

**PENGARUH TEKANAN *PLUNGER* PADA *SQUEEZE CASTING*
TERHADAP POROSITAS DAN KEKUATAN TARIK PRODUK
CORAN SILINDER Al-Mg-Si**

**SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI**

**Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik**



Disusun Oleh :

DIAN FITRIA AGUS ARISTIYONO

NIM. 0810620004-62

KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

JURUSAN MESIN

MALANG

2013

LEMBAR PERSETUJUAN

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

SKRIPSI

KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh :

DIAN FITRIA AGUS ARISTIYONO
NIM. 0810620004-62

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 *SQUEEZE CASTING* TERHADAP
POROSITAS DAN KEKUATAN TARIK CORAN SILINDER Al-Mg-Si**

SKRIPSI

KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun Oleh :

DIAN FITRIA AGUS ARISTIYONO

NIM. 0810620004-62

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
Tanggal 28 Januari 2013

DOSEN PENGUJI

Penguji Skripsi 1

Penguji Skripsi 2

Ir. Endi Sutikno., MT.
NIP. 19590411 198710 1 001

Ir. Agustinus Ariseno., MT.
NIP. 19510822 198701 1 001

Penguji Komprehensif

Prof. Ir. Sudjito., Ph.D.
NIP. 19470330 198002 1 001

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Mesin

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

KATA PENGANTAR

Skripsi adalah karya tulis terakhir dalam rangkaian kegiatan pendidikan jenjang Strata1, dan merupakan syarat wajib untuk memperoleh gelar sarjana. Dalam pelaksanaannya diperlukan usaha dan tak lepas dari bantuan banyak pihak. Oleh karena itu, dalam kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih dan penghargaan sebesar besarnya kepada:

1. Bapak Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang.
2. Bapak Dr. Eng. Anindito Purnowidodo, ST., M.Eng., selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang.
3. Bapak Dr. Eng Yudy Surya Irawan, ST., M. Eng. Bapak Prof. Dr. Ir. Pratikto, MMT., selaku Dosen Pembimbing, yang telah memberikan kritik,saran serta ilmu yang bermanfaat dalam proses penelitian dan penyusunan skripsi ini.
4. Bapak Prof. Ir. Sudjito, Ph.D. Bapak Ir. Endi Sutikno, MT. Bapak Ir. Agustinus Ariseno, MT., selaku Dosen Penguji dalam sidang sarjana yang telah diikuti oleh penulis, semua kritik, saran, dan ilmu yang telah disampaikan memberikan perbaikan terhadap skripsi penulis.

Akhir kata, penulis mengharapkan skripsi ini dapat memberikan manfaat yang positif bagi pembaca. Semoga memunculkan ide-ide baru, saran dan kritik yang membangun untuk ke depannya.

Malang, Januari 2013

Penulis

LEMBAR PERSEMBAHAN

Ini adalah sebuah susunan kata – kata yang mungkin tak berharga, namun hanya ini yang dapat saya berikan kepada yang telah berarti dan penuh kasih memberikan cintanya dalam menempuh masa – masa yang paling berat ketika menjadi mahasiswa.

ALLAH SWT, yang telah memberikan segala cinta dan kebbaikannya sampai akhirnya saya bisa melalui semua ini dengan gemilang. **NABI MUHAMMAD SAW**, yang telah memberikan syafaat dan segala cinta yang dimilikinya kepada umatnya dan telah memberikan sinar kebahagiaan pada dunia yang pernah gelap pada masa itu.

Bapak **SUMARIYONO** dan Ibu **SUMIARTI** yang telah dengan sabar membesarkan, membiayai dan memberikan kasih sayang yang tulus dan segala bentuk daya upaya untuk membuat anak anaknya kuat. **CANDRA DIAN FRANSISCA DESI RAHMAWATI** (nda²), mahasiswa statistik UB 2011 yang sudah menjadi adik paling baik dan paling mengerti kakaknya. **ARISKA DYAN LAILATUL QODRIAH** (riska) dan **RAMADHAN DIAN MUHAMMAD DAHLAN** (*gimin markimin surimin*) yang walaupun kadang menyebalkan dan bikin kepala puyeng, kalian tetap menjadi adik yang tidak dapat dilupakan.

Teman – teman **MESIN'08** (*Emperor*) baik yang sudah sukses maupun yang sedang meniti kesuksesan, terima kasih untuk 4,5 tahun yang menyenangkan dan penuh warna. **MAY VENDRA RIESA H.P**, terima kasih sudah menjadi sahabat, saudara, dan pelindung yang baik. **PARA ASISTEN LABORATORIUM PENGECORAN LOGAM**, Bapak **GATOT** yang telah membantu dalam pelaksanaan penelitian. **ANISA RAHMA** dan **LAILY AMALIA**, yang sudah mau menjadi tempat berkeluh kesah, tempat menyalurkan semua ide yang ada selama menjadi mahasiswa.

Teman – teman sabuk hitam karate Senaputra yang tergabung dalam Gank Kece (**ILHAM, WINDA, CANDRA**) terima kasih sudah mau menerima segala kekurangan dan kelemahan saya, terima kasih untuk 13 tahun dan masih akan terus berlanjut yang menyenangkan dan penuh warna serta canda tawa. Untuk guru, orang tua, dan yang paling bisa membentuk siapa saya sekarang Bapak **UDJANG SURYANA**, guru yang sedari awal membimbing dan mengajarkan ilmu beladiri pada saya.

Semua saudara di **BESWAN DJARUM** seluruh Indonesia. Bapak **PRIMADI H. SERAD, VIVI ADELIANA** (*juariah*), **NESERIKE** (*emak*). Senior senior beswan malang 25 (**AWANG, FEBRINA GRACE, AMEL, DINA, HAPPY, HAPPY(pipi), RIAND F, RIAND S** (*keceng*), **ROSYIDAH** (*iddah*), dan semua orang yang tergabung dalam

KELUARGA BESAR BESWAN MALANG, terima kasih untuk inspirasi sukses kalian semua.

WALANG'26 (**Genthonk**, **Avis**, **Boey**, **Addin**, **Rindha**, **Yuli**, **Ainun**, **Eva**, **Bunda Novika**, **Emma**, **Fuji**, **Biebie**, **Firman**, **Al**, **Fifi**, **Momo**, **Jonggi**, **Lulu**, **Becca**.) terima kasih sodara – sodara ku semua, kita tertawa dalam kebahagiaan dan menangis dalam kesedihan bersama, dan akan selalu bersma, walau sekarang jarak adalah hambatan, tapi cinta kalian akan selalu ada untukku, selamanya, dan selalu di hati.

PRAWINDA PUTRI ANZHARI (Genk Bekecot), **MUTIANI**, **IDA BAGUS NYOMAN KESUMA YUDA**, **ALFIAN WAHYU UTAMA** (Gank Onthel). **ESTY PRASTYA**, **SITI MEGANANDA**, **SUSASTRO**, **YOSSY IMAM CANDIKA**, **ARDIANSYAH BILA PRATAMA AKBAR**, **FERDY HENDRAWAN**. Terima kasih untuk semua cinta kalian sahabat – sahabat yang selalu setia dengan segala keluh kesah yang bahkan kadang penuh kebodohan. Terima kasih telah menjadi sahabat yang baik dan selalu baik kepada genthonk. Mau menerima genthonk dengan baik dan buruknya, selalu tertawa ketika genthonk melucu dan ikudh menangis saat genthonk berduka.

TOMMY (motor supra) yang sudah setia menemani dalam berkendara, hujan badai tak pernah mengeluh. **PIPI** (laptop) yang sudah bersedia menyimpan semua data penting dalam pengujian yang telah dilakukan. **VEVE** (helm kesayangan) yang sudah menjaga kepala ini beserta isinya selama berkendara. **TUMINI** (hp android) **BEBY** (blackberry) yang sudah setia memberikan informasi informasi berharga dan menghubungkan genthonk dengan yang lain. **SONNY** (printer) yang sudah berbaik hati mencetak segala keluh kesah dan dokumen dokumen penting.

Mohon maaf bagi yang namanya tidak dapat tertulis dalam skripsi ini, namun semua cinta dan kasih saying kalian akan selalu dijaga dan disyukuri.

“Kinerja seseorang tidak bergantung pada jenis kelamin dan orientasi seksualnya, tapi bergantung pada kemampuan berfikir dan menganalisa masalah. Jadi jangan ragu untuk menjadi siapapun yang kalian mau, karena kalian terlahir cantik dan luar biasa.”

Genthonk Genthink

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
LEMBAR PERSEMBAHAN	ii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
RINGKASAN	x
BAB I PENDAHULUAN	
1. 1 Latar Belakang	1
1. 2 Rumusan Masalah	3
1. 3 Batasan Masalah	3
1. 4 Tujuan Penelitian	4
1. 5 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2. 1 Penelitian Sebelumnya	5
2. 2 Pengecoran Logam	
2. 2. 1 Pengertian Pengecoran Logam	6
2. 2. 2 Macam Macam Pengecoran Logam	7
2. 3 <i>Squeeze Casting</i>	8
2. 4 Parameter Proses Pengecoran <i>Squeeze</i>	9
2. 5 Aplikasi Pengecoran <i>Squeeze</i>	10
2. 6 Sifat sifat Logam Cair	
2. 6. 1 Perbedaan Logam Cair dan Air	11
2. 6. 2 Fluiditas	12
2. 6. 3 Pembekuan Logam	13
2. 7 Alumunium	
2. 7. 1 Pengolahan Alumunium	15
2. 7. 2 Sifat Sifat Alumunium	16
2. 7. 3 Pengaruh Unsur Unsur Paduan	16
2. 7. 4 Penggolongan Paduan Alumunium	18

2. 7. 5	Alumunium Paduan	19
2. 8	Cacat Cacat Pengecoran	
2. 8. 1	Macam Macam Cacat Pengecoran	21
2. 8. 2	Cacat Porositas	22
2. 9	Densitas	
2. 9. 1	Macam Macam Densitas	24
2. 9. 2	Pengukuran Densitas dengan Menggunakan Metode Piknometri	24
2. 10	<i>Plunger</i>	25
2. 11	Gaya Tekan	
2. 11. 1	Definisi Gaya Tekan	25
2. 11. 2	Hubungan Tekanan dan Gaya Tekan	26
2. 12	Kekuatan Tarik	
2. 12. 1	Definisi Kekuatan Tarik	26
2. 12. 2	Hubungan Tegangan dan Regangan	27
2. 13	Bentuk dan Ukuran Benda Uji	28
2. 14	Hipotesa	29
BAB III	METODOLOGI PENELITIAN	
3. 1	Metode Penelitian	30
3. 2	Waktu dan Tempat Pelaksanaan	30
3. 3	Variabel Penelitian	30
3. 4	Prosedur Penelitian	
3. 4. 1	Tahap Persiapan	31
3. 4. 2	Pengujian	31
3. 4. 3	Cara Kerja Mesin <i>Squeeze Casting</i>	33
3. 4. 4	Pengambilan dan Pengolahan Data	33
3. 5	Peralatan dan Bahan Penelitian	
3. 5. 1	Peralatan Penelitian	34
3. 5. 2	Bahan Penelitian	35
3. 6	<i>Analisis of Varian (ANOVA) One Way Classification</i>	35
3. 7	Diagram Alir Penelitian	38
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN	
4. 1	Pengujian Porositas	

4. 1. 1	Data Hasil Pengujian Porositas	40
4. 1. 2	Pembahasan Hasil Pengujian Porositas	43
4. 1. 3	Analisis Statistik	44
4. 2	Pengujian Kekuatan Tarik	
4. 2. 1	Data Hasil Pengujian Kekuatan Tarik	46
4. 2. 2	Pembahasan Hasil Pengujian Kekuatan Tarik	47
4. 2. 3	Analisis Statistik	49
4. 3	Foto Mikrostruktur	51
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		
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	12
Tabel 2.2	Sifat-sifat fisik aluminium	16
Tabel 2.3	Klasifikasi paduan aluminium tempa	18
Tabel 2.4	Klasifikasi paduan aluminium coran	19
Tabel 2.5	Sifat Alumunium Paduan <i>Al-Mg-Si</i>	21
Tabel 3.1	Tabel Pengamatan Data RAL	36
Tabel 3.2	<i>Analisis of Varian One Way Classification</i> untuk RAL	37
Tabel 4.1	Data Hasil Penimbangan Spesimen Porositas	40
Tabel 4.2	Data Perhitungan <i>True Density</i>	42
Tabel 4.3	Data <i>Apparent Density</i> Spesimen Porositas	42
Tabel 4.4	Data Prosentase Spesimen 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 Prosentase Porositas	46
Tabel 4.7	Data Beban Tarik Maksimum (N)	47
Tabel 4.8	Data Kekuatan Tarik (N/mm ²)	47
Tabel 4.9	Data Kekuatan Tarik Spesimen untuk RAL	49
Tabel 4.10	<i>Analisis of Varian One Way Classification</i> RAL untuk Kekuatan Tarik	50

DAFTAR GAMBAR

No	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Macam – macam pola	7
Gambar 2.2	Mekanisme <i>Direct Squeeze Casting</i>	8
Gambar 2.3	Mekanisme <i>Indirect Squeeze Casting</i>	9
Gambar 2.4	Berbagai jenis part <i>ferrous</i> dan <i>non-ferrous</i> yang dibuat menggunakan pengecoran <i>squeeze</i> .	11
Gambar 2.5	Grafik hubungan antara fluiditas terhadap panas dari logam	13
Gambar 2.6	Ilustrasi skematis dari pembekuan logam	14
Gambar 2.7	Struktur <i>Chill</i> , <i>Columnar</i> , dan <i>Equaxed Zone</i>	15
Gambar 2.8	Diagram Fase Al-Mg-Si	20
Gambar 2.9	Skema Piknometri	25
Gambar 2.10	<i>Plunger</i>	25
Gambar 2.11	Diagram Tegangan Regangan Aluminium 1001	27
Gambar 2.12	Diagram Tegangan Regangan secara umum	27
Gambar 2.13	Penentuan tegangan luluh dengan metode offset	28
Gambar 2.14	Bentuk dan Ukuran Standar Spesimen Uji Tarik.	29
Gambar 3.1	Pola Coran Silinder untuk Pengujian Porositas	31
Gambar 3.2	Pola Coran Silinder untuk Pengujian Porositas	31
Gambar 3.3	Pola untuk Pengujian Tarik	32
Gambar 3.4	Instalasi Penelitian	32
Gambar 3.5	Pola Cetakan	34
Gambar 4.1	Grafik Pengaruh Penekanan <i>Plunger</i> pada <i>Squeeze Casting</i> dengan rata rata Prosentase Porositas Coran Al-Mg-Si	44
Gambar 4.2	Grafik Hubungan Antara Besar Penekanan <i>Plunger</i> dengan rata rata Kekuatan Tarik Coran Al- Mg-Si	48
Gambar 4.3	Foto Mikro Pada Hasil Coran	51

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Al – Mg – Si 6061 <i>Properties</i>
Lampiran 2	Uji Komposisi Paduan Aluminium 6061
Lampiran 3	Hasil Pengecoran Squeeze Casting
Lampiran 4	Spesimen Pengujian Tarik
Lampiran 5	Tabel Distribusi F
Lampiran 6	Konversi Penekanan Pressure Gauge menjadi Tekanan Plunger

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



RINGKASAN

Dian Fitria Agus Aristiyono, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Januari 2013, Pengaruh Tekanan Plunger pada Squeeze Casting Terhadap Porositas dan Kekuatan Tarik Produk Coran Silinder Al-Mg-Si. Dosen Pembimbing: Yudy Surya Irawan, Pratikto.

Proses *Squeeze casting* ini biasa juga disebut dengan penempaan logam cair (*liquid metal forging*) adalah suatu metode yang menggabungkan beberapa keuntungan dari proses *forging* dan *casting*. Dalam *squeeze casting* terdapat 2 metode yang dapat dipergunakan *Direct Squeeze Casting* dan *Indirect Squeeze Casting*. Pada proses *squeeze casting* diberikan tekanan *plunger* untuk menghasilkan produk yang memiliki kualitas baik. *Plunger* adalah tuas penghubung antara piston dan *hydraulic cylinder* untuk menekan logam cair ke dalam cetakan. Tekanan sangat mempengaruhi hasil produk jadi.

Dalam penelitian ini dilakukan dengan variasi penekanan *plunger* 0,1 MPa, 10 MPa, 30 MPa, dan 50 MPa. Metode yang digunakan adalah *Direct Squeeze Casting* dimana logam cair langsung ditekan oleh *plunger* didalam cetakan tanpa perlu melalui ruangan khusus. *Subject* pengamatan pada penelitian ini adalah prosentase porositas pada hasil coran dan kekuatan tarik pada benda kerja. Alumunium dicairkan sampai dengan suhu 950° C sehingga didapatkan suhu tuang alumunium sekitar 850° - 950° C. Suhu cetakan dipanaskan sampai suhu 150° C dan diberi waktu tunggu selama 10 menit.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin besar tekanan *plunger* yang diberikan maka prosentase porositasnya semakin kecil. Hal ini disebabkan karena semakin besar tekanan *plunger* maka akan semakin banyak udara yang dipaksa keluar dari coran. Serta semakin besar variasi penekanan yang diberikan akan menghasilkan kekuatan tarik yang semakin besar, hal ini dikarenakan semakin besar penekanan *plunger* maka semakin rapat butir – butir tersebut dan semakin homogen ukuran butirnya. Nilai prosentase porositas yang tercatat berurutan adalah 1.7798 %, 1.5347 %, 1.0991 % dan 0.7621%. dan untuk *tensile strength* rata rata berurutan adalah 78.39 MPa, 105.03 MPa, 113.35 MPa, dan 125.83 MPa. Semakin kecilnya butiran yang terbentuk pada coran dapat dibuktikan melalui foto mikro.

Kata Kunci : *squeeze casting*, kekuatan tarik, prosentase porositas.

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk dunia, kebutuhan akan tersedianya barang – barang juga meningkat. Termasuk kebutuhan akan barang – barang yang terbuat dari proses pengolahan bahan yang semakin pesat dan mengalami kemajuan yang luar biasa dewasa ini. Untuk mengubah bahan mentah menjadi produk jadi atau setengah jadi diperlukan beberapa tahapan didalamnya, antara lain mengubah bentuk bahan, pemotongan, penyelesaian permukaan, penyambungan, dan tahapan untuk menyempurnakan karakteristik produk jadi tersebut (Amstead, 1991). Hasil coran akan sangat dipengaruhi oleh tahapan mengubah bahan mentah menjadi produk jadi atau setengah jadi. Untuk melakukan hal tersebut, terdapat beberapa metode yang dapat digunakan diantaranya pengecoran, pengerollan, penempaan, ekstursi, dan lain lain.

Pengecoran merupakan suatu proses manufaktur yang menggunakan logam cair dan cetakan untuk menghasilkan bagian dengan bentuk yang mendekati bentuk akhir produk jadi. Logam cair tersebut dituangkan atau ditekan ke dalam cetakan yang memiliki rongga sesuai dengan bentuk yang diinginkan. Setelah logam cair memenuhi rongga dan kembali ke bentuk padat, selanjutnya cetakan dibongkar kemudian produk coran dikeluarkan dari cetakan tersebut dan cetakan siap untuk digunakan kembali (Zainuddin, 2007).

Pengecoran logam memiliki banyak variasi sesuai dengan kebutuhan masing – masing. Salah satu diantaranya adalah *squeeze casting*. Proses *Squeeze casting* ini biasa juga disebut dengan penempaan logam cair (*liquid metal forging*) adalah suatu metode yang menggabungkan beberapa keuntungan dari proses *forging* dan *casting*. Beberapa peralatan yang dibutuhkan untuk menunjang mesin *squeeze casting* diantaranya adalah *ejector pin* (untuk *direct squeeze casting*), *gating system* (untuk *Indirect squeeze casting*), *punch, die, cavity, pouring hole, injection chamber plunger*. Ketika terjadi kontak antara permukaan *die* dan logam cair maka perpindahan panas yang terjadi akan cukup cepat dan dari hal tersebut dapat mengubah struktur mikro menjadi lebih homogen, dan benda hasil coran akan memiliki sifat mekanik yang baik serta memiliki ukuran yang mendekati ukuran sebenarnya (*near-net-shape*) (Duskiardi, 2002).

Pada proses *squeeze casting* dapat dibedakan menjadi 2 metode, yang pertama adalah *Direct Squeeze Casting* (DSC), metode ini dilakukan dengan cara mendinginkan logam cair dengan memberikan tekanan langsung yang ditujukan untuk mencegah timbulnya porositas gas dan penyusutan. Sedangkan metode yang ke dua adalah *Indirect Squeeze Casting* (ISC) metode ini dilakukan dengan cara menginjeksikan logam cair ke dalam rongga cetakan dengan menggunakan piston berdiameter kecil. Setelah menekan logam cair, posisi piston dipertahankan sampai logam cair padat dan suhunya turun. Di dalam penelitian yang akan dilakukan ini, metode yang dipilih adalah metode DSC, hal ini karena DSC jauh lebih mudah dalam peng aplikasiannya.

Sudah semenjak lama aluminium menjadi bahan yang paling sering dipakai dalam proses pengecoran logam. Terutama untuk menggantikan logam lain dengan fungsi yang sama. Hal ini terjadi bila produk harus mempunyai sifat ringan, penghantar panas yang baik, dan bertitik cair rendah. Sehingga untuk pemilihan bahan yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah paduan Al-Mg-Si. Paduan tersebut memiliki kekuatan tempa yang masih kurang dibandingkan dengan paduan lainnya, sangat liat, sangat baik untuk ekstrusi, dan sangat baik pula untuk diperkuat dengan perlakuan panas setelah pengerjaan.

Pada proses *squeeze casting* diberikan tekanan *plunger* untuk menghasilkan produk yang memiliki kualitas baik. *Plunger* adalah tuas penghubung antara piston dan *hydraulic cylinder* untuk menekan logam cair ke dalam cetakan. Tekanan sangat mempengaruhi hasil produk jadi. Hal ini disebabkan karena semakin besar tekanan maka gaya pendorong untuk mendorong logam cair semakin besar sehingga dapat menyebabkan kecepatan penekanan yang semakin tinggi serta udara dapat lebih cepat keluar sebelum logam cair membeku dan cacat porositas pada hasil produk jadi akan berkurang. Sehingga dimensi dan kualitas produk jadi yang dihasilkan semakin baik. (Firdaus, 2002).

Duskiardi (2002) dalam penelitiannya yang diberi judul Pengaruh Tekanan dan Temperatur *Die* proses *Squeeze Casting* Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro Pada Material Piston. Membandingkan beragam jenis material, temperatur *die* dan variasi tekanan. Dan hasil yang sangat signifikan diperoleh pada perbaikan sifat benda uji. Dari hasil penelitian tersebut diperoleh pula bahwa cacat porositas turun sebanyak 85.15% sedangkan sifat kekerasannya naik sebesar 5,29%. Tekanan dan temperatur *die* optimal didapatkan pada 70 – 100 MPa dan 400 – 450 °C.

Firdaus (2002) dalam penelitiannya yang berjudul Analisis Parameter Proses Pengecoran *Squeeze* Terhadap Cacat Porositas Produk Flens Motor Sungai, bervariasi parameter tekanan *squeeze*, dan temperatur *punch* dan *die*. Dan setelah dilakukan beberapa kali pengujian didapatkan hasil bahwa porositas menurun drastis dibandingkan dengan menggunakan cetakan pasir.

Dari kedua penelitian tersebut didapatkan bahwa peneliti terdahulu telah meneliti pengaruh tekanan dan temperatur *die* terhadap cacat porositas dengan beberapa variasi yang berbeda. Namun belum ada yang membahas tentang variasi tekanan *plunger* dan bahan coran berupa Al-Mg-Si.

Dari penjelasan di atas maka dalam penelitian ini akan dicari pengaruh tekanan *plunger* pada *squeeze casting* terhadap porositas dan kekuatan tarik coran silinder Al-Mg-Si.

1.2 Rumusan Masalah

Dengan meninjau latar belakang tersebut di atas maka, dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

Bagaimanakah pengaruh tekanan *plunger* pada *squeeze casting* terhadap porositas dan kekuatan tarik coran silinder Al-Mg-Si.

1.3 Batasan Masalah

Untuk memberikan hasil yang maksimal, maka perlu diberikan batasan masalah yang meliputi:

1. Material yang digunakan merupakan aluminium paduan, dengan paduannya adalah magnesium (Mg) dan silikon (Si)
2. Proses pengecoran menggunakan mesin *Squeeze Casting*.
3. Suhu penuangan logam cair 650 °C.
4. Suhu cetakan logam 150 °C.
5. Variasi gaya tekan *plunger* 0.1 MPa, 10 MPa, 30 MPa, 50 MPa.
6. *Volume* dan waktu penuangan dijaga *constant*.
7. Sebagai acuan yang menjadi pembanding adalah ditinjau dari cacat porositas yang terjadi pada hasil coran.
8. Kekuatan tarik (*Tensile Strength*) disini dapat diartikan sebagai kekuatan tarik pada saat spesimen mengalami tegangan *ultimate*.
9. Lama penekanan 5 menit. Waktu tunggu bongkar cetakan 5 menit.

1.4 Tujuan Penelitian

Dari rumusan masalah diatas, maka dapat diperoleh tujuan dilakukannya penelitian ini adalah:

Untuk mengetahui pengaruh tekanan *plunger* pada *squeeze casting* terhadap porositas dan kekuatan tarik coran silinder Al-Mg-Si.

1.5 Manfaat penelitian

1.5.1 Manfaat bagi Pemerintah

Penelitian ini dapat memberikan masukan yang bermanfaat khususnya dalam bidang industri pengecoran secara umum dan pengecoran penempaan logam cair (*Squeeze Casting*) pada khususnya.

Penelitian tersebut juga dapat dijadikan sebagai tolak ukur untuk penelitian – penelitian serupa di masa yang akan datang demi majunya dunia industri logam di Indonesia.

1.5.2 Manfaat bagi Penulis

Bagi penulis, penelitian tersebut memberikan pembelajaran, pengetahuan, serta pemahaman baru mengenai ilmu – ilmu pengecoran, dan diharapkan akan mampu dijadikan nilai jual di dunia kerja.

Mampu menerapkan teori – teori yang didapatkan selama perkuliahan terutama yang berhubungan dengan teknologi pengecoran logam.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Duskiardi (2002) menyatakan bahwa penelitian pertama adalah tentang pengaruh tekanan terhadap perilaku logam (Al-Si) yang dilakukan oleh Welter tahun 1931. Semenjak saat itu penelitian tentang *squeeze casting* terhenti sampai pada tahun 1960 dilakukan berbagai penelitian tentang sifat struktur paduan aluminium A356 setelah diproses menggunakan metode *squeeze casting* dengan bermacam – macam variasi pengecoran. Sedangkan untuk penelitian yang dilakukan Duskiardi, dihasilkan kesimpulan bahwa kekerasan maksimum sebesar 115 kg/mm², hal tersebut terjadi pada saat temperatur 400 °C dengan tekanannya 70 MPa. Hal itu menjelaskan bahwa temperatur *die* sangat berpengaruh terhadap kekerasan produk coran *squeeze casting*. Menurut Duskiardi hal tersebut dimungkinkan karena pembekuan logam cair tersebut terjadi dengan laju pendinginan yang cepat. Dari hasil penelitian ini, terjadi peningkatan sebesar 5,29% untuk perbaikan struktur kekerasannya, dan 85,15% untuk penurunan kadar porositas yang terkandung didalamnya.

Reihani (2004) dalam jurnal internasional menjelaskan bahwa untuk mendapatkan material Al 6061/SiC komposit, pembuatannya dengan cara *squeeze casting*. Material tersebut dibentuk oleh serbuk SiC yang mengandung 16 dan 22 ukuran partikel, dengan silika koloid sebagai pengikat 6061 Al maka akan mencair ketika diproses dengan menggunakan *squeeze casting*. Dari hasil tersebut ditemukan bahwa kekerasan yang lebih tinggi, kekuatan luluh, kekuatan tarik dan young modulus dapat diperoleh dengan penambahan partikel SiC ke dalam paduan Al 6061.

Firdaus (2002) menyatakan bahwa pada awal penelitian dilakukan uji komposisi terlebih dahulu, untuk mendapatkan nilai komposisi dari bahan yang akan diuji. Setelah itu bahan dilelehkan dalam suhu 700 °C, dalam penuangan logam cair tidak diperbolehkan memberikan kecepatan yang rendah ketika penuangan. Hal tersebut dapat menyebabkan semakin tingginya kemungkinan terjadinya aliran laminar. Dalam beberapa penelitian sebelumnya dengan variasi data kecepatan aliran sebesar 320 cm³/sec dan tekanan *squeeze* sebesar 90 MPa, dengan perlakuan panas T6 didapatkan *ultimate tensile strength* mengalami kenaikan dan perpanjangan juga mengalami kenaikan apabila dibandingkan dengan *cor high pressure die cast*.

2.2 Pengecoran Logam

2.2.1 Pengertian Pengecoran Logam

Pengecoran ialah proses logam cair yang dituangkan ke dalam cetakan. Sebelum menuangkan logam cair tersebut, bahan baku pengecoran logam harus dipanaskan hingga batas titik leburnya, baru setelah benar – benar cair maka dituangkan kedalam cetakan atau *cavity* dengan bentuk pola yang diinginkan (Rembank, 2010).

Berbagai macam bahan dapat diproses dengan menggunakan metode pengecoran logam ini, mulai dari besi, baja paduan tembaga (kuningan, perunggu, perunggu aluminium dan lain sebagainya), adapula paduan ringan (paduan aluminium, paduan magnesium, dan lain sebagainya) selain itu beberapa paduan lain juga dapat diaplikasikan dalam pengecoran logam yaitu paduan seng, monel (paduan nikel yang diberikan tembaga sedikit) (Rembank, 2010).

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

1. Pada proses pengecoran dapat dibuat bentuk – bentuk yang rumit, kompleks, dan simetri sesuai gambar / desain yang dibuat.
2. Dalam beberapa metode pengecoran logam dapat langsung dihasilkan suatu produk akhir (*net shape*), sehingga tidak diperlukan lagi proses – proses lainnya.
3. Dalam beberapa metode pengecoran logam juga dapat digunakan untuk membuat bagian atau komponen yang sangat besar, ± 100 ton. Sehingga tidak perlu berkali – kali dalam melaksanakan pengecoran logam.
4. Metode pengecoran logam ini juga dapat digunakan untuk banyak jenis bahan logam yang dipanaskan sampai titik leburnya.
5. Beberapa metode pengecoran logam dapat diaplikasikan untuk memproduksi barang secara massal.

Sedangkan untuk kekurangan dari pengecoran logam ini biasanya dijadikan sebagai bahan pertimbangan untuk melakukan proses ini, beberapa diantaranya adalah:

1. Sifat menyerap/ merembes.
2. Keakuratan dimensi geometrik dan kerataan permukaan yang rendah.
3. Bahaya/resiko keselamatan kerja saat peleburan logam.

(Rembank, 2010).

2.2.2 Macam – Macam Pengecoran Logam

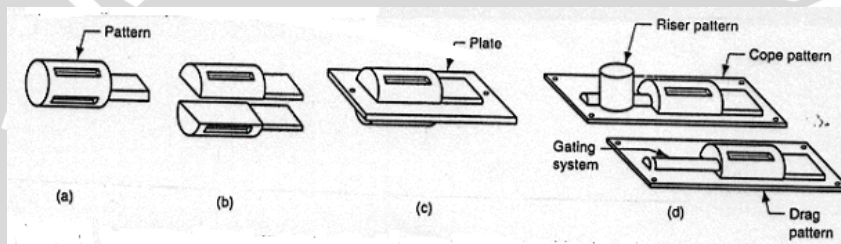
Pengecoran logam ditinjau dari jenis cetakannya (*mold*) dapat dibedakan menjadi 2 jenis (Mikell P, Groover. *Fundamentals of Modern Manufacturing*: 21), yaitu:

A. Pengecoran dengan cetakan sekali pakai

Untuk mengeluarkan hasil coran, maka cetakan harus dihancurkan. Dengan kata lain diperlukan cetakan baru untuk setiap proses pengecoran. Hal ini yang membuat efisiensi waktu menjadi rendah. Beberapa contoh pengecoran tersebut adalah:

1. Pengecoran dengan menggunakan cetakan pasir

Pada pengecoran ini dapat dibedakan menjadi beberapa macam tergantung pola yang digunakan, antara lain:



Gambar 2.1: Macam – macam pola
Sumber: Groover: 23

- a. Pola padat (*Solid Pattern*)
 - b. Pola belah (*Split Pattern*).
 - c. Pola dengan papan penyambung (*Match – Plate Pattern*)
 - d. Pola dengan *cope* dan *drag* (*cope and drag pattern*)
2. Pengecoran dengan menggunakan cetakan khusus
 - a. Cetakan kulit (*Shell moulding*)
 - b. Cetakan vakum
 - c. Cetakan polisteren
 3. Pengecoran presisi (*Investment casting*)
 4. Pengecoran dengan plaster ($2\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$)
 5. Pengecoran dengan keramik
- ### B. Pengecoran dengan cetakan permanen
1. Pengecoran tuang (*Slush casting*)
 2. Pengecoran bertekanan rendah (*Low pressure casting*)

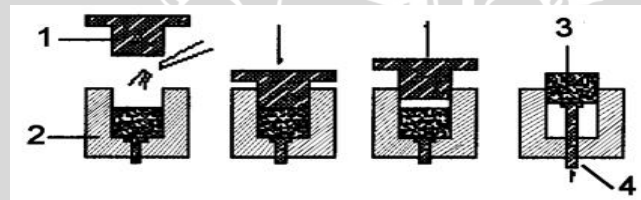
3. Pengecoran cetakan permanen vakum (*Vacuum permanent mold casting*)
4. Pengecoran cetak tekan (*Die casting*)
5. Pengecoran sentrifugal (*Centrifugal casting*)

2.3 Squeeze Casting

Secara harfiah *squeeze casting* dapat diartikan sebagai penempaan logam cair atau *liquid metal forging*, yaitu suatu proses dimana logam cair didinginkan dengan diberikan tekanan – tekanan. Pada dasarnya proses ini mengkombinasikan beberapa keuntungan yang terdapat pada proses *forging* dan *casting*. Atau dengan kata lain *squeeze casting* ini adalah penyempurnaan dari metode yang sudah ada.

Untuk perlengkapan yang dibutuhkan selama proses *squeeze* antara lain, dapur pemanas, mekanisme *press*, *punch*, dan *die* (*direct*), *pouring hole*, *injection chamber plunger* dan *gating system*. Pada waktu logam cair dimasukkan ke dalam instalasi mesin *squeeze* maka akan timbul kontak antara logam cair dan *die*, hal tersebut memungkinkan untuk terjadinya perpindahan panas yang cukup cepat sehingga struktur mikro yang diperoleh lebih homogen, dan berkat hal tersebut maka sifat mekanik menjadi lebih baik lagi.

a. Direct Squeeze Casting (DSC)



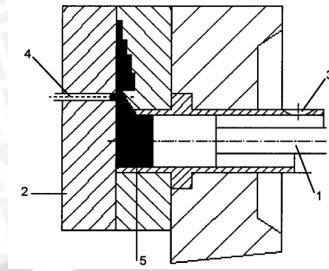
Gambar 2.2 : Mekanisme *Direct Squeeze Casting*
Sumber : Firdaus. 2002 ; 7

Keterangan gambar:

1. *Punch*
2. *Dies*
3. Benda Cetak
4. *Plunger* Pendorong

Metode DSC dapat diadopsi untuk menghasilkan komponen otomotif, seperti *piston*, *brake-disc*, *velg/wheel*; dan industri rekayasa umum lainnya dengan kualitas yang cukup tinggi.

b. *Indirect Squeeze Casting (ISC)*



Gambar 2.3 : Mekanisme *Indirect Squeeze Casting*
Sumber : Firdaus. 2002 ; 8

Keterangan gambar:

1. *Plunger* penekan
2. *Dies*
3. *Pouring hole*
4. *Gating system*
5. Benda cetak

Faktor utama dalam ISC ialah memberikan proses pengisian rongga cetak secara mulus tanpa mengakibatkan aliran turbulen. Ini berarti bahwa cairan logam mengalir secara laminar selama pengisian rongga cetak. Makin rendah kecepatan pengisian menyebabkan makin tingginya kemungkinan untuk mendapatkan aliran laminar

2.4 Parameter Proses Pengecoran *Squeeze*

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

a) Volume Cairan Logam (*Melt Volume*)

Ketika menuangkan logam cair ke dalam rongga cetakan dibutuhkan waktu yang akurat (*die cavity*).

b) Temperatur Tuang (*Casting Temperature*)

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

c) Temperatur Perkakas (*Tooling Temperature*)

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

d) Waktu Tunggu (*Time Delay*)

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

e) Batas Tekanan (*Pressure Level*)

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

f) Durasi Penekanan (*Pressure Duration*)

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

g) Pelumasan (*Lubrication*)

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

h) Kecepatan Pengisian (*Filling Rate*)

Makin rendah kecepatan pengisian akan menyebabkan makin tingginya kemungkinan untuk mendapatkan aliran laminar.

2.5 Aplikasi Pengecoran *Squeeze*

Aplikasi untuk pengecoran *squeeze* telah dilakukan selama berpuluh – puluh tahun. Sehingga sudah banyak contoh macam produk jadi dan setengah jadi yang sudah tercipta melalui proses *squeeze casting* tersebut. Telah banyak pula logam paduan yang dipaliskasikan dalam pengecoran. Beberapa contoh diantaranya adalah seperti yang ditunjukkan seperti pada gambar 2.4, antara lain *aluminium dome*, *ductile iron mortar shell*, dan *steel bevel gear*. bagian- bagian lain yang telah dan sedang dicor dengan metode *squeeze* antara lain *stainless steel blades*, *superalloy disks*, *aluminum automotive wheels* dan piston, dan *gear blanks* yang terbuat dari brass dan bronze.



Gambar 2.4 : Berbagai jenis part *ferrous* dan *non-ferrous* yang dibuat menggunakan pengecoran *squeeze*.

Sumber : *ASM Handbook Vol. 9 Casting* 1998: 718

2.6 Sifat – Sifat Logam Cair

2.6.1 Perbedaan Logam Cair dan Air

Logam cair merupakan cairan yang seolah – olah serupa dengan air, namun sangat berbeda pada dasarnya. Kecairan logam sangat bergantung pada temperatur dan logam cair tersebut akan mencair seutuhnya dalam kondisi temperatur yang tinggi, namun akan membeku pada temperatur rendah. Hal tersebut berbeda dengan air, terutama pada keadaan terdapat banyak inti – inti Kristal.

Berat jenis logam cair lebih besar dari pada berat jenis air. 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. Ditinjau dari hal tersebut, semakin jelas terlihat perbedaan antara logam cair dan 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..

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

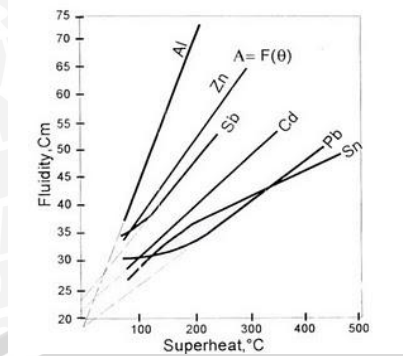
Sumber : Surdia.1980 : 12

2.6.2 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.



Gambar 2.5 : Grafik hubungan antara fluiditas terhadap panas dari logam
Sumber : vai/aluminiumcasting, 2009

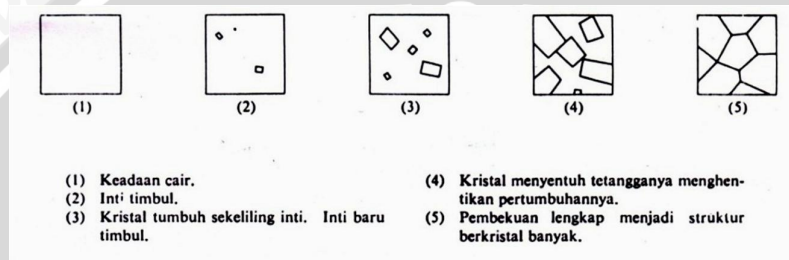
2.6.3 Pembekuan Logam

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.



Gambar 2.6 : Ilustrasi skematis dari pembekuan logam

Sumber : Surdia. 1980 : 14

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

1. 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 *liquidus*. 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.

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*.

2. *Columnar zone*

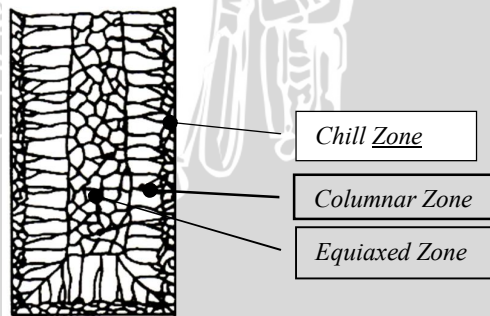
Setelah penuangan, gradien temperatur pada dinding cetakan turun dan kristal pada daerah *chill* tumbuh memanjang dalam arah kristal tertentu.

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.

3. *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.



Gambar 2.7: Struktur *Chill*, *Columnar*, dan *Equiaxed Zone*
Sumber : Kalpakjian, 1990 : 279

2.7 Aluminium

2.7.1 Pengolahan Aluminium

Aluminium berasal dari biji aluminium yang disebut bauksit. Untuk mendapatkan aluminium murni dilakukan proses pemurnian pada bauksit yang

menghasilkan oksida aluminium atau alumina. Kemudian alumina ini dielektrosa sehingga berubah menjadi oksigen dan aluminium. Aluminium adalah logam terpenting dari logam nonferro. Penggunaan aluminium adalah yang kedua setelah besi dan baja (Surdia.1999 : 129).

Aluminium merupakan salah satu logam yang memiliki banyak sekali keunggulan. Aluminium sangat ringan, 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. Keutamaan dari aluminium dalam bidang teknik adalah sifatnya yang unik dan menarik, yaitu mudah untuk pengerjaan lanjutan, beratnya yang ringan, konduktifitas listrik dan panas baik (De Garmo.1998 : 157). Aluminium bersifat *paramagnetic*, tidak beracun sehingga aman untuk peralatan dan industri makanan.

2.7.2 Sifat – Sifat Aluminium

Tabel 2.2 : Sifat-sifat fisik aluminium

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

Sumber : Surdia, 1999:134

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

2.7.3 Pengaruh Unsur – Unsur Paduan

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

1. 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 ketahanan korosi. Namun silikon mempunyai pengaruh buruk yaitu menurunkan sifat mampu mesinnya.

2. Magnesium (Mg)

Magnesium adalah unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki simbol Mg dan nomor atom 12. 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, sifat mampu bentuk serta mampu mesin tanpa menurunkan keuletannya.

3. 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.

4. 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.

5. Seng (Zn)

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

6. 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.

2.7.4 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 pemaduannya 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.

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 (Mg ₂ Si)
7xxx(7070-7079)	70S-79S	Zinc (Zn)

Sumber : Surdia. 1999 : 134

2. Paduan Aluminium Cor (*Casting – Alluminium 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 table 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, 1997 : 176

2.7.5 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% (Tata Surdia, 1996 :136).

4. Paduan *Al-Cu*

Merupakan paduan yang dapat diperlakukan panas. Dengan dikeraskan endapannya ataupun penyepuhan sifat mekanis, paduan ini dapat

menyamai sifat dari baja lunak akan tetapi daya tahan korosinya lebih rendah dibanding jenis paduan lainnya (Heine, 1976: 294).

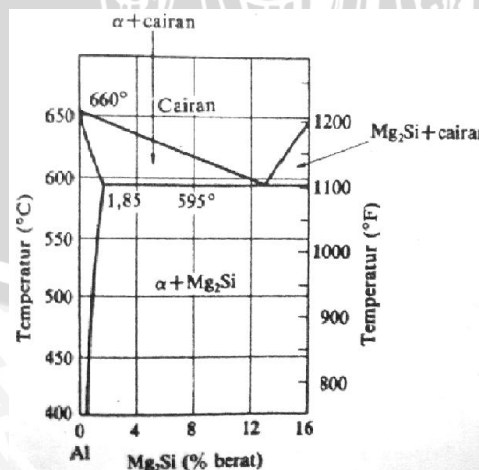
5. Paduan Al-Mg

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

6. Paduan Al-Mg-Si

Merupakan jenis paduan aluminium seri 6xxx, sebagai paduan praktis dapat diperoleh paduan 6053, 6063 dan 6061. Kekuatan tempa pada paduan ini masih kurang dibandingkan dengan paduan lainnya, sangat liat, sangat baik untuk ekstrusi, dan sangat baik pula untuk diperkuat dengan perlakuan panas setelah pengerjaan. Titik cair terendah untuk mencairkan paduan Al-Mg-Si adalah 595 °C.

Diagram fase paduan Al-Mg-Si ditunjukkan pada Gambar 2.8. Fase yang terjadi selama proses pembekuan dari ketiga golongan paduan Al-Mg-Si dapat dijelaskan sebagai berikut: sebagai contoh pada paduan Al-Mg-Si *hypoeutectic* dengan kandungan 1,85% Mg₂Si, dengan menurunkan temperatur dibawah garis *liquidus* maka fase yang terjadi adalah L + α dimana pada fase ini sudah mulai terbentuk pengintian dendrit aluminium. Ketika temperaturnya diturunkan lagi dibawah garis solidus (595° C) maka semua fase cair akan berubah menjadi fase padat dan berujung dengan terbentuknya struktur berbentuk dendrit, fase yang terjadi pada kondisi ini adalah $\alpha + \theta$.



Gambar 2.8: Diagram Fase Al-Mg-Si
Sumber: Surdia, 1999

Untuk beberapa sifat *Al-Mg-Si* yang lain akan di tunjukan dalam bentuk tabel 2.5 dibawah ini.

Tabel 2.5 :Sifat Alumunium Paduan *Al-Mg-Si*

No.	Sifat	Nilai
1	<i>Density</i>	2,71 g/cm ³
2	<i>Melting Point</i>	600 °C
3	<i>Modulus Elastisitas</i>	67 Gpa
4	<i>Electrical Resistivity</i>	0,035 X 10 ⁻⁶ Ω.m
5	<i>Thermal Conductivity</i>	180 W/m.K
6	<i>Coefficient of Friction</i>	0,36

Sumber: kuswandi, 2010

2.8 Cacat – Cacat Pengecoran

2.8.1 Macam – Macam Cacat Pengecoran

1. Pembekuan dini (*misrun*), yaitu pembekuan yang terjadi sebelum seluruh pengisian rongga cetak selesai.
2. Penyumbatan (*cold shut*), terjadi bila dua bagian logam mengalir bersama, tetapi terdapat perbedaan suhu pembekuan antara keduanya.
3. Butiran dingin (*cold shot*), percikan yang terjadi pada saat penuangan menyebabkan terbentuknya gelembung padat dan terperangkap dalam cetakan.
4. Rongga penyusutan (*shrinkage cavity*), cacat yang terjadi akibat pembekuan yang tidak bersamaan sehingga sebagian logam cair masih tertinggal dan membeku belakangan. Ini sering terjadi dekat bagian atas cetakan.
5. Mikroporisitas, kekosongan-kekosongan kecil yang menyebar dalam coran akibat penyusutan pembekuan logam cair yang terakhir pada struktur dendritik.
6. Keretakan (*hot tearing/hot cracking*), terjadi pada tahap akhir dari cetakan, tetapi ada bagian yang masih melekat sehingga terpisah dari coran.
7. Segregasi pada struktur pembekuan terdapat dua jenis segregasi yaitu segregasi makro (perubahan komposisi pada tiap bagian spesimen) dan segregasi mikro (seperti yang terjadi antara lengan dendrit sekunder)

2.8.2 Cacat Porositas

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.
- 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. Jenis – Jenis Porositas pada Pengecoran Logam

Ada dua sumber utama dari porositas dalam logam cor. Pertama, porositas rongga (*cavity porosity*) adalah dalam kaitanya dengan penuangan yang tidak tepat. Kedua, porositas mikro (*microporosity*) adalah hasil dari *mushy mode* solidifikasi dalam beberapa paduan (Verhoeven, 1975: 298).

- *Cavity Porosity* (Porositas rongga)

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

- *Microporosity* (Porositas Mikro)

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

Dua jenis karakteristik porositas mikro yang pertama porositas mikro yang disebarkan dengan seragam ke seluruh bagian, disebut dengan porositas mikro tersebar (*dispersed microporosity*). Di dalam jenis yang kedua yang disebarkan dalam lapisan-lapisan pertemuan bagian, disebut dengan porositas mikro lapisan (*layer microporosity*).

Dikarenakan pori-pori ini dimulai dari lokasi interdendritik mungkin diharapkan menjadi sungguh kecil. Ukuran khas 5-10 μm untuk pori-pori di dalam butir *equiaxed*. Ukuran ini sangat kecil bahkan pori-pori kadang-kadang sulit untuk dideteksi.

3. Perhitungan Porositas

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

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

dengan:

$\%P$ = Prosentasi porositas (%)

ρ_s = *Apparent Density* (gr/cm^3).

ρ_{th} = *True Density* (gr/cm^3)

2.9 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.

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

dengan :

ρ = kepadatan sebuah benda (gr/cm^3)

m = massa total benda (gr)

V = volum benda (cm^3)

2.9.1 Macam – Macam Densitas

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

1. *True Density*

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

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

dengan:

ρ_{th} = *True Density* (gr/cm^3).

$\rho_{Al}, \rho_{Si}, \rho_{Fe}, etc$ = Densitas unsur (gr/cm^3).

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

2. *Apparent Density*

Apparent density atau densitas sampel adalah berat setiap unit volum material termasuk cacat (void) yang terdapat dalam materia yang di uji (gr/cm^3). Standar ASTM B311-93 sebagaimana berikut:

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

dengan:

ρ_s = *Apparent Density* (gr/cm^3).

ρ_w = Densitas air (gr/cm^3).

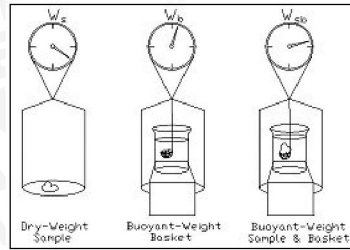
W_s = Berat sampel di luar air (gr)

W_b = Berat keranjang di dalam air (gr)

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

2.9.2 Pengukuran Densitas dengan 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.



Gambar 2.9 : Skema Piknometri
Sumber : Taylor, 2000

Tiga pengukuran berat yang diukur adalah W_s = pengukuran berat kering (*dry weight*), W_{sb} = pengukuran berat apung keranjang dan sampel, dan W_b = pengukuran berat apung keranjang. Pada gambar 2.10, 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.

2.10 *Plunger*

Plunger sleeve (monoblock) adalah bagian dari alat *squeeze casting* yang berbentuk silinder yang berongga dan terdapat lubang diatas bagian belakang, sebagai lubang masuknya logam cair yang dituang dari *ladle*. *Plunger* ini merupakan jalur pergerakan *plunger tip*. *Plunger* adalah komponen dari mesin, yang berupa silinder pejal, dan berfungsi untuk meneruskan gaya dorong yang dihasilkan oleh *accumulator* terhadap logam cair. atau untuk pemahaman yang lebih mudah, *plunger* ini berfungsi untuk mendorong logam cair masuk ke dalam *dies*.



Gambar 2.10 : *Plunger*
Sumber: vai/aluminiumcasting,2009

2.11 Gaya Tekan

2.11.1 Definisi Gaya Tekan

Definisi gaya yaitu suatu besaran yang menyebabkan benda bergerak. Berbagai macam gaya yaitu gaya berat, gaya listrik, gaya magnet, gaya mesin, gaya otot, gaya pegas dan gaya tekan.

Gaya tekan merupakan gaya berat (bobot) benda yang bekerja pada suatu luasan bidang secara tegak lurus.

2.11.2 Hubungan Tekanan dan Gaya Tekan

Tekanan atau dalam bahasa inggrisnya adalah Pressure merupakan gaya per satuan luas bidang yang ditekan secara tegak lurus. Satuan tegangan adalah $\text{N/m}^2 = \text{Pascal (Pa)}$. tekanan dirumuskan sebagai berikut:

$$P = F / A \quad (2-5)$$

dengan :

F : Gaya (N)

A : Luas Permukaan (mm^2)

P : Tekanan ($\text{N/mm}^2 = \text{MPa}$)

2.12 Kekuatan Tarik

2.12.1 Definisi Kekuatan Tarik

Kekuatan tarik merupakan kemampuan bahan untuk menerima beban tarik tanpa mengalami kerusakan dan dinyatakan sebagai tegangan maksimum sebelum putus. Tegangan maksimum sebelum putus dianggap sebagai data terpenting yang diperoleh dari hasil pengujian tarik, karena biasanya perhitungan – perhitungan kekuatan dihitung atas dasar kekuatan tarik ini.

Tegangan tarik didefinisikan sebagai distribusi gaya tarik persatuan luas penampang bahan yang dirumuskan dengan :

$$\sigma_b = P/A \quad (2-6)$$

dengan: σ_b = Tegangan tarik (N/mm^2)

P = Beban tarik (N)

A = Luas penampang (mm^2)

Regangan dirumuskan:

$$\varepsilon = \Delta \ell / L_o \quad (2-7)$$

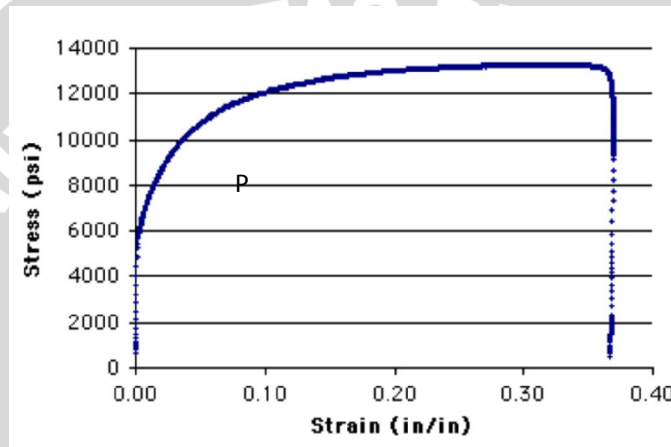
dengan : $\Delta \ell$ = Pertambahan Panjang (mm)

ε = Regangan

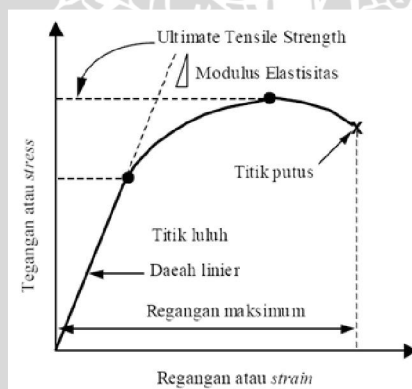
L_o = Panjang awal (mm)

2.12.2 Hubungan Tegangan dan Regangan

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



Gambar 2.11 : Diagram Tegangan Regangan Aluminium 1001
Sumber : Universitas Sumatera Utara 2012



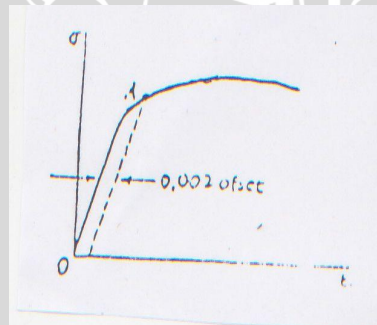
Gambar 2.12 : Diagram Tegangan Regangan secara umum
Sumber : Darmawan 2012

Dari diagram diatas dapat diperoleh:

- a Titik proposional adalah tempat terjadinya keseimbangan antara tegangan dan regangan seperti yang tertera dengan huruf P.

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

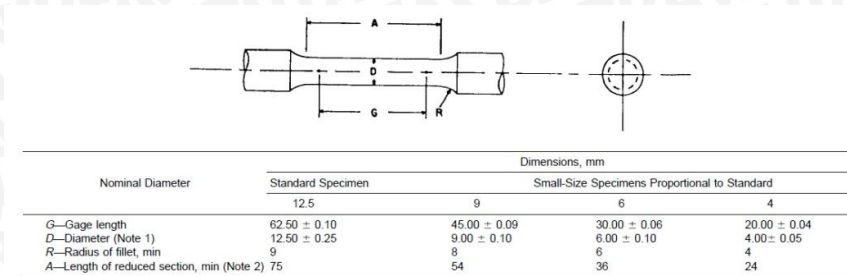
Apabila suatu proses pengujian dihasilkan diagram tegangan-regangan yang tidak memperlihatkan titik yield maka cara mencarinya dengan metode offset yaitu dengan cara menarik garis lurus (garis *offset*) yang sejajar dengan diagram tegangan-regangan yang digunakan sebagai acuan (garis lurusnya) dengan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



Gambar 2.13 : Penentuan tegangan luluh dengan metode offset
Sumber : Timoshenko 1987, 13

2.13 Bentuk dan Ukuran Benda Uji

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



Gambar 2.14 : Bentuk dan Ukuran Standar Spesimen Uji Tarik.

Sumber: ASTM B 557M – 81, 1999

2.14 Hipotesa

Semakin besar gaya tekan plunger, maka gaya yang diberikan untuk mendorong logam cair semakin besar dan menyebabkan cairan logam memenuhi seluruh ruang cetakan dan membuat udara menjadi terdistribusi bahkan keluar dari rongga cetakan, sehingga porositas pada hasil coran semakin kecil.

Semakin besar gaya tekan plunger, maka kerapatan molekul dari hasil coran akan semakin tinggi, hal tersebut menyebabkan butiran yang terbentuk semakin kecil sehingga kekuatan tariknya semakin tinggi.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode penelitian eksperimental (*experimental research*), yaitu melakukan pengamatan untuk mencari data sebab-akibat dalam suatu proses melalui eksperimen sehingga dapat mengetahui pengaruh tekanan plunger terhadap cacat porositas dan kekuatan tarik pada hasil coran.

3.2 Waktu dan Tempat Pelaksanaan

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Pengecoran Logam, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya Malang. Pada rentang waktu Mei 2012 – November 2012.

Pengujian tarik akan dilaksanakan di Laboratorium Pengujian Bahan, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Politeknik Negeri Malang. Pada rentang waktu Desember 2012.

3.3 Variable Penelitian

Variabel-variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Variabel bebas (*independent variable*)

Variabel bebas adalah variabel yang besarnya ditentukan oleh peneliti dan harganya dapat diubah-ubah dengan metode tertentu untuk mendapatkan nilai variabel terikat dari obyek penelitian, sehingga dapat diperoleh hubungan antara keduanya. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah ukuran gaya tekan plunger sebesar 0.1 MPa, 10 MPa, 30 MPa, 50 MPa.

2. Variabel terikat (*dependent variable*)

Variabel terikat adalah variabel yang nilainya tergantung dari variabel bebas dan diketahui setelah penelitian dilakukan. Variabel terikat yang diamati pada penelitian ini adalah: prosentase porositas yang terjadi pada produk hasil coran dan kekuatan tarik pada benda kerja.

3. Variabel Terkontrol

Variabel terkontrol yaitu variabel yang nilainya dijaga konstan selama pengujian. Variabel terkontrol dalam penelitian ini adalah temperatur peleburan

sebesar 800 °C, suhu cetakan sebesar 150 °C, *time delay* 10 menit, waktu penuangan konstant.

3.4 Prosedur Penelitian

Pada penelitian ini akan dilakukan eksperimen untuk mengetahui pengaruh tekanan *plunger* terhadap cacat porositas pada proses *squeeze casting* dengan pengujian tarik. Untuk mempermudah jalannya eksperimen dimulai dengan beberapa tahap yaitu:

3.4.1 Tahap Persiapan

Tahap persiapan dengan studi pustaka untuk mengetahui faktor-faktor yang yang menyebabkan cacat porositas serta pengaruh dengan adanya *plunger* pada instalasi mesin *squeeze casting*. Studi pustaka menggunakan literatur dari buku dan jurnal.

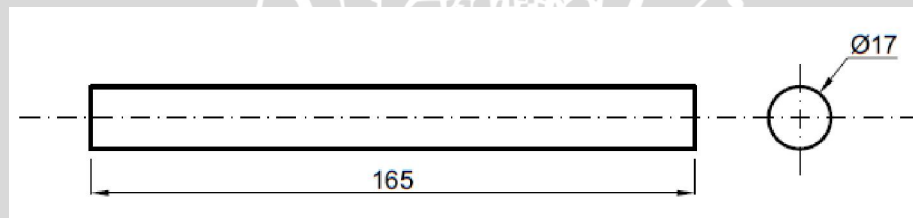
3.4.2 Pengujian

1. Persiapan pengujian

Mempersiapkan dapur peleburan, menyiapkan cetakan logam, dan menyiapkan alat – alat yang digunakan.

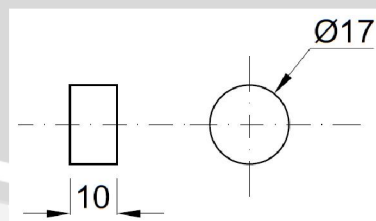
2. Membuat cetakan spesimen uji porositas

a. Pola benda kerja untuk Pengujian Porositas



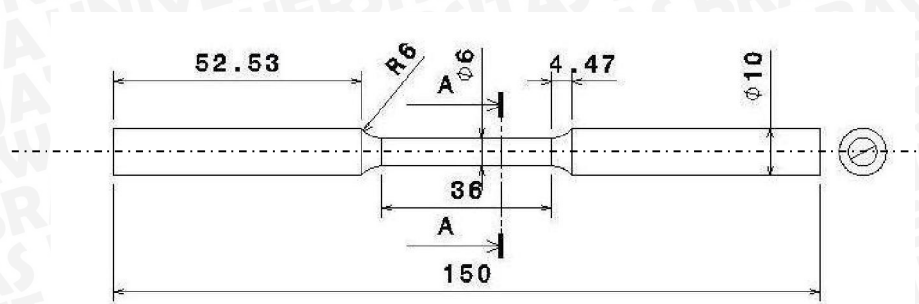
Gambar 3.1 : Pola Coran Silinder untuk Pengujian Porositas

b. Pola benda kerja untuk Spesimen Foto Mikro



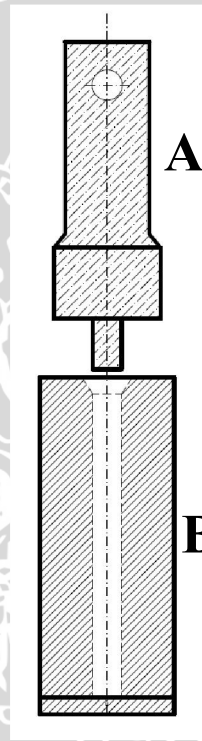
Gambar 3.2 : Pola Coran Silinder untuk Foto Mikro

c. Pola untuk Pengujian Tarik



Gambar 3.3 : Pola untuk Pengujian Tarik
Sumber: ASTM B 557M – 81, 1999

d. Instalasi Pengujian



Gambar 3.4 : Instalasi Penelitian

Keterangan Gambar:

A. *Plunger*

B. *Cetakan*

3. Peleburan bahan Al-Mg-Si sampai dengan temperatur $\pm 900^{\circ}\text{C}$.
4. Mengatur tekanan plunger menjadi 0.1 MPa, 10 MPa, 30 MPa, dan 50 MPa.
5. Penuangan logam cair ke dalam cetakan logam yaitu sebagai berikut:

- a. Pengecoran pertama dilakukan dengan menuangkan logam cair ke dalam cetakan dengan variasi gaya tekan *plunger* 0.1 MPa. Selanjutnya dilakukan pembongkaran cetakan.
- b. Pengecoran kedua dilakukan dengan menuangkan logam cair ke dalam cetakan dengan variasi gaya tekan *plunger* 10 MPa. Selanjutnya dilakukan pembongkaran cetakan.
- c. Pengecoran ketiga dilakukan dengan menuangkan logam cair ke dalam cetakan dengan variasi gaya tekan *plunger* 30 MPa. Selanjutnya dilakukan pembongkaran cetakan.
- d. Pengecoran keempat dilakukan dengan menuangkan logam cair ke dalam cetakan dengan variasi gaya tekan *plunger* 50 MPa. Selanjutnya dilakukan pembongkaran cetakan.

3.4.3 Cara Kerja Mesin *Squeeze Casting*

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

1. Memanaskan Al-Mg-Si hingga mencair dengan suhu 900°C pada dapur listrik.
2. Pasang cetakan logam ke dalam alat *squeeze casting*.
3. Panaskan cetakan logam hingga suhu 150°C kemudian cek dengan *infrared thermometer* pada semua titik cetakan.
4. Matikan alat pemanas (*burner*) kemudian tuang logam cair ke dalam saluran masuk dari alat *squeeze casting* secukupnya.
5. Menekan hidrolik silinder secara manual hingga mencapai Tekanan yang diinginkan sampai logam cair turun ke bawah dan mengisi seluruh cetakan. (variasi pertama tekanan *plunger* sebesar 10 MPa).
6. Menahan posisi *plunger* selama 5 menit, kemudian menarik tuas *plunger* dan membiarkan suhu cetakan turun selama 5 menit.
7. Membuka cetakannya dan lepas benda kerja secara perlahan setelah waktu yang ditentukan.
8. Mengulangi langkah 1-6 dengan variasi tekanan *plunger* sebesar 30 dan 50 MPa.

3.4.4 Pengambilan dan Pengolahan Data

1. Pengujian Porositas

Dari benda uji yang dihasilkan, dilakukan pengujian untuk mengetahui nilai porositas hasil coran tersebut.

- a. Mengambil benda kerja hasil coran dan dilakukan finishing.
 - b. Pengambilan data uji porositas menggunakan metode *pycnometri*.
 - c. Pengolahan data hasil pengujian.
 - d. Melakukan langkah a sampai c untuk spesimen dengan variasi tekanan plunger 0.1 MPa, 10 MPa, 30 MPa, dan 50 MPa.
 - e. Melakukan analisa dan pembahasan dari data – data yang diperoleh.
 - f. Mengambil kesimpulan.
 - g. Selesai.
2. Pengujian Tarik
- a. Mengambil benda kerja hasil coran dan dilakukan pembubutan sesuai dengan bentuk standart dalam pengujian tarik..
 - b. Pengambilan data pengujian tarik menggunakan mesin uji tarik.
 - c. Pengolahan data hasil pengujian.
 - d. Melakukan langkah a sampai c untuk spesimen dengan variasi tekanan plunger 0.1 MPa, 10 MPa, 30 MPa, dan 50 MPa.
 - e. Melakukan analisa dan pembahasan dari data – data yang diperoleh.
 - f. Mengambil kesimpulan.
 - g. Selesai.

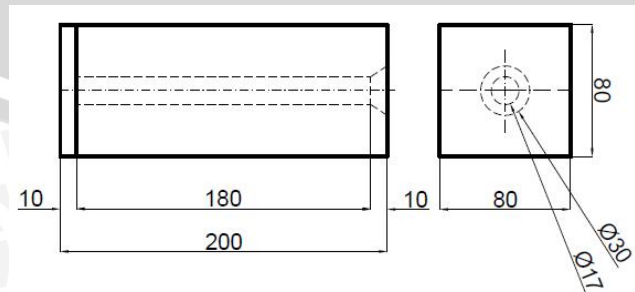
3.5 Peralatan dan Bahan Penelitian

3.5.1 Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Dapur listrik digunakan untuk proses peleburan Al-Mg-Si
2. Cetakan logam

Adalah alat yang digunakan untuk membentuk logam cair seperti bentuk yang diinginkan.



Gambar 3.5 : Pola Cetakan

3. Dongkrak hidrolik
4. *Pressure gauge*
5. Cawan tuang (ladel)
6. Peralatan *safety* (standart laboratorium)
7. Kamera digital.
8. Timbangan digital.
9. *Stopwatch*
10. *Plunger*
11. Piknometri
12. Mesin Pengujian Tarik
13. *Infrared thermometer*
14. *Burner*
15. Mesin *Squeeze Casting*

3.5.2 Bahan Penelitian

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

3.6 Analisis of Varian (ANOVA) One Way Classification

Dari *analisis of varian* (ANOVA) *one way classification* ini akan diketahui ada tidaknya pengaruh variasi penekanan terhadap prosentase porositas dan kekuatan tarik alumunium Al-Mg-Si coran hasil proses *Squeeze Casting*.

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 (prosentase porositas dan kekuatan tarik).

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

$$H_0 = \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$$

(Tidak ada pengaruh nyata tekanan *plunger* terhadap kekuatan tarik dari alumunium Al-Mg-Si coran hasil proses *Squeeze Casting*).

$$H_1 \neq \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$$

(Ada pengaruh nyata tekanan *plunger* terhadap kekuatan tarik dari alumunium Al-Mg-Si coran hasil proses *Squeeze Casting*).

Hasil pengamatan dapat dilihat pada rencana tabel 3.1 dibawah ini:

Tabel 3.1 Tabel Pengamatan Data RAL

Pengulangan	Tekanan Plunger 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 (3-1)

Jumlah Kuadrat Total (JKT)

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

Rumus (3-2)

Jumlah Kuadrat Perlakuan (JKP)

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

Rumus (3-3)

Jumlah Kuadrat Galat (JKG)

$$JKT - JKP$$

Rumus (3-4)

Derajat Bebas Perlakuan (db_{perlakuan})

$$p - 1$$

Rumus (3-5)

Derajat Bebas Total (db_{total})

$$np - 1$$

Rumus (3-6)

Derajat Bebas Galat (db_{galat})

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

Rumus (3-7)

Kuadrat Tengah Perlakuan (KTP)

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

Rumus (3-8)

Kuadrat Tengah Galat (KTG)

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

Rumus (3-9)

Dari data perhitungan diatas dapat dicari F hitung dengan rumus:

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

Rumus (3-10)

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

Tabel 3.2 *Analisis of Varian One Way Classification* untuk RAL

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		

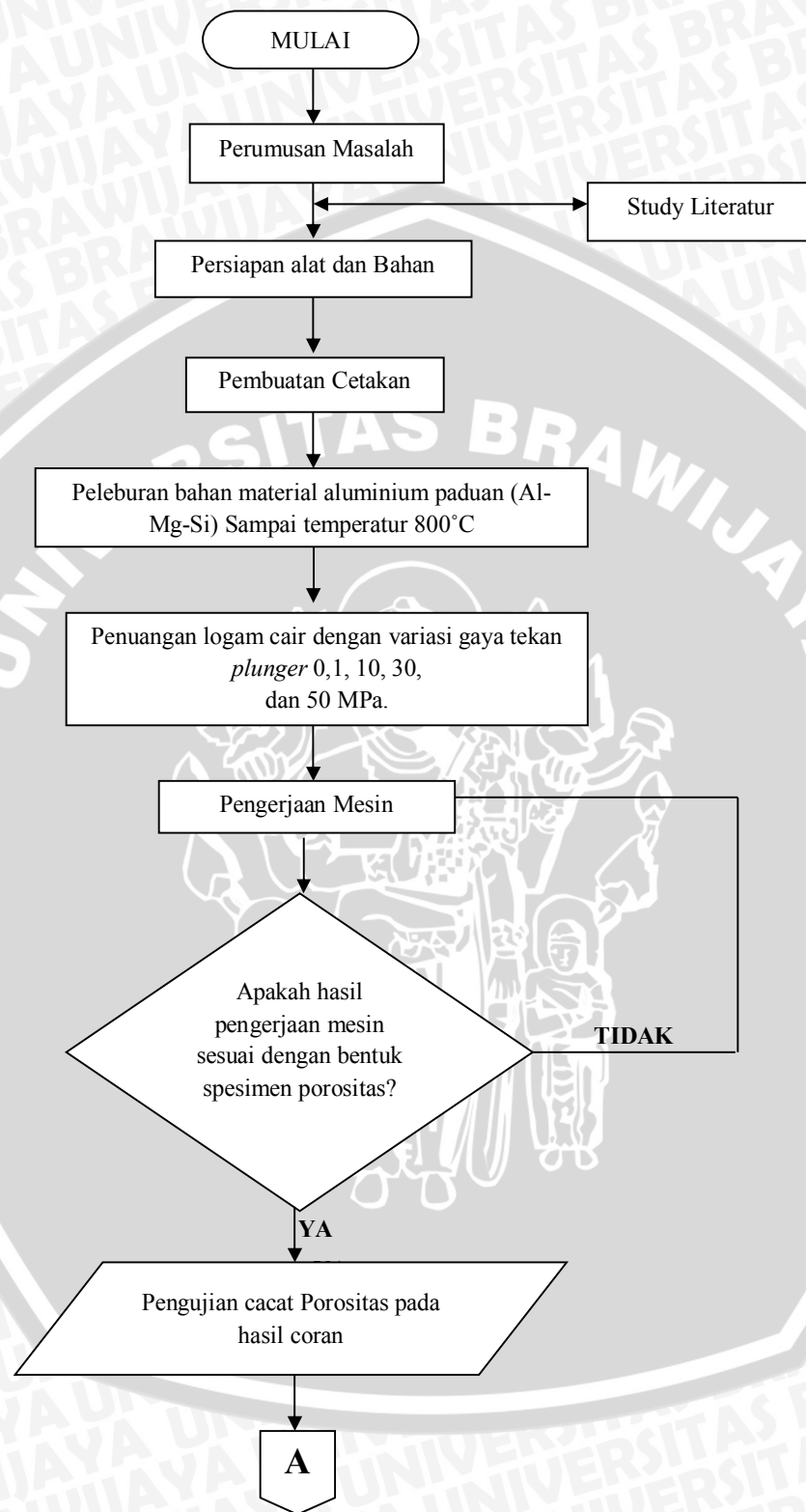
Pengujian ada tidaknya pengaruh perlakuan adalah dengan membandingkan F hitung dengan F tabel (nilai F yang berdasarkan α , $db_{perlakuan}$, dan db_{galat} yang berada di tabel sebaran F)

Jika $F_{hitung} > F(\alpha, db_{perlakuan}, db_{galat})$ berarti H_0 ditolak

Ini menyatakan bahwa ada perbedaan yang berarti antara variasi penekanan *plunger* terhadap keukatan tarik alumunium Al-Mg-Si coran hasil proses *Squeeze Casting*.

Jika $F_{hitung} < F(\alpha, db_{perlakuan}, db_{galat})$ berarti H_0 diterima

3.7 Diagram Alir Penelitian



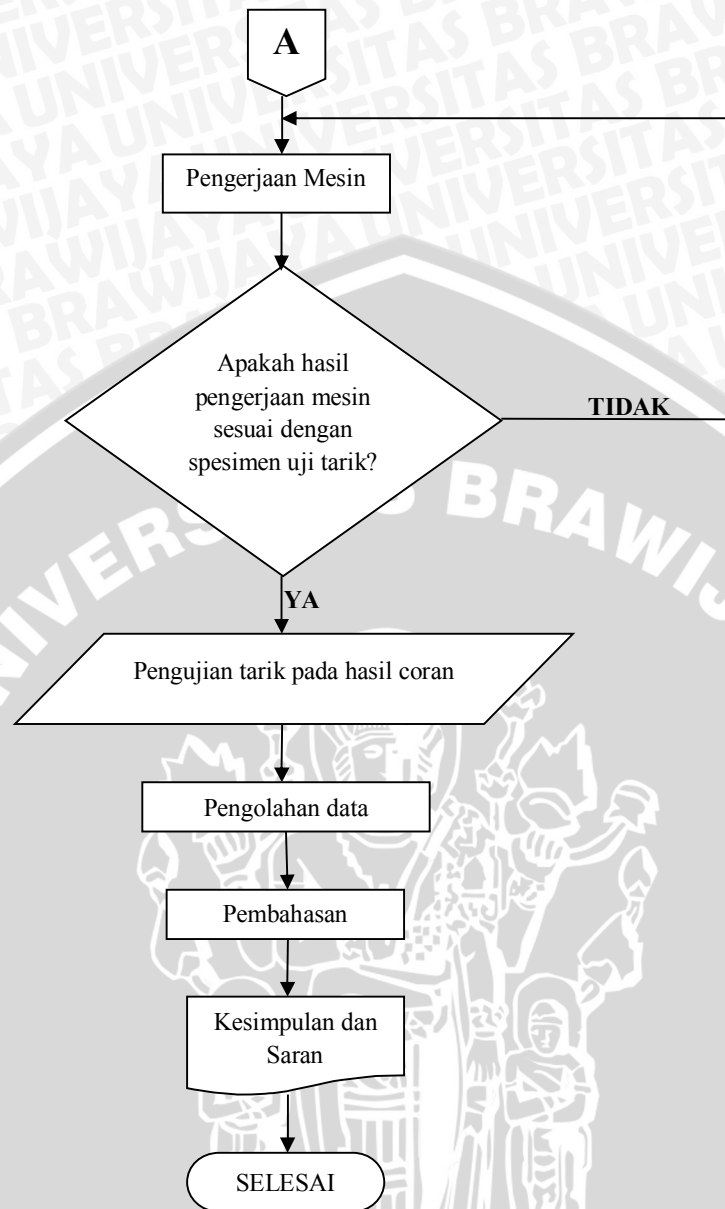


Diagram 3.1 : Diagram alir penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian Porositas

4.1.1 Data Hasil Pengujian Porositas

Dari hasil pengujian yang dilakukan di Laboratorium Pengecoran Logam, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, didapatkan berat spesimen di udara, dan berat spesimen di air yang kemudian dilakukan perhitungan sesuai dengan rumus yang tertulis dalam ASTM. Pengujian dilakukan dalam 2 kondisi, ketika spesimen belum dilakukan proses permesinan, dan setelah spesimen dilakukan permesinan untuk pengujian tarik. Dari data tersebut dibuat suatu diagram perbandingan prosentase porositas dari 4 variasi yaitu, 0,1 MPa, 10 MPa, 30 MPa, dan 50 MPa. Sehingga didapatkan data perbandingan porositas masing – masing variasi. Data hasil penimbangan spesimen tersebut dapat dilihat pada tabel 4.1 dan tabel 4.2 berikut:

Tabel 4.1 Data Hasil Penimbangan Spesimen Porositas

Tekanan (Mpa)	Pengulangan	<i>Ws</i> (gr)	<i>Wb</i> (gr)	<i>Wsb</i> (gr)
0.1 Mpa	1	99.65	3.57	65.61
	2	99.13	3.57	65.23
	3	99.03	3.57	65.14
10 Mpa	1	100.03	3.57	65.96
	2	99.72	3.57	65.64
	3	99.97	3.57	65.85
30 Mpa	1	99.93	3.57	66.03
	2	99.84	3.57	65.89
	3	100.05	3.57	66.09
50 Mpa	1	99.93	3.57	66.15
	2	101.07	3.57	66.83
	3	100.67	3.57	66.57

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

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

dengan:

$\%P$ = Prosentasi porositas (%)

ρ_s = *Apparent Density* (gr/cm³).

ρ_{th} = *True Density* (gr/cm³)

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

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

dengan:

ρ_{th} = *True Density* (gr/cm³).

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

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

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

dengan:

ρ_s = *Apparent Density* (gr/cm³).

ρ_w = Densitas air (gr/cm³).

W_s = Berat sampel di luar air (gr)

W_b = Berat keranjang di dalam air (gr)

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

Tabel 4.2 Data Perhitungan *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	6.80	0.1471	0.0170	0.0025
Pb	11.40	0.0877	0.0080	0.0007
V	6.10	0.1639	0.0100	0.0016
Sn	7.30	0.1370	0.0040	0.0005
Cd	8.65	0.1156	0.0020	0.0002
TOTAL A			2.3660	0.9574
Al	2.70	0.3704	97.6300	36.1593
TOTAL B			99.9960	37.1167
ρ_{th}	2.6942			

Tabel 4.3 Data *Apparent Density* Spesimen Porositas

Pengulangan	<i>Apparent Density</i> Pada Tekanan			
	0.1 Mpa	10 Mpa	30 Mpa	50 Mpa
1	2.6496	2.6575	2.6669	2.6755
2	2.6456	2.6486	2.6610	2.6731
3	2.6436	2.6524	2.6659	2.6724
Rata - Rata	2.6463	2.6529	2.6646	2.6737

Tabel 4.4 Data Prosentase Spesimen Porositas

Pengulangan	%Porositas			
	0.1 MPa	10 MPa	30 MPa	50 MPa
1	1.6571	1.3608	1.0123	0.6943
2	1.8047	1.6926	1.2332	0.7833
3	1.8776	1.5507	1.0519	0.8087
Rata - Rata	1.7798	1.5347	1.0991	0.7621

Contoh perhitungan menggunakan data tekanan 10 MPa pada spesimen 2:

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

$$\rho_s = 1 \frac{99,72}{99,72 - (65,64 - 3,57)}$$

$$\rho_s = 1 \frac{99,72}{37,65}$$

$$\rho_s = 2,6486$$

Maka diketahui prosentase porositasnya:

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

$$\% P = \left(1 - \frac{2,6486}{2,6942}\right) \times 100\%$$

$$\% P = (1 - 0,983) \times 100\%$$

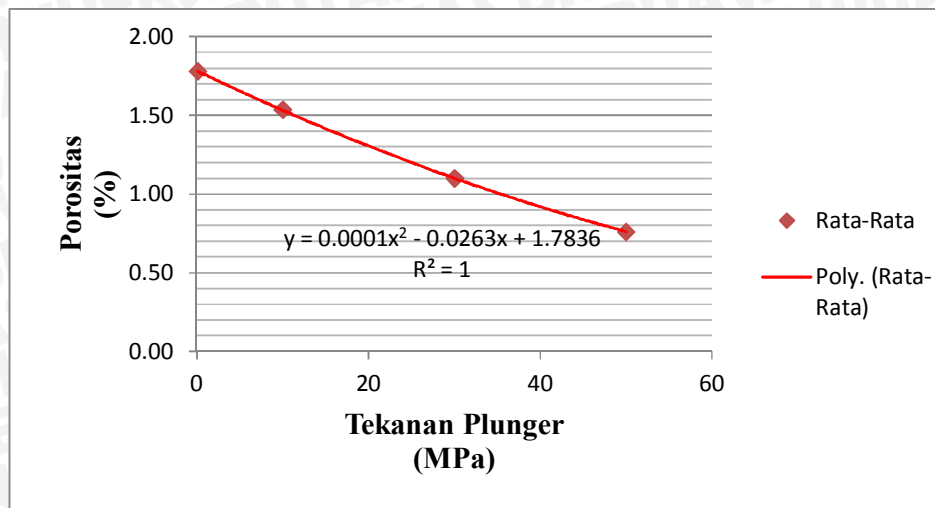
$$\% P = 0,0169 \times 100\%$$

$$\% P = 1,692 \%$$

4.1.2 Pembahasan Hasil Pengujian Porositas

Porositas dapat terjadi karena adanya rongga udara yang terjebak didalam logam coran. Porositas tersebut sifatnya mengurangi kekuatan dari bahan coran. Oleh karena itu diperlukan adanya usaha untuk mengurangi jumlah porositas dari bahan coran, salah satunya adalah dengan melakukan metode *squeeze casting*. Hal tersebut dimungkinkan karena pada proses *squeeze casting* diberikan tekanan kepada logam cair sehingga memaksa rongga udara tersebut keluar dari coran melalui sela sela cetakan dan menuju keatas coran, yang kemudian membentuk rongga udara dibagian atas coran yang bersentuhan secara langsung dengan *plunger*.

Hubungan antara 4 variasi penekanan dengan rata rata prosentase porositas hasil coran (Al-Mg-Si) dengan metode *squeeze casting* dapat dilihat pada gambar 4.1 dibawah ini:



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

Pada grafik tersebut ditunjukkan bahwa semakin besar penekanan yang diberikan maka prosentase porositas dari masing – masing spesimen semakin kecil. Hal tersebut dikarenakan semakin besar tekanan yang diberikan, maka udara yang terjebak didalam coran akan semakin banyak yang dipaksa untuk keluar dari coran. Sehingga prosentase dari porositas coran akan semakin kecil seiring dengan penambahan tekanan *plunger*.

4.1.3 Analisis Statistik

Tabel 4.5 Data Prosentase Porositas Spesimen untuk RAL

Pengulangan	%Porositas			
	0.1 MPa	10 MPa	30 MPa	50 MPa
1	1.6571	1.3608	1.0123	0.6943
2	1.8047	1.6926	1.2332	0.7833
3	1.8776	1.5507	1.0519	0.8087
Jumlah	5.3394	4.6040	3.2974	2.2863
TOTAL	15.5271			

Faktor Koreksi (FK)

$$\begin{aligned}
 &= \frac{(1.6571+1.8047+\dots+0.7833+0.8087)^2}{3 \times 4} \\
 &= \frac{(15.5271)^2}{12} \\
 &= \frac{241.0905}{12} \\
 &= 20.09088
 \end{aligned}$$

Jumlah Kuadrat Total (JKT)

$$\begin{aligned}
 &= (1.6571^2 + 82.61.8047^2 + \dots + 0.7833^2 + 0.8087^2) - 20.09088 \\
 &= 22.05105168 - 20.09088 \\
 &= 1.960176228
 \end{aligned}$$

Jumlah Kuadrat Perlakuan (JKP)

$$\begin{aligned}
 &= \frac{5.3394^2 + 4.6040^2 + 3.2974^2 + 2.2863^2}{3} - 20.09088 \\
 &= \frac{65.8062}{3} - 20.09088 \\
 &= 21.93538 - 20.09088 \\
 &= 1.844509
 \end{aligned}$$

Jumlah Kuadrat Galat (JKG)

$$\begin{aligned}
 &= 1.960176228 - 1.844509 \\
 &= 0.115667
 \end{aligned}$$

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

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

Derajat Bebas Total (db_{total})

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

Derajat Bebas Galat (db_{galat})

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

Kuadrat Tengah Perlakuan (KTP)

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1.844509}{3} \\
 &= 0.614836
 \end{aligned}$$

Kuadrat Tengah Galat (KTG)

$$= \frac{0.115667}{8}$$

$$= 0.014458$$

Dari data perhitungan diatas dapat dicari F hitung dengan rumus:

$$= \frac{0.614836}{0.014458}$$

$$= 42.52469$$

Tabel 4.6 *Analisis of Varian One Way Classification* RAL untuk Prosentase Porositas

Sumber Keragaman (SK)	Derajat Bebas (db)	Jumlah Kuadrat (JK)	Kuadrat Tengah (KT)	F Hitung
Perlakuan	3	1.8445	0.614836	42.52469
Galat	8	0.116	0.014458	
Total	11	1.96		

F Tabel : $F_{(0.05, 3, 8)} = 4.07$

Perlakuan : F Hitung (42.52469) > F Tabel (4.07) Tolak H_0

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

4.2 Pengujian Kekuatan Tarik

4.2.1 Data Hasil Pengujian Kekuatan Tarik

Data hasil pengujian tarik didapatkan dari pengujian yang menggunakan alat uji tarik di Laboratorium Pengujian Bahan Politeknik Negeri Malang. Dari pengujian tersebut didapatkan nilai beban dan pertambahan panjang pada spesimen yang kemudian diolah sehingga didapatkan nilai dari kekuatan tarik spesimen tersebut. Dari data hasil pengujian tarik dibuat diagram hubungan antara tekanan plunger dan nilai kekuatan tarik dengan variasi penekanan 0,1 MPa, 10 MPa, 30 MPa, dan 50 MPa.

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

Tabel 4.7 Data Beban Tarik Maksimum (N)

Pengulangan	Tekanan Maksimum (N)			
	0.1 MPa	10 MPa	30 MPa	50 MPa
1	2300	3050	3500	3650
2	2350	3100	3450	3700
3	2200	3050	3400	3650
Jumlah	6850	9200	10350	11000
Rata - Rata	2283	3067	3450	3667

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

$$\sigma_b = P/A \quad (2-6)$$

Dengan: σ_b = Tegangan tarik (N/mm²)

P = Beban tarik (N)

A = Luas penampang (mm²)

Tabel 4.8 Data Kekuatan Tarik (N/mm²)

Pengulangan	Tekanan (N/mm ²)			
	0.1 MPa	10 MPa	30 MPa	50 MPa
1	78.23	103.74	114.51	128.30
2	82.60	108.97	113.60	125.84
3	74.34	102.39	111.95	123.34
Jumlah	235.17	315.10	340.05	377.48
Rata - Rata	78.39	105.03	113.35	125.83

Contoh perhitungan menggunakan data penekanan 50 MPa pada spesimen 3:

$$\begin{aligned} \sigma_b &= P/A \\ &= 3650 / 29,59 \\ &= 123,44 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

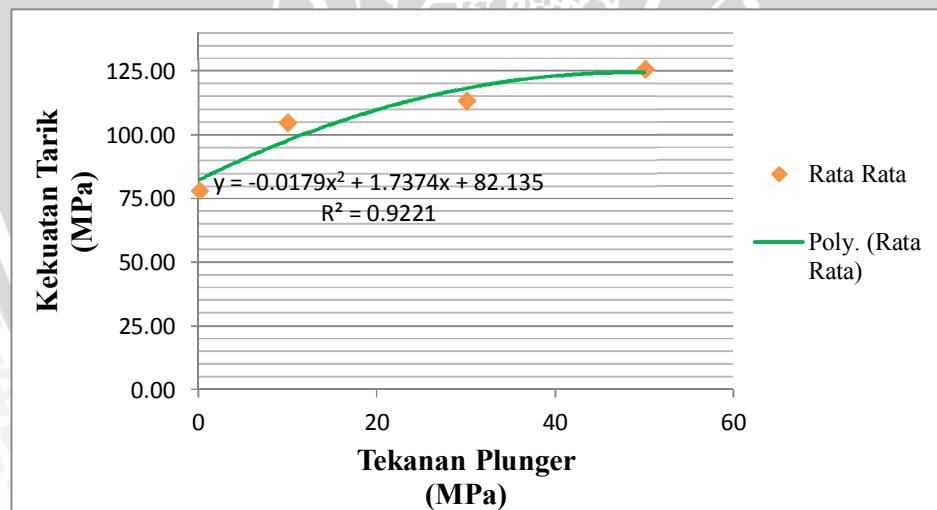
4.2.2 Pembahasan Hasil Pengujian Kekuatan Tarik

Prinsip utama dari proses pengecoran logam dengan metode *Squeeze Casting* adalah suatu proses dimana logam cair didinginkan dengan diberikan

penekanan. Pada dasarnya proses ini mengkombinasikan beberapa keuntungan yang terdapat pada proses *forging* dan *casting*. Atau dengan kata lain *squeeze casting* ini adalah penyempurnaan dari metode yang sudah ada.

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

Penekanan logam cair difungsikan untuk mengurangi cacat porositas dari spesimen tersebut. Karena dengan adanya penekanan tersebut, udara yang ada didalam spesimen dipaksa untuk keluar. Sehingga mengurangi kadar porositas spesimen tersebut. Hubungan antara besar penekanan dengan rata rata kekuatan tarik coran silinder Al- Mg-Si dapat dilihat pada gambar 4.2 dibawah ini:



Gambar 4.2 Grafik Hubungan Antara Besar Penekanan Plunger dengan rata rata Kekuatan Tarik Coran Al- Mg-Si

Dari grafik diatas terlihat bahwa kekuatan tarik dari spesimen tersebut mengalami peningkatan sepanjang penambahan tekanan. Hal tersebut terjadi karena dengan adanya penekanan pada logam cair, kerapatan molekul pada

coran akan semakin kecil, dan butir yang terbentuk akan semakin kecil pula. Hal ini menyebabkan jarak antar inti akan semakin dekat dan gaya tarik menarik antar inti akan semakin kuat sehingga kekuatan tariknya akan semakin besar.

4.2.3 Analisis Statistik

Tabel 4.9 Data Kekuatan Tarik Spesimen untuk RAL

Ulangan	Tekanan (Mpa)			
	0.1	10	30	50
1	78.23	103.74	114.51	128.3
2	82.6	108.97	113.6	125.84
3	74.34	102.39	111.95	123.34
Jumlah	235.17	315.1	340.05	377.48
TOTAL	1267.8			

Faktor Koreksi (FK)

$$\begin{aligned}
 &= \frac{(78.23+82.6+74.34+\dots+128.3+125.84+123.34)^2}{3 \times 4} \\
 &= \frac{(1267.8)^2}{12} \\
 &= \frac{1607316.84}{12} \\
 &= 133943.07
 \end{aligned}$$

Jumlah Kuadrat Total (JKT)

$$\begin{aligned}
 &= (78.23^2 + 82.6^2 + \dots + 125.84^2 + 123.34^2) - 133943.07 \\
 &= 137648.9429 - 133943.07 \\
 &= 3705.8729
 \end{aligned}$$

Jumlah Kuadrat Perlakuan (JKP)

$$\begin{aligned}
 &= \frac{235.17^2 + 315.1^2 + 340.05^2 + 377.48^2}{3} - 133943.07 \\
 &= \frac{412718.0918}{3} - 133943.07 \\
 &= 137572.6973 - 133943.07 \\
 &= 3629.627267
 \end{aligned}$$

Jumlah Kuadrat Galat (JKG)

$$= 3705.8729 - 3629.627267$$

$$= 76.2456$$

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

$$= 4 - 1$$

$$= 3$$

Derajat Bebas Total (db_{total})

$$= (3 \times 4) - 1$$

$$= 12 - 1$$

$$= 11$$

Derajat Bebas Galat (db_{galat})

$$= 11 - 3$$

$$= 8$$

Kuadrat Tengah Perlakuan (KTP)

$$= \frac{3629.627267}{3}$$

$$= 1209.875756$$

Kuadrat Tengah Galat (KTG)

$$= \frac{76.2456}{8}$$

$$= 9.5307$$

Dari data perhitungan diatas dapat dicari F hitung dengan rumus:

$$= \frac{1209.875756}{9.5307}$$

$$= 126.945$$

Tabel 4.10 *Analysis of Varian One Way Classification RAL* untuk Kekuatan Tarik

Sumber Keragaman (SK)	Derajat Bebas (db)	Jumlah Kuadrat (JK)	Kuadrat Tengah (KT)	F Hitung
Perlakuan	3	3629.627	1209.876	126.945
Galat	8	76.2456	9.5307	
Total	11	3705.8729		

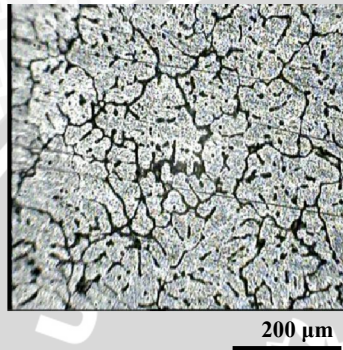
F Tabel : $F_{(0.05, 3, 8)} = 4.07$

Perlakuan : F Hitung (126.945) > F Tabel (4.07) Tolak H_0

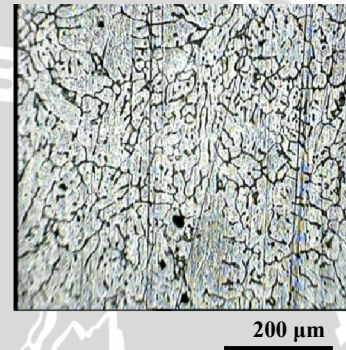
Dengan tingkat kesalahan 5%, maka sudah ada cukup bukti untuk mengatakan bahwa ada perbedaan pengaruh antar variasi penekanan pada spesimen terhadap kekuatan tarik.

4.3 Foto MikroStruktur

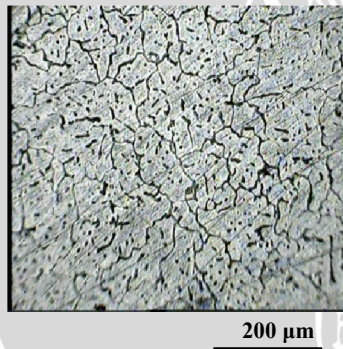
1. Tekanan 0.1 MPa



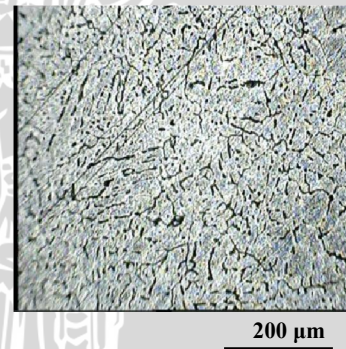
3. Tekanan 30 MPa



2. Tekanan 10 MPa



4. Tekanan 50 MPa



Gambar 4.3 Foto Mikro Pada Hasil Coran

Dari 4 foto diatas terlihat bahwa semakin besar tekanan yang diberikan maka semakin kecil dan homogen butir yang terbentuk. Hal tersebut dikarenakan gaya tekan yang diberikan oleh plunger memaksa logam cair untuk lebih padat, sehingga butir butir tersebut dipaksa untuk merapat satu sama lain, hal ini yang menyebabkan ukuran butir semakin kecil dan semakin homogen. Selain itu, semakin besar penekanan plunger, maka kecepatan pembekuannya akan semakin cepat, hal ini menyebabkan pertumbuhan butir akan semakin cepat berhenti sehingga akan semakin banyak butir yang terbentuk dengan ukuran yang semakin kecil dan homogen.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

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

1. Prosentase porositas dari hasil coran proses *Squeeze Casting* mengalami penurunan ketika beban penekanan logam cair naik.
2. Kekuatan tarik dari spesimen mengalami peningkatan seiring dengan penambahan beban penekanan coran.
3. Butiran yang terbentuk semakin kecil dan semakin homogen dengan adanya penambahan beban penekanan.

5.2 Saran

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

1. Pre-heating yang dimaksudkan untuk mengurangi solidifikasi dini perlu ditingkatkan
2. Adanya variasi bahan coran akan memberikan banyak pengaruh besar dalam hasil penelitian.
3. Penambahan ragam pengujian lain akan semakin memperkuat data yang telah dimiliki, seperti contoh pengujian distribusi kekerasan.
4. Ketelitian dalam pengukuran akan menghasilkan data yang akurat serta memberikan nilai perhitungan yang valid, sehingga pengujian ini dapat dijadikan acuan untuk pengujian selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Amstead, BH. 1991. *Manufacturing Proses* 7th edition, terjemahan dari sriati djaprie. Jakarta. Erlangga.
- Budinski, K. 1996. *Engineering Materials: Properties and Selection*.
- Darmawan, Sidiq. 2012. *Soal soal baja dan paduan*.
(<http://blog.ub.ac.id/sidiqdarmawan/author/sidiqdarmawan/page/2/>) diakses 9 Desember 2012.
- De Garmo, E. P. 1990. *Materials and Processes In Manufacturing*. John Wiley and Sons, Inc.
- Duskiardi, 2002. *Pengaruh Tekanan dan Temperatur Die Proses Squeeze Casting Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro Pada Material Piston*. Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Kristen Petra.
- Firdaus, 2002. *Analisis Parameter Proses Pengecoran Squeeze Terhadap Cacat Porositas Produk Flens Motor Sungai*. Teknik Mesin Politeknik Negri Sriwijaya.
- Kalpakjian, S. 1990. *Manufacturing Engineering and Technology*. Massachusetts:Adison-Wesley Publish Company.
- Mikell P, Groover. *Fundamentals of Modern Manufacturing*.
- Neave, Henry. 1977. *Statistics Tables for mathematicians, engineers, economist, and the behavioural and management sciences*. Nottingham University.
- Rembank, 2010. *Pengecoran Logam*.
(http://samsudinrembank.blogspot.com/2010/04/pengecoran-logam_25.html) diakses 15 April 2012
- Sudira, Tata. & Chijiwa Kenji. 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.

Universitas Sumatera Utara. 2012. *Pengecoran logam*. Medan.

(<http://repository.usu.ac.id/bitstream/123456789/32677/4/Chapter%20II.pdf>) diakses 9 Desember 2012.

Verhoeven.1975. *Fundamental of Physically Metallurgy*.

Yitnosumarto, Suntoyo. 1991. *Percobaan, Perancangan, Analisis, dan Interpretasinya*. Jakarta: PT. Gramedia.

Zainuddin, Drs. 2007. *Teknik Pembentukan Dasar*.Palembang

(<http://www.scribd.com/doc/25260942/teknik-pengecoran>)
diakses 11 April 2012.



Lampiran 1. Al – Mg – Si 6061 Properties

Standart prosentase komponen

Komponen	Kadar %
Al	95.8 - 98.6
Cr	0.04 - 0.35
Cu	0.15 - 0.4
Fe	Max 0.7
Mg	0.8 - 1.2
Mn	Max 0.15
Si	0.4 - 0.8
Ti	Max 0.15
Zn	Max 0.25
Lain lain (masing - masing)	Max 0.05
Lain lain (TOTAL)	Max 0.15

Catatan untuk material:

Informasi disediakan oleh Alcoa, Sarmet and References. Secara umum karakteristik dan penggunaan 6061: Karakteristik penggabungan baik, baik untuk diberi perlakuan pelapisan, hasil penggabungan memiliki kekuatan tarik yang cukup tinggi, bagus untuk pengerjaan, dan memiliki resistansi yang tinggi terhadap korosi, banyak tersedia.

Aplikasi : *Aircraft fittings*, lensa kamera, kopling, *marines fitting*, *frame* sepeda.

Properties

Satuan

Keterangan

Physical Properties

Density

2.7 g/cc

0.0975 lb/in³

AA; Typical

Mechanical Properties

Hardness, Brinell

95

95

AA; Typical; 500 g load; 10 mm ball

Hardness, Knoop

120

120

Converted from Brinell Hardness Value

Hardness, Rockwell A	40	40	Converted from Brinell Hardness Value
----------------------	----	----	---------------------------------------

Hardness, Rockwell B	60	60	Converted from Brinell Hardness Value
----------------------	----	----	---------------------------------------

Hardness, Vickers	107	107	Converted from Brinell Hardness Value
-------------------	-----	-----	---------------------------------------

Ultimate Tensile Strength	310 MPa	45000 psi	AA; Typical
---------------------------	---------	-----------	-------------

Tensile Yield Strength	276 MPa	40000 psi	AA; Typical
------------------------	---------	-----------	-------------

Elongation at Break	12 %	12 %	AA; Typical; 1/16 in. (1.6 mm) Thickness
---------------------	------	------	--

Elongation at Break	17 %	17 %	AA; Typical; 1/2 in. (12.7 mm) Diameter
---------------------	------	------	---

Modulus of Elasticity	68.9 GPa	10000 ksi	AA; Typical; Average of tension and compression. Compression modulus is about 2% greater than tensile modulus.
-----------------------	----------	-----------	--

Notched Tensile Strength	324 MPa	47000 psi	2.5 cm width x 0.16 cm thick side-notched specimen, $K_t = 17$.
--------------------------	---------	-----------	--

Ultimate Bearing Strength	607 MPa	88000 psi	Edge distance/pin diameter = 2.0
---------------------------	---------	-----------	----------------------------------

Bearing Yield Strength	386 MPa	56000 psi	Edge distance/pin diameter = 2.0
------------------------	---------	-----------	----------------------------------

Poisson's Ratio	0.33	0.33	Estimated from trends in similar Al alloys.
Fatigue Strength	96.5 MPa	14000 psi	AA; 500,000,000 cycles completely reversed stress; RR Moore machine/specimen
Fracture Toughness	29 MPa-m ^{1/2}	26.4 ksi-in ^{1/2}	K _{IC} ; TL orientation.
Machinability	50 %	50 %	0-100 Scale of Aluminum Alloys
Shear Modulus	26 GPa	3770 ksi	Estimated from similar Al alloys.
Shear Strength	207 MPa	30000 psi	AA; Typical
Electrical Properties			
Electrical Resistivity	3.99e-006 ohm-cm	3.99e-006 ohm-cm	AA; Typical at 68°F
Thermal Properties			
CTE, linear 68°F	23.6 µm/m-°C	13.1 µin/in-°F	AA; Typical; Average over 68-212°F range.
CTE, linear 250°C	25.2 µm/m-°C	14 µin/in-°F	Estimated from trends in similar Al alloys. 20-300°C.
Specific Heat Capacity	0.896 J/g-°C	0.214 BTU/lb-°F	
Thermal Conductivity	167 W/m-K	1160 BTU-in/hr-ft ² -°F	AA; Typical at 77°F
Melting Point	582 - 652 °C	1080 - 1205 °F	AA; Typical range based on typical composition for wrought products 1/4 inch thickness or greater; Eutectic melting can be completely eliminated by homogenization.

Solidus	582 °C	1080 °F	AA; Typical
Liquidus	652 °C	1205 °F	AA; Typical

Processing Properties

Solution Temperature	529 °C	985 °F	
Aging Temperature	160 °C	320 °F	Rolled or drawn products; hold at temperature for 18 hr
Aging Temperature	177 °C	350 °F	Extrusions or forgings; hold at temperature for 8 hr

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



Lampiran 2. Uji Komposisi Paduan Aluminium 6061

**LEMBAGA ILMU PENGETAHUAN INDONESIA
PUSAT PENELITIAN METALURGI**

Kawasan PUSPIITEK - 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

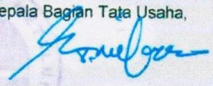
22-08-2010

**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 Penelitian Metalurgi

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

Lampiran 3. Hasil Pengecoran *Squeeze Casting*



Spesimen dengan penekanan 0,1 MPa



Spesimen dengan penekanan 10 MPa

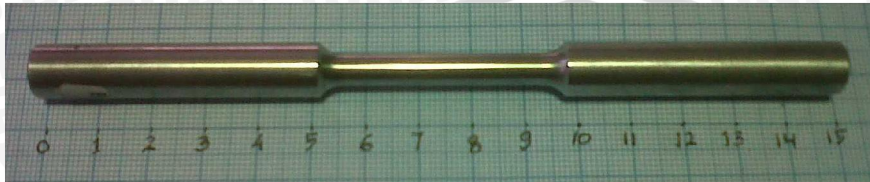


Spesimen dengan penekanan 30 MPa



Spesimen dengan penekanan 50 MPa

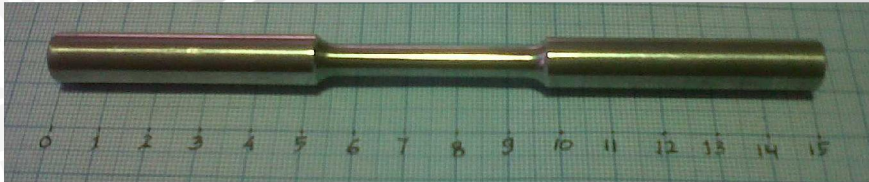
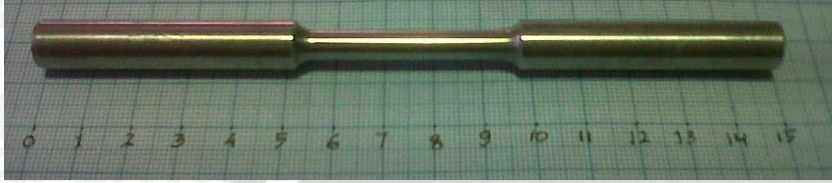
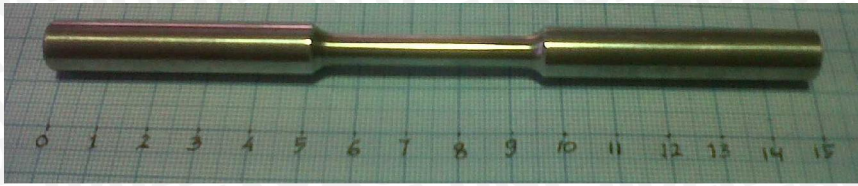
Lampiran 4. Spesimen Pengujian Tarik



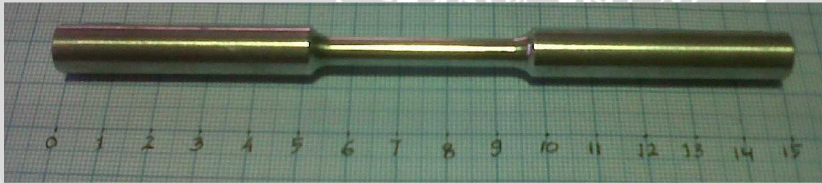
Spesimen pengujian tarik dengan penekanan 0.1 MPa



Spesimen pengujian tarik dengan penekanan 10 MPa



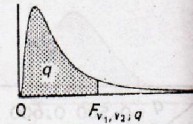
Spesimen pengujian tarik dengan penekanan 30 MPa



Spesimen pengujian tarik dengan penekanan 50 MPa

Lampiran 5. 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	2161	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	19.5	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	199	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	9.22	9.21	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	167	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	23.2	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	5.46	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	5.89	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	7.79	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 6. Konversi Penekanan Pressure Gauge menjadi Tekanan Plunger

d
dongkrak 20 mm d spesimen 17 mm
A
dongkrak 314 mm² A spesimen 226.865 mm²

Tekanan pada Pressure Gauge				Gaya Dongkrak ($F = P \times A$)		Tekanan Plunger ($P_{pl} = F_{dgk} / A_{sps}$)			
25	bar	2.5	Mpa = N/mm ²	785	N	3.46	N/mm ²	34.60	bar
50	bar	5	Mpa = N/mm ²	1570	N	6.92	N/mm ²	69.20	bar
75	bar	7.5	Mpa = N/mm ²	2355	N	10.38	N/mm ²	103.81	bar
100	bar	10	Mpa = N/mm ²	3140	N	13.84	N/mm ²	138.41	bar
125	bar	12.5	Mpa = N/mm ²	3925	N	17.30	N/mm ²	173.01	bar
150	bar	15	Mpa = N/mm ²	4710	N	20.76	N/mm ²	207.61	bar
175	bar	17.5	Mpa = N/mm ²	5495	N	24.22	N/mm ²	242.21	bar
200	bar	20	Mpa = N/mm ²	6280	N	27.68	N/mm ²	276.82	bar
225	bar	22.5	Mpa = N/mm ²	7065	N	31.14	N/mm ²	311.42	bar
250	bar	25	Mpa = N/mm ²	7850	N	34.60	N/mm ²	346.02	bar
275	bar	27.5	Mpa = N/mm ²	8635	N	38.06	N/mm ²	380.62	bar
300	bar	30	Mpa = N/mm ²	9420	N	41.52	N/mm ²	415.22	bar
325	bar	32.5	Mpa = N/mm ²	10205	N	44.98	N/mm ²	449.83	bar
350	bar	35	Mpa = N/mm ²	10990	N	48.44	N/mm ²	484.43	bar
375	bar	37.5	Mpa = N/mm ²	11775	N	51.90	N/mm ²	519.03	bar
400	bar	40	Mpa = N/mm ²	12560	N	55.36	N/mm ²	553.63	bar
425	bar	42.5	Mpa = N/mm ²	13345	N	58.82	N/mm ²	588.24	bar
450	bar	45	Mpa = N/mm ²	14130	N	62.28	N/mm ²	622.84	bar
475	bar	47.5	Mpa = N/mm ²	14915	N	65.74	N/mm ²	657.44	bar
500	bar	50	Mpa = N/mm ²	15700	N	69.20	N/mm ²	692.04	bar