0.0007
V	6.1	0.1639	0.0100	0.0016
Sn	7.3	0.1370	0.0040	0.0005
Cd	8.65	0.1156	0.0020	0.0002
TOTAL A			2.3660	0.9574
Al	2.7	0.3704	97.6300	36.1593
TOTAL B			9.9960	7.1167
ρ_{th}	2.6942			

- Tabel *Apparent Density*

Pengulangan	<i>Apparent Density</i>			
	0.1 Mpa	10 Mpa	30 Mpa	50 Mpa
1	2.65	2.66	2.67	2.68
2	2.65	2.66	2.67	2.68
3	2.65	2.66	2.67	2.68
Rata - Rata	2.65	2.66	2.67	2.68

Lampiran 6. Foto Alat yang Digunakan



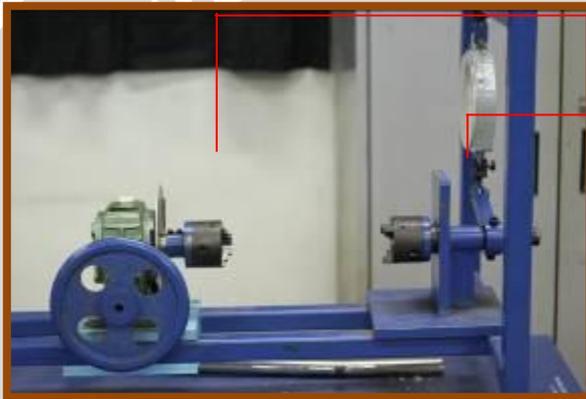
Squeeze Casting



Power Hacksaw



Alat Uji Porositas



Alat Uji Puntir



Infrared Thermometer



Ladel



Burner