

**PENGARUH PENAMBAHAN MEDAN MAGNET DAN TEMPERATUR
PENUANGAN PADA PENGECORAN SENTRIFUGAL
TERHADAP KEKUATAN TARIK ALUMINIUM PADUAN (Al-Si-Mg)**

**SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI**

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
Memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh :
Moh. Fajar Jamaluddin
NIM. 0410620064

**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN MESIN
MALANG
2010**

LEMBAR PERSETUJUAN

**PENGARUH PENAMBAHAN MEDAN MAGNET DAN TEMPERATUR
PENUANGAN PADA PENGECORAN SENTRIFUGAL
TERHADAP KEKUATAN TARIK ALUMINIUM PADUAN (Al-Si-Mg)**

**SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI**

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh :

Moh. Fajar Jamaluddin
NIM. 0410620064

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Ir. Suharto, MT.
NIP. 19531030 198212 1 001

Sugiarto, ST., MT
NIP. 19690417 199512 1 001

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH PENAMBAHAN MEDAN MAGNET DAN TEMPERATUR
PENUANGAN PADA PENGECORAN SENTRIFUGAL
TERHADAP KEKUATAN TARIK ALUMINIUM PADUAN (Al-Si-Mg)**

SKRIPSI

KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun Oleh :

Moh. Fajar Jamaluddin
NIM. 0410620064

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
Tanggal 06 Januari 2010

DOSEN PENGUJI :

Skripsi I

Skripsi II

Ir. Masduki, MM.
NIP. 19450816 197009 1 001

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

Komprehensif

Ir. Bardji Hadi Pranoto
NIP. 19450714 198103 1 003

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Mesin

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

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji syukur kami panjatkan kehadirat Allah SWT yang senantiasa melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul **“Pengaruh Penambahan Medan Magnet dan Temperatur Penuangan pada Pengecoran Sentrifugal terhadap Kekuatan Tarik Aluminium Paduan (Al-Si-Mg)”** ini dengan baik. Tidak lupa shalawat dan salam kami haturkan kepada Rasulullah, Nabi Muhammad SAW.

Penyusunan dan penyelesaian skripsi ini tidak terlepas dari keterlibatan dan bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, dalam kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih dan penghargaan kepada :

- Bapak Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT., selaku Ketua Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- Bapak Dr. Eng. Anindito Purnowidodo, ST., M. Eng, selaku Sekretaris Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- Bapak Ir. Tjuk Oerbandono, M.Sc., CSE, selaku Sekretaris Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya ketika seminar proposal penelitian skripsi ini diselenggarakan.
- Bapak Ir. Marsoedi Wirohardjo, MMT., selaku Ketua Konsentarsi Produksi Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- Bapak Ir. Suharto, MT., selaku dosen pembimbing pertama yang telah bersedia memberikan bimbingan, masukan, dan arahan yang membangun bagi penulis.
- Bapak Sugiarto, ST., MT., selaku dosen pembimbing kedua yang telah banyak meluangkan waktunya untuk berdiskusi dan memberikan arahan dalam penyusunan skripsi ini.
- Keluargaku yang telah dengan sabar memberikan motivasi dan dukungan.
- Seluruh teman dan pihak yang secara langsung atau tidak langsung telah membantu terselesaikannya skripsi ini dengan baik.

Saran dan kritik yang bersifat membangun penulis harapkan dari pembaca dan semua pihak. Akhir kata semoga skripsi ini dapat berguna bagi seluruh pembaca.

Malang, Januari 2010

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR SIMBOL	ix
DAFTAR LAMPIRAN	x
RINGKASAN	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Penelitian Sebelumnya	6
2.2 Pengecoran Logam	7
2.3 Pengecoran Sentrifugal	7
2.4 Bahan Coran	9
2.4.1 Aluminium	9
2.4.2 Sifat-sifat aluminium	9
2.4.3 Penggolongan paduan aluminium	11
2.4.4 Pengaruh unsur paduan	12
2.5 Sifat-Sifat Logam Cair	14
2.5.1 Kekentalan logam cair	14
2.5.2 Fluiditas	15
2.5.3 Perbedaan antara logam cair dan air	15
2.6 Pembekuan Logam	16
2.7 Pengaruh Perpindahan Panas Pada Proses Pembekuan Logam	18
2.8 Kelarutan Gas Pada Logam Cair	22
2.8.1 Kesetimbangan fase gas dan logam	22
2.8.2 Kelarutan gas pada logam cair	22
2.9 Sifat Kemagnetan Bahan	23

2.10 Pengaruh Gaya Elektromagnetik Pada Proses Pembekuan Logam	25
2.11 Pengujian Kekuatan Tarik	27
2.12 Hipotesis	28
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	30
3.1 Metode Penelitian.....	30
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian.....	30
3.3 Variabel Penelitian	30
3.4 Peralatan dan Bahan yang Digunakan.....	31
3.4.1 Peralatan yang digunakan	31
3.4.2 Bahan yang digunakan.....	33
3.5 Instalasi Percobaan.....	33
3.6 Prosedur Penelitian.....	34
3.6.1 Prosedur pengujian induksi medan magnet yang ditambahkan	34
3.6.2 Prosedur pengecoran benda kerja.....	34
3.6.3 Prosedur pengambilan dan pengolahan data.....	35
3.7 Analisa Statistik	36
3.8 Interval Penduga Rata-Rata	39
3.9 Analisa Regresi	39
3.10 Diagram Alir	40
BAB IV ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN	41
4.1 Data Pembangkitan Medan Magnet Dan Kekuatan Tarik.....	41
4.2 Analisa Statistik	41
4.2.1 Interval penduga rata-rata	41
4.2.2 Analisa varian dua arah.....	43
4.2.3 Analisa regresi.....	44
4.2.3.1 Analisa regresi untuk hubungan medan magnet terhadap kekuatan tarik	45
4.2.3.1 Analisa regresi untuk hubungan temperatur penuangan terhadap kekuatan tarik	47
4.3 Grafik dan Pembahasan.....	50
4.3.1 Pengaruh medan magnet terhadap kekuatan tarik.....	50
4.3.2 Pengaruh temperatur penuangan terhadap kekuatan tarik	54
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	59
5.1 Kesimpulan.....	59

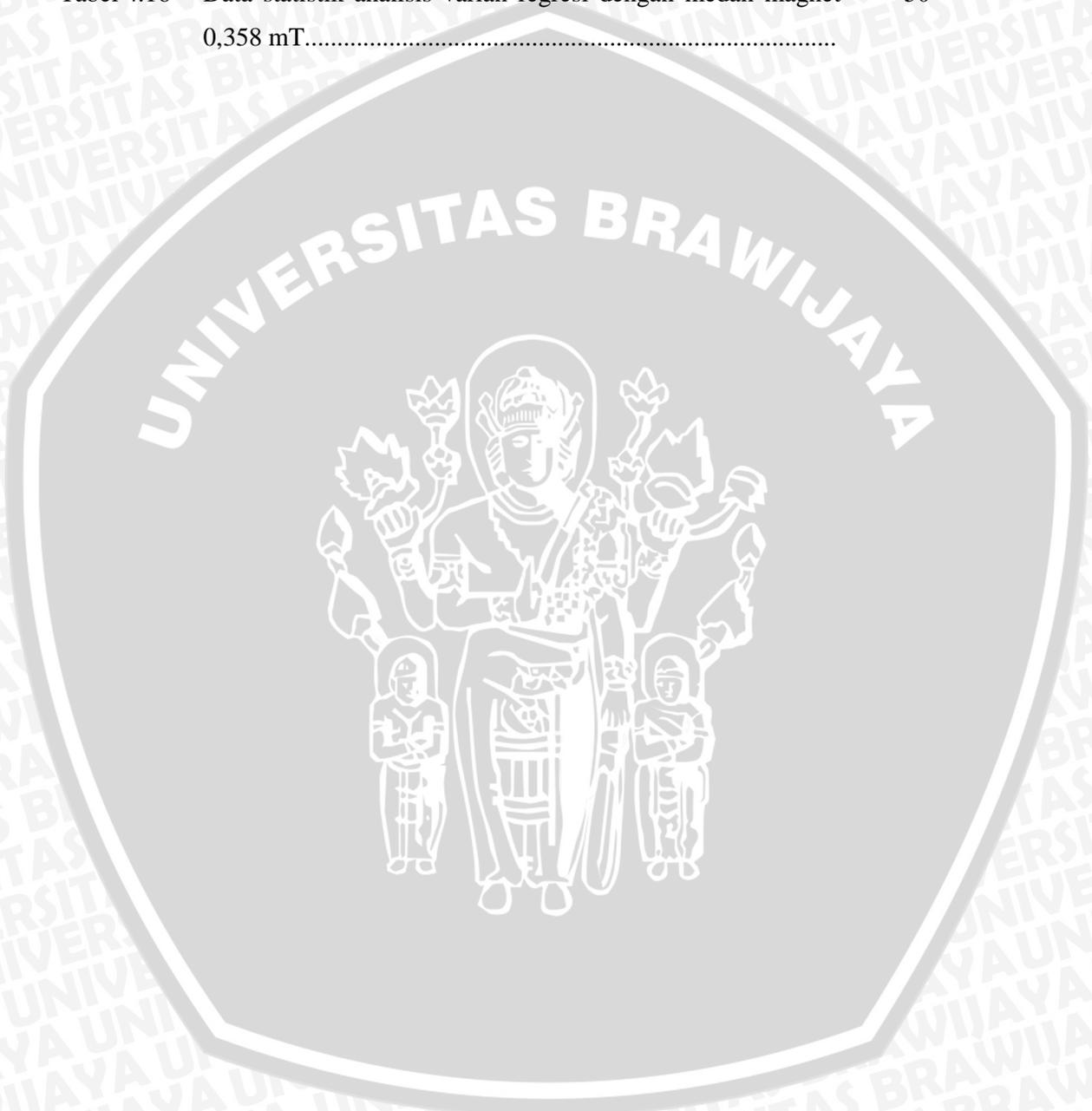
DAFTAR PUSTAKA
LAMPIRAN



DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Sifat-sifat fisik alumunium	10
Tabel 2.2	Sifat-sifat mekanik aluminium.....	10
Tabel 2.3	Klasifikasi paduan aluminium tempa.....	12
Tabel 2.4	Klasifikasi paduan aluminium coran.....	12
Tabel 2.5	Koefisien kekentalan dan tegangan permukaan dari logam	15
Tabel 3.1	Rancangan Penelitian.....	36
Tabel 3.2	Analisis Varian Dua Arah	37
Tabel 4.1	Data hasil pengukuran besar induksi medan magnet rata-rata solenoida di sekitar cetakan	41
Tabel 4.2	Hasil pengukuran kekuatan tarik hasil pengecoran	41
Tabel 4.3	Data kekuatan tarik rata-rata hasil pengecoran	42
Tabel 4.4	Interval penduga rata-rata untuk kekuatan tarik dengan variasi medan magnet 0 mT dan 0,162.....	43
Tabel 4.5	Interval penduga rata-rata untuk kekuatan tarik dengan variasi medan magnet 0,181 mT dan 0,358 mT.....	43
Tabel 4.6	Data perhitungan statistik analisa varian dua arah.....	44
Tabel 4.7	Data perhitungan kekuatan tarik pada temperatur penuangan 700 °C.....	45
Tabel 4.8	Data statistik analisis varian regresi pada temperatur penuangan 700 °C.....	46
Tabel 4.9	Data statistik analisis varian regresi pada temperatur penuangan 800 °C.....	46
Tabel 4.10	Data statistik analisis varian regresi pada temperatur penuangan 900 °C.....	47
Tabel 4.11	Data statistik analisis varian regresi pada temperatur penuangan 1000 °C.....	47
Tabel 4.12	Data perhitungan kekuatan tarik dengan medan magnet 0 mT.....	48
Tabel 4.13	Data statistik analisis varian regresi dengan medan magnet 0 mT.....	49

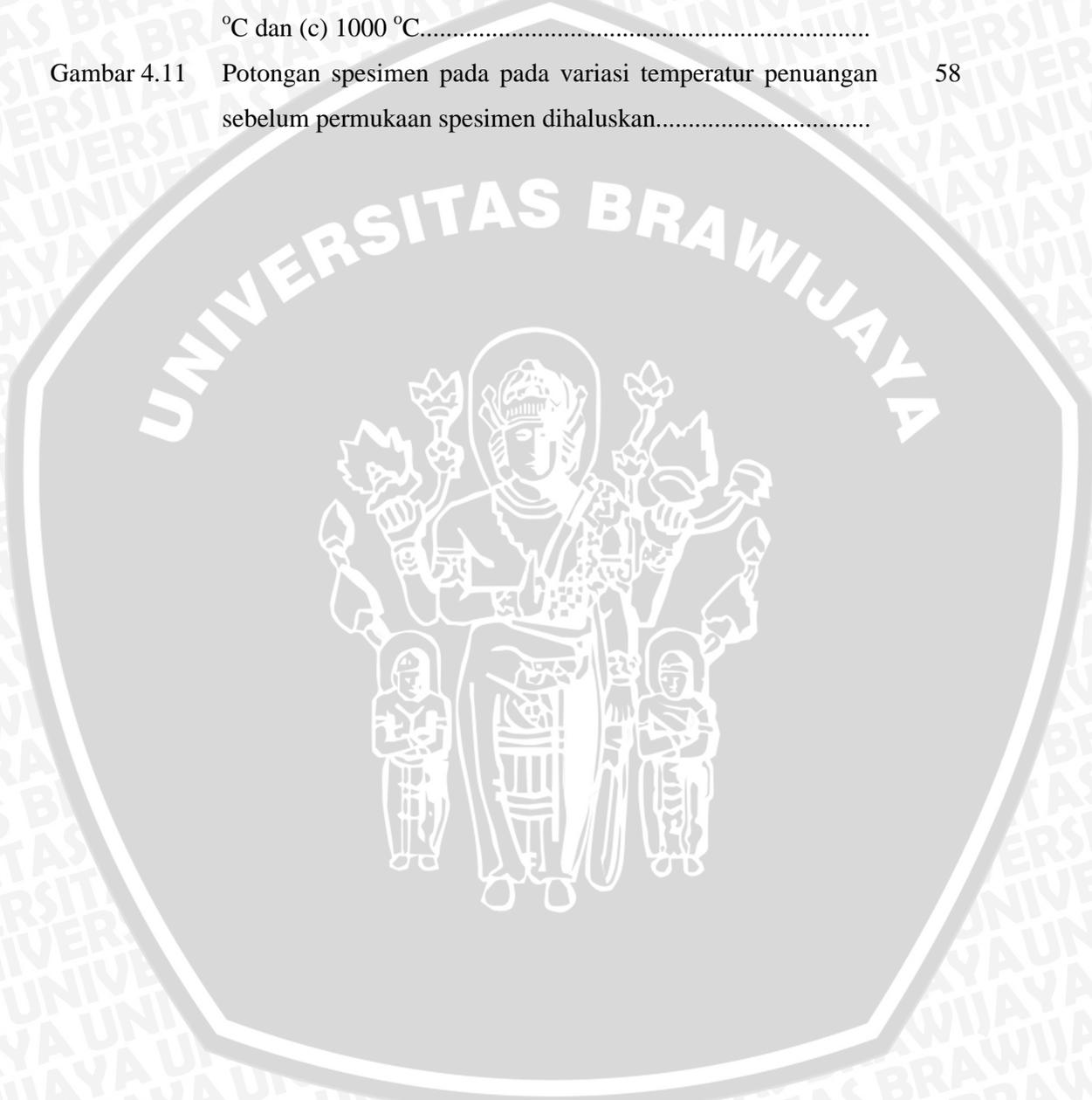
Tabel 4.14	Data statistik analisis varian regresi dengan medan magnet 0,162 mT.....	49
Tabel 4.15	Data statistik analisis varian regresi dengan medan magnet 0,181 mT.....	49
Tabel 4.16	Data statistik analisis varian regresi dengan medan magnet 0,358 mT.....	50



DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Gaya-gaya yang bekerja pada pengecoran sentrifugal dipengaruhi medan magnet	8
Gambar 2.2	Diagram Fase Al-Mg-Si	14
Gambar 2.3	Skematis Pendinginan dan Distribusi Temperatur Logam Paduan	16
Gambar 2.4	Ilustrasi skematis dari pembekuan logam	17
Gambar 2.5	Ilustrasi Skematis Pembekuan Logam pada Cetakan Bujursangkar (a).Logam Murni (b).Logam Paduan (c).Struktur dengan Pendinginan tanpa Gradien Suhu.....	18
Gambar 2.6	Perpindahan Kalor Menyeluruh pada Cetakan Logam.....	19
Gambar 2.7	Proses Terjadinya Gelembung Gas pada Solidifikasi Seluler....	22
Gambar 2.8	Arah garis medan magnet dalam solenoida	24
Gambar 2.9	Struktur Yang Dihasilkan Dengan Centrifugal Casting	25
Gambar 2.10	Dendrit yang terbentuk pada batas antara daerah columnar dan equiaxed ($B = 0,2T$).V: arah rotasi cetakan, H: arah aliran panas akibat medan magnet.....	26
Gambar 2.11	Kurva tegangan – regangan	28
Gambar 3.1	Spesimen uji tarik standard ASTM B 557M.....	33
Gambar 3.2	Instalasi Percobaan.....	33
Gambar 3.3	Diagram Alir Penelitian.....	40
Gambar 4.1	Grafik hubungan penambahan medan magnet terhadap kekuatan tarik.....	50
Gambar 4.2	Sampel mikrostruktur pada temperatur penuangan 900 °C.....	51
Gambar 4.3	Makrostruktur pada temperatur 1000 °C (a) 0mT, (b) 0,162 mT.....	52
Gambar 4.4	Makrostruktur pada temperatur 1000 °C (a) dengan medan magnet 0,181 mT, (b) dengan medan magnet 0,358 mT.....	53
Gambar 4.5	Potongan spesimen pada temperatur penuangan 1000 °C sebelum permukaan spesimen dihaluskan.....	53
Gambar 4.6	Sampel mikrostruktur pada temperatur penuangan 1000 °C.....	54

Gambar 4.7	Grafik hubungan temperatur penuangan terhadap kekuatan tarik.....	54 56
Gambar 4.8	Sampel mikrostruktur pada variasi temperatur penuangan.....	56
Gambar 4.9	Makrostruktur pada temperatur penuangan 700 °C.....	
Gambar 4.10	Makrostruktur pada temperatur penuangan (a) 800 °C, (b) 900 °C dan (c) 1000 °C.....	57
Gambar 4.11	Potongan spesimen pada pada variasi temperatur penuangan sebelum permukaan spesimen dihaluskan.....	58

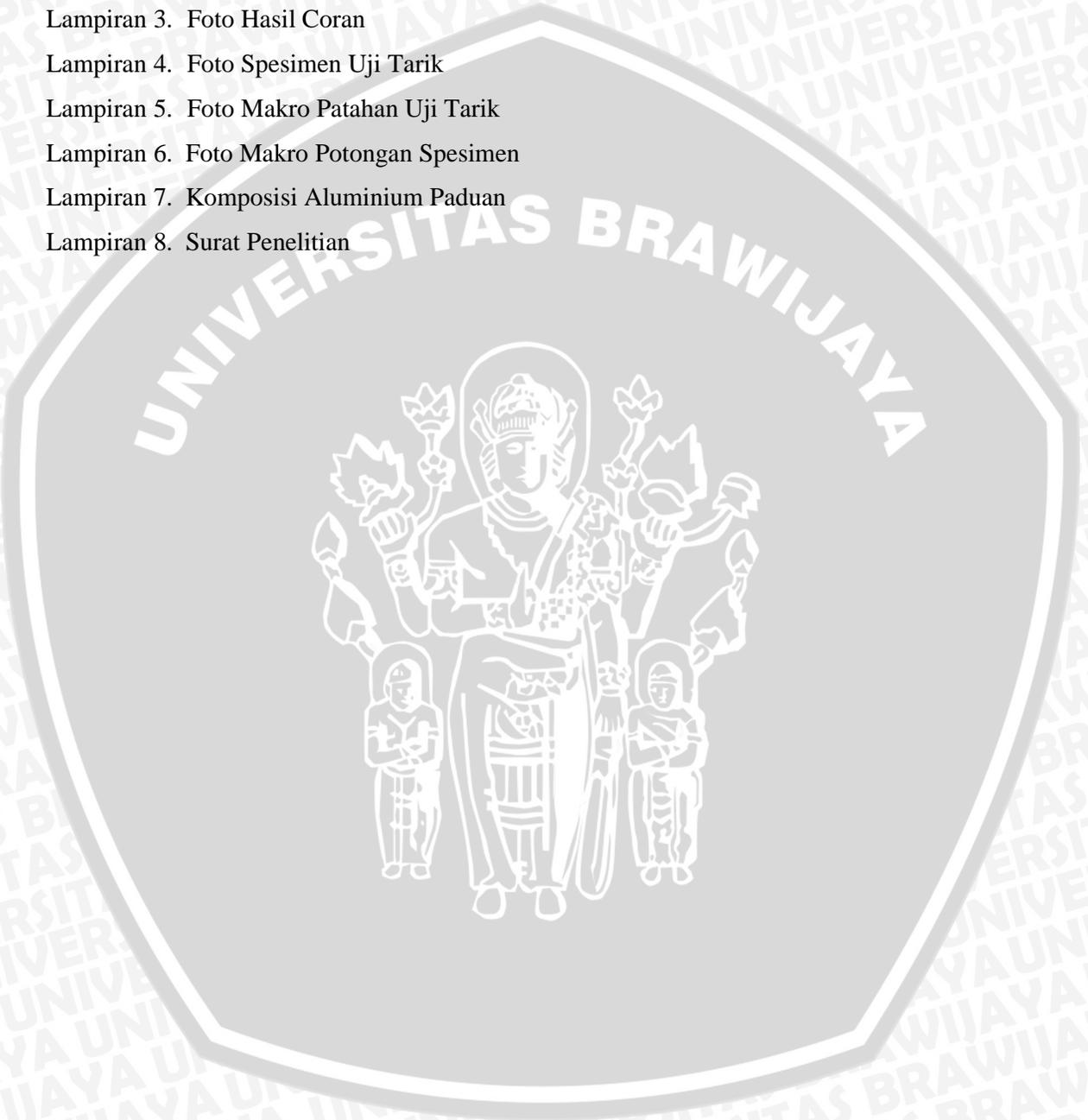


DAFTAR SIMBOL

Besaran dasar	Satuan	Simbol
Gaya	Kilogram <i>force</i> atau kgf	F
Luas penampang	Milimeter persegi atau mm ²	A
Kekuatan tarik	<i>Newton</i> per milimeter persegi atau N/mm ²	σ_B
Massa	Kilogram atau kg	m
Panjang	Milimeter atau mm	l
Putaran	Radius per menit atau rpm	n
Temperatur	Derajat Celcius atau °C	T
Waktu	Menit atau m	t
Daya atau laju energi	Watt	q
Massa jenis	Kilogram per milimeter persegi atau kg/mm ²	
Panas spesifik	Joule per gram derajat celcius atau J/g. °C	C_p
Konduktifitas termal	Joule per milimeter sekon derajat celcius atau J/mm.s.°C	
Arus Listrik	Ampere atau A	I
Densitas fluks magnetik	Tesla atau T	B
Interval penduga		μ
Jumlah variasi		k
Jumlah pengulangan		n
Jumlah data yang diambil		N
Standar deviasi		

DAFTAR LAMPIRAN

No	Judul
Lampiran 1.	Foto Peralatan Penelitian
Lampiran 2.	Foto Kegiatan Penelitian
Lampiran 3.	Foto Hasil Coran
Lampiran 4.	Foto Spesimen Uji Tarik
Lampiran 5.	Foto Makro Patahan Uji Tarik
Lampiran 6.	Foto Makro Potongan Spesimen
Lampiran 7.	Komposisi Aluminium Paduan
Lampiran 8.	Surat Penelitian



RINGKASAN

Moh. Fajar Jamaluddin, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Desember 2009, *Pengaruh Penambahan Medan Magnet dan Temperatur Penuangan pada Pengecoran Sentrifugal terhadap Kekuatan Tarik Aluminium Paduan (Al-Si-Mg)*, Dosen Pembimbing : Ir. Suharto, MT. dan Sugiarto, ST., MT.

Aluminium cukup diminati dalam penggunaan teknologi pengecoran. Berbagai metode dikembangkan untuk mendapatkan produk pengecoran yang lebih baik dari yang sudah ada salah satunya yaitu pengecoran sentrifugal. Pengecoran sentrifugal adalah suatu cara pengecoran di mana cetakan diputar dan logam cair dituangkan ke dalamnya, sehingga logam cair tertekan oleh gaya sentrifugal dan kemudian membeku. Kelebihan dari pengecoran sentrifugal antara lain digunakan untuk pembuatan coran berbentuk silinder dengan produktivitas yang tinggi, serta kualitas hasil coran yang baik. Penelitian proses sentrifugal konvensional pada perkembangannya terus ditingkatkan untuk mendapatkan produk coran yang berkualitas. Salah satunya peningkatan sifat mekanis dari hasil coran dengan metode penambahan medan magnet. Gaya elektromagnetik yang dihasilkan dari medan magnet dan putaran cetakan mampu mempengaruhi sifat perilaku material bahan ketika dilakukan proses pengecoran. Laju pengintian struktur butiran logam yang dihasilkan semakin tinggi. Disamping itu berbagai aplikasi temperatur penuangan digunakan untuk memperoleh hasil kekuatan tarik yang optimum. Semakin tinggi temperatur struktur butiran logam yang dihasilkan akan semakin kecil. Struktur butiran yang semakin kecil dan halus maka kekuatan tariknya akan semakin besar.

Parameter medan magnet dan temperatur penuangan yang digunakan menjadi faktor penting pada peningkatan sifat mekanis logam hasil coran. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi penambahan medan magnet dan temperatur penuangan terhadap kekuatan tarik hasil pengecoran sentrifugal aluminium paduan (Al-Si-Mg). Penelitian ini menggunakan metode eksperimen nyata dengan parameter yang dipakai adalah variasi besar medan magnet 0 mT; 0,162 mT; 0,181 mT; 0,358 mT dan temperatur penuangan 700°C, 800°C, 900°C, 1000°C. Parameter temperatur penuangan yang digunakan sama dengan temperatur peleburan logam coran. Proses penuangan dilakukan pada cetakan berputar dengan kecepatan putar 1200 rpm. Induksi medan magnet dilakukan pada cetakan berputar selama proses penuangan setelah itu dilakukan pembongkaran cetakan, kemudian hasil coran dibersihkan. Hasil coran kemudian dibubut menjadi spesimen uji tarik sesuai standar ASTM B 557M. Setelah diuji kekuatan tarik data yang diperoleh kemudian diolah dengan menggunakan analisis statistik dan teoritis.

Hasil penelitian ini didapatkan bahwa penambahan medan magnet dan temperatur penuangan mampu meningkatkan kekuatan tarik logam hasil coran. Hal ini terjadi pada kondisi temperatur penuangan 700 °C, 800 °C, 900 °C. Kecenderungan kekuatan tarik menurun pada temperatur 1000 °C seiring penambahan medan magnet. Nilai kekuatan tarik rata-rata tertinggi diperoleh pada penambahan medan magnet 0,358 mT dengan temperatur penuangan logam 900 °C sebesar 142,6471 N/mm².

Kata kunci : medan magnet, temperatur penuangan, pengecoran sentrifugal, kekuatan tarik, paduan Aluminium Al-Si-Mg.

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Teknologi pengecoran merupakan salah satu metode yang sering digunakan dalam sektor industri pengolahan logam, karena dengan metode pengecoran dapat dihasilkan produk atau komponen-komponen yang rumit dan kompleks. Pengecoran merupakan salah satu cara pengolahan logam dimana logam cair dituangkan ke dalam cetakan yang memiliki bentuk tertentu, kemudian dibiarkan mendingin dan membeku sesuai bentuk yang terdapat dalam rongga cetakan, setelah itu baru dilakukan pembongkaran dan pembersihan (Heine, 1985:1).

Pengembangan material bahan yang digunakan dalam industri pengecoran cukup beragam. Aluminium cukup diminati dalam penggunaan teknologi pengecoran. Disamping titik lebur yang rendah aluminium memiliki beberapa keunggulan dibanding besi dan baja yang mana aluminium merupakan logam ringan yang mempunyai ketahanan korosi serta hantaran listrik yang baik dan mudah untuk pengerjaan lanjutan (De Garmo, 1998 : 157). Selain itu juga banyak terdapat di pasaran. Tetapi Aluminium murni mempunyai sifat mampu cor dan sifat mekanik tergolong jelek bila dibandingkan dengan besi atau baja. Oleh karena itu aluminium sering dipadukan dengan penambahan unsur paduan seperti Silikon, Nikel, Tembaga, Mangan, Magnesium, Seng dan unsur lainnya untuk memperbaiki sifat-sifat kekuatan mekaniknya. Pengembangan baik dari segi material propertis maupun prosesnya terus dilakukan untuk mendapatkan produk yang lebih berkualitas dengan biaya produksi yang seminimal mungkin.

Berbagai metode dikembangkan untuk mendapatkan produk pengecoran yang lebih baik dari yang sudah ada salah satunya yaitu pengecoran sentrifugal. Pengecoran sentrifugal adalah suatu cara pengecoran di mana cetakan diputar dan logam cair dituangkan ke dalamnya, sehingga logam cair tertekan oleh gaya sentrifugal dan kemudian membeku (Surdia 1986: 3). Kelebihan dari pengecoran sentrifugal antara lain digunakan untuk pembuatan coran berbentuk silinder dengan produktivitas yang tinggi, serta kualitas hasil coran yang baik (Surdia 1986: 239). Selain itu kelebihan pengecoran sentrifugal yang lain adalah mendapatkan hasil coran yang memiliki porositas rendah (Rao, PN. 1990: 235). Pengecoran sentrifugal biasa digunakan untuk membuat pipa air, cincin torak, rumah metal dari bantalan luncur, poros berlubang dan sebagainya.

Beberapa faktor menjadi parameter yang dapat menentukan hasil proses pengecoran sentrifugal diantaranya cara-cara penuangan logam cair, kecepatan putar, temperatur penuangan dan kepresisian *design* cetakan, serta kemampuan material cor untuk terbentuk sesuai cetakan (Surdia T. 1986: 239). Berbagai metode dilakukan dengan memodifikasi parameter proses pengecoran tersebut untuk mendapatkan material propertis seperti yang diinginkan. Penelitian untuk mendapatkan hasil pengecoran sentrifugal yang lebih berkualitas terus dikembangkan baik dari segi fisik maupun mekanik. Peningkatan kualitas mekanik biasa ditinjau dari kekuatan logam hasil pengecoran. Salah satu faktor yang mempengaruhi kekuatan logam ialah kehalusan butiran, semakin halus ukuran butiran maka kekuatan logam akan meningkat (Surdia, T. 1985:45). Ukuran butiran kristal tergantung pada laju pengintian dan pertumbuhan inti. Apabila laju pertumbuhan lebih besar dari laju pengintian, maka didapat kelompok butiran logam yang besar. Sebaliknya apabila laju pengintian lebih besar dari laju pertumbuhan ini, maka didapat kelompok butir-butir halus. (Surdia, T. 1986:14). Penelitian yang dilakukan W.Q. Zhang, Y.S. Yang, Y.F. Zhu, Q.M. Liu, dan Z.Q. Hu tentang “*Structural Transition and Macrosegregation of Al-Cu Eutectic Alloy Solidified in the Electromagnetic Centrifugal Casting Process*”. Penelitian ini menyimpulkan bahwa, pengadukan logam cair yang dipengaruhi pembangkitan medan magnet dengan sistem EMS (*Electromagnetic Stirring*) dapat mempengaruhi struktur dan segregasi paduan Al-CuAl₂ saat solidifikasi pada proses pengecoran sentrifugal horizontal. Struktur makro yang halus terbentuk dari pencampuran butir yang sama dan halus pada *equiaxed zone* dan *columnar zone*.

Penelitian selanjutnya yang dilakukan oleh, Rakhmad Hardiyanto tahun 2008 tentang “*Pengaruh Penambahan Medan Magnet pada Pengecoran Sentrifugal terhadap Distribusi Kekerasan dan Kekuatan Tarik Aluminium Paduan (Al-Si-Mg)*”. Penelitian tersebut menggunakan metode pengecoran sentrifugal dengan sudut kemiringan cetakan 45°. Dari penelitian tersebut dapat disimpulkan semakin besar medan magnet yang diberikan pada proses sentrifugal casting maka didapatkan struktur butiran yang semakin padat dan halus sehingga menghasilkan nilai kekerasan dan kekuatan tarik yang tinggi dari coran aluminium paduan (Al-Si-Mg). Nilai optimum dari distribusi kekerasan dan uji tarik adalah pada penambahan medan magnet sebesar 0,245mT.

Sebelumnya pernah dilakukan penelitian oleh Widana D. Putra tahun 2006 tentang “*Pengaruh Temperatur Peleburan Terhadap Kekekerasan Dan Kekuatan Tarik Aluminium Paduan (Al-Si-Mg) Pada Pengecoran Dengan Cetakan Logam*”. Dari

penelitian tersebut temperatur peleburan menjadi parameter temperatur penuangan logam kedalam cetakan. Hasilnya didapatkan bahwa semakin tinggi temperatur peleburan maka kekerasan dan kekuatan tarik akan meningkat. Kekuatan mekanik meningkat seiring peningkatan gradien temperatur penuangan dan temperatur cetakan logam. Nilai optimum dari kekerasan yang dihasilkan ialah pada temperatur 900°C dan untuk kekuatan tarik didapatkan pada temperatur 800°C.

Laju pendinginan dan komposisi paduan menentukan ukuran dan karakter dari butiran hasil pengecoran (Heine, 1985:178). Gradien temperatur yang tinggi menyebabkan laju pendinginan yang cepat sehingga struktur butiran yang dihasilkan kecil-kecil. Pada cetakan logam gradien temperatur akan sangat berpengaruh terhadap kekuatan mekanisnya. Dalam aplikasinya temperatur penuangan logam yang digunakan pada proses pengecoran sangat bervariasi bergantung dari tujuan dan hasil yang diinginkan. Sehingga peningkatan kekuatan hasil pengecoran dengan penuangan temperatur rendah kadang perlu dilakukan.

Berdasarkan tinjauan diatas maka penelitian perlu dilakukan untuk mengetahui fenomena pengaruh temperatur penuangan logam jika diberikan penambahan medan magnet terhadap sifat mekanik pada coran aluminium paduan. Disini peneliti melakukan penelitian tentang variasi temperatur penuangan logam seiring penambahan medan magnet yang diberikan pada cetakan logam terhadap kekuatan tarik logam coran pada proses pengecoran sentrifugal. Diharapkan dengan parameter temperatur penuangan dan penambahan medan magnet pada cetakan dihasilkan ukuran butiran yang lebih halus dan homogen sehingga didapatkan nilai optimum kekuatan tarik dari variasi besar medan magnet dan temperatur penuangan yang digunakan. Disamping itu juga diharapkan akan memberikan pengetahuan serta hasil berupa peningkatan mutu bidang rekayasa khususnya pengecoran logam.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka permasalahan yang akan diungkap dalam penelitian ini adalah bagaimana pengaruh variasi penambahan medan magnet dan temperatur penuangan terhadap kekuatan tarik hasil pengecoran sentrifugal aluminium paduan?

1.3 Batasan Masalah

Agar permasalahan tidak meluas dan terfokus, maka perlu dilakukan batasan-batasan sebagai berikut :

1. Pembahasan difokuskan pada kekuatan tarik hasil coran.
2. Medan magnet eksternal yang ditambahkan diperoleh dengan mengalirkan arus DC sebesar 0A, 5A, 10A, dan 15A pada solenoida pada cetakan sentrifugal selama pengecoran.
3. Variasi temperatur penuangan yang digunakan adalah 700°C, 800°C, 900°C dan 1000°C.
4. Spesifikasi bahan yang digunakan adalah aluminium paduan (Al-Si-Mg)
5. Kondisi awal bahan dasar coran dianggap sama.
6. Dimensi cetakan (silinder berlubang dengan panjang 15 cm, diameter luar 5,8 cm, diameter dalam 5 cm).
7. Proses pengecoran dianggap standar sesuai dengan prosedur pelaksanaan.
8. Kecepatan putar 1200 rpm (berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Rahmad Hardiyanto, 2008 Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang).
9. Pengecoran dilakukan dengan pengecoran sentrifugal tipe horizontal.
10. Jumlah kawat lilitan dari solenoida adalah 150 lilitan, dengan diameter kawat lilitan 1mm.
11. Waktu putar cetakan selama ± 120 detik (berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Danang Yudanegara, 2006 Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang).
12. Tidak membahas cacat hasil pengecoran.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi penambahan medan magnet dan temperatur penuangan terhadap kekuatan tarik aluminium paduan hasil pengecoran sentrifugal.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat sebagai berikut :

1. Memberikan masukan yang bermanfaat bagi industri pengecoran logam dalam peningkatan kualitas hasil coran.
2. Memberikan referensi tambahan bagi penelitian lebih lanjut mengenai pengecoran sentrifugal.

3. Dapat dijadikan prasyarat untuk memperoleh gelar kesarjanaan S1 di Fakultas Teknik Jurusan Mesin Universitas Brawijaya.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Zhang W.Q., Yang Y.S, Zhu Y.F., Liu Q.M., and. Hu Z.Q 1998 melakukan penelitian tentang “*Structural Transition and Macrosegregation of Al-Cu Eutectic Alloy Solidified in the Electromagnetic Centrifugal Casting Process*”. Penelitian ini menggunakan metode pengecoran sentrifugal dengan besar variasi medan magnet 0 mT, 0,6 mT; 0,1 mT; 0,17 mT dan 0,23 mT pada putaran 1200 dan 2000 rpm. Arah medan magnet yang digunakan tegak lurus panjang cetakan. Dari penelitian tersebut disimpulkan bahwa pengadukan logam cair yang dipengaruhi pembangkitan medan magnet dengan sistem EMS (*Electromagnetic Stirring*) dapat mempengaruhi struktur dan segregasi paduan Al-CuAl₂ saat solidifikasi pada proses pengecoran sentrifugal. Struktur makro yang halus terbentuk dari pencampuran butir yang sama dan halus pada *equiaxed zone* dan *columnar zone*.

Hardiyanto R. 2008 melakukan penelitian tentang “*Pengaruh Penambahan Medan Magnet pada Pengecoran Sentrifugal terhadap Distribusi Kekerasan dan Kekuatan Tarik Aluminium Paduan (Al-Si-Mg)*”. Penelitian tersebut menggunakan metode pengecoran sentrifugal dengan sudut kemiringan cetakan 45°. Dari penelitian tersebut dapat disimpulkan semakin besar medan magnet (0 mT; 0,149 mT; 0,162 mT, 0,181 mT; 0,245 mT dan 0,358mT) yang diberikan pada proses sentrifugal casting maka didapatkan struktur butiran yang semakin padat dan halus sehingga menghasilkan nilai kekerasan dan kekuatan tarik yang tinggi dari coran aluminium paduan (Al-Si-Mg). Nilai optimum dari distribusi kekerasan dan uji tarik adalah pada penambahan medan magnet sebesar 0,245mT.

Sebelumnya pernah dilakukan penelitian oleh **Putra W.D.** 2006 tentang “*Pengaruh Temperatur Peleburan Terhadap Kekekeraan Dan Kekuatan Tarik Aluminium Paduan (Al-Si-Mg) Pada Pengecoran Dengan Cetakan Logam*”. Penelitian tersebut menggunakan metode pengecoran gravitasi dengan variasi temperatur peleburan 700°C, 800°C dan 900°C. Dari penelitian tersebut temperatur peleburan menjadi parameter temperatur penuangan logam kedalam cetakan logam. Hasilnya didapatkan bahwa semakin tinggi temperatur peleburan maka kekerasan dan kekuatan tarik akan meningkat. Kekuatan mekanik meningkat seiring peningkatan gradien temperatur penuangan dan temperatur cetakan logam. Nilai optimum dari kekerasan

yang dihasilkan ialah pada temperatur 900°C dan untuk kekuatan tarik didapatkan pada temperatur 800°C.

2.2 Pengecoran Logam

Teknologi pengecoran merupakan salah satu metode yang sering digunakan dalam industri pengolahan logam. Prinsip dasar pengecoran logam adalah mencairkan logam dalam dapur kemudian menuangkan logam cair tersebut kedalam sebuah cetakan, yang mana cetakan tersebut memiliki kemampuan untuk tahan terhadap temperatur tinggi dengan bentuk *cavity* sesuai bentuk logam yang akan dibuat, kemudian dibiarkan dingin sehingga membeku sesuai bentuk yang terdapat dalam rongga cetakan (*cavity*), setelah itu baru dilakukan pembongkaran dan pembersihan (Heine, 1985:1). Dalam melakukan pengecoran logam terdapat beberapa urutan kegiatan yang harus dilakukan, diantaranya adalah seperti membuat cetakan, pencairan logam, penuangan logam, pembersihan hasil coran, dan pemeriksaan hasil coran.

2.3 Pengecoran Sentrifugal

Proses pengecoran sentrifugal dilakukan dengan cara menuangkan logam cair kedalam cetakan yang berputar. Di bawah pengaruh gaya sentrifugal benda coran akan padat, permukaan halus dan struktur logam yang dihasilkan mempunyai struktur fisik yang unggul. Umumnya cara ini cocok untuk benda coran yang berbentuk simetris (B.H.Amstead.1979:118). Cetakan yang digunakan dalam pengecoran sentrifugal yaitu cetakan permanen yang biasanya terbuat dari besi atau baja dan grafit.

Dengan adanya pengaruh gaya sentrifugal ini maka benda coran akan mengalami pembekuan dan memadat. Pemadatan ini akan semakin mengecil pada radius yang semakin kecil, karena gaya sentrifugal yang bekerja juga semakin kecil. Adanya penekanan ini menyebabkan logam cair seakan-akan diperlakukan seperti pada proses tempa, sehingga titik luluh dari benda kerja akan meningkat. Pada pengecoran sentrifugal ini logam cair bergerak rotasi sepanjang sumbu horizontal/vertikal, sesuai dengan penerapan Hukum II Newton, gaya sentrifugal pada benda yang berputar adalah sebanding dengan radius putar dan kuadrat dari kecepatan putarnya (Zemansky, S. 1985: 135).

$$F_c = m \cdot \omega^2 \cdot r = \frac{m \cdot v^2}{r} \quad (2-1)$$

dengan :

F_c = Gaya sentrifugal (N)

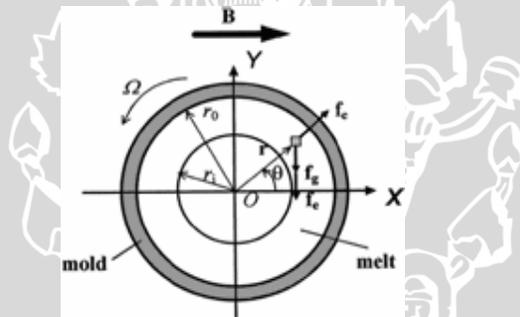
m = massa (Kg)

r = radius (m)

ω = kecepatan putar (rad/s)

v = kecepatan (m/s)

Pada pengecoran sentrifugal dengan pengaruh magnet, terbentuknya makrostruktural coran ditunjukkan dari aliran fluida logam tersebut. Hal ini dapat dihitung dengan gaya-gaya yang terjadi pada prosesnya. Gaya-gaya tersebut antara lain gaya sentrifugal, gaya gravitasi dan gaya lorentz. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 2.1 dibawah ini. Pengadukan yang diakibatkan oleh gaya elektromagnetik berpengaruh terhadap proses solidifikasi coran, mempengaruhi struktur dan segregasi saat solidifikasi pada proses pengecoran sentrifugal



Gambar 2.1 Gaya-gaya yang bekerja pada pengecoran sentrifugal dipengaruhi medan magnet

Sumber : Zhang, W.Q 1998: 405

Untuk menentukan kecepatan putar dari cetakan ditentukan dengan perbandingan gaya sentrifugal F_c dan gaya gravitasi F_g . Di dalam pengecoran sentrifugal, besarnya gaya yang diperlukan untuk melempar logam cair ke dinding cetakan ditentukan oleh G faktor. (Beeley, 1982 : 102).

$$G_{faktor} = \frac{F_c}{F_g} = \frac{r \cdot \omega^2}{g} \quad (2-2)$$

dengan :

F_g = Gaya gravitasi pada massa/benda yang sama (N).

F_c = Gaya sentrifugal (N)

Penggunaan metode pengecoran sentrifugal cukup efektif, mulai dari ring piston yang beratnya hanya beberapa gram hingga rol untuk pabrik kertas dengan berat 40 ton

lebih dapat dibuat. Dengan adanya gaya sentrifugal memungkinkan dicornya produk yang lebih tipis. Pengecoran sentrifugal dapat dikelompokkan menjadi tiga metode, antara lain : (Djaprie, S. 1990 : 118)

4. Pengecoran Sentrifugal sejati
5. Pengecoran Semisentrifugal
6. Sentrifuging

2.4 Bahan Coran

Pada industri pengecoran logam dikenal berbagai macam bahan yang digunakan sebagai bahan pengecoran logam. Diantara bahan-bahan tersebut antara lain besi cor, baja cor, paduan tembaga, paduan aluminium, dan lain-lain (Surdia, T 1986 : 4).

2.4.1 Aluminium

Aluminium berasal dari bijih 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 non ferro. Penggunaan aluminium adalah yang kedua setelah besi dan baja (Surdia,T. 1985 : 129). Keutamaan aluminium dalam bidang teknik adalah beberapa sifatnya yang unik dan menarik, yaitu mudah untuk pengerjaan lanjutan, beratnya ringan, ketahanan korosi yang baik, konduktivitas listrik dan panas yang baik. (De Garmo, 1998 : 157). Selain itu aluminium juga bersifat paramagnetik (<http://id.wikipedia.org/wiki/Aluminium>). Paramagnetisme adalah suatu bentuk sifat magnetik yang hanya terjadi karena adanya medan magnet eksternal. Material paramagnetik tertarik oleh medan magnet, dan karenanya memiliki permeabilitas magnetis relatif lebih besar dari satu. Meskipun demikian, tidak seperti ferromagnetik yang juga tertarik oleh medan magnet, paramagnet tidak mempertahankan magnetismenya sewaktu medan magnet eksternal tak lagi diterapkan.

2.4.2 Sifat-sifat aluminium

Aluminium cukup diminati dalam penggunaan teknologi pengecoran. Disamping titik lebur yang rendah aluminium memiliki beberapa keunggulan dibanding besi dan baja yang mana aluminium merupakan logam ringan yang mempunyai ketahanan korosi serta hantaran listrik yang baik dan mudah untuk pengerjaan lanjutan (De Garmo,1998

: 157). Sifat-sifat aluminium baik dari segi fisik maupun mekanik ditunjukkan pada tabel 2.1 dan 2.2 berikut :

Tabel 2.1 Sifat-sifat fisik aluminium.

No	Sifat-Sifat Fisik Aluminium	Kemurnian Al (%)	
		99,996	>99,99
1.	Massa Jenis (Kg/dm ³)(20°C)	2,6989	2,71
2.	Titik cair (°C)	660,2	653-657
3.	Panas Jenis (cal/g.°C)(100°C)	0,2226	0,2297
4.	Hantaran listrik (%)	64,91	59(dianil)
5.	Tahanan Listrik Koefisien Temperatur (°C)	0,00429	0,0115
6.	Koefisien Pemuai (20-100°C)	23,86x10 ⁻⁶	23,5x10 ⁻⁶
7.	Jenis Kristal, Konstanta kisi	Fcc, =4,013kX	Fcc, =4,04kX

Sumber : Surdia, T. 1985 : 134

Tabel 2.2 Sifat-sifat mekanik aluminium.

Sifat- sifat	Kemurnian Al (%)			
	99,99		>99,0	
	Dianil	75% dirol	Dianil	H 18
Kekuatan tarik (Kg/mm ²)	4,6	11,6	9,3	16,8
Kekuatan mulur (0.2%)(Kg/mm ²)	1,3	11	3,5	14,8
Perpanjangan (%)	48,8	5,5	35	5
Kekerasan Brinell (Kg/mm ²)	17	27	23	44

Sumber : Surdia, T. 1985 : 134

Sifat-sifat mekanik aluminium tergantung dari pengerjaan yang dilakukan. Pengerjaan yang dapat dilakukan terhadap aluminium misalnya dianil, dituang, diroll, dipanaskan dsb. Sifat-sifat mekanik aluminium yang lain meliputi:

1. Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas aluminium rendah, jadi harus dipertimbangkan pada 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. Kekuatan *Creep*

Kekuatan creep aluminium biasanya membatasi penggunaannya hanya pada temperatur yang rendah. Sebagai contoh untuk campuran jenis 20185-T61 memiliki kekuatan luluh 48000 psi pada temperatur ruang, namun hanya akan memiliki kekuatan luluh 17000 psi pada temperatur 250°C. Kekuatan luluh beberapa campuran yang lain menunjukkan penurunan yang serupa pada temperatur yang sama.

3. Ketahanan korosi

Sifat tahan korosi aluminium diperoleh karena terbentuknya lapisan oksida aluminium pada permukaan aluminium. Lapisan oksida ini melekat pada permukaan yang kuat dan rapat serta sangat stabil. Paduan aluminium tahan terhadap serangan konsentrasi asam nitrik, asam organik dan asam sulfur. Ketahanan korosi aluminium juga menunjukkan ketahanan yang bagus terhadap atmosfer, termasuk semprotan gas adanya lapisan oksida menyebabkan aluminium menjadi sukar untuk dilas dan disolder (titik leburnya 2000°C).

4. Ketahanan Aus

Ketahanan aus dari aluminium sangat jelek. Hal ini dapat diperkirakan dari harga batas luluh dan kekerasan yang sangat rendah. Sifat ini dapat diperbaiki dengan pemanduan aluminium dengan logam lainnya seperti Cu.

2.4.3 Penggolongan paduan aluminium

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

Paduan aluminium berdasar pemuadannya 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. Standar AA digunakan untuk penandaan paduan ini dengan menggunakan empat angka penandaan. Angka pertama menunjukkan unsur utama paduan. Angka kedua menunjukkan modifikasi dari paduan asli. Dan dua angka terakhir menunjukkan campuran paduan.

Tabel 2.3 Klasifikasi paduan aluminium tempa.

Standart AA (seri xxxx)	Standart Alcoa Terdahulu	Keterangan
1xxx(1001)	1S	Al murni 99,5% atau lebih
2xxx(1100)	2S	Al murni 99,0% atau lebih
2xxx(2010-2029)	10S-29S	Copper (Cu)
3xxx(3003-3009)	3S-9S	Manganese (Mn)
4xxx(4030-4039)	30S-39S	Silicon (Si)
5xxx(5050-5086)	50S-86S	Magnesium (Mg)
6xxx(6061-6069)	61S-69S	Magnesium dan silicon (Mg2Si)
7xxx(7070-7079)	70S-79S	Zinc (Zn)

Sumber : Surdia, T. 1985 : 134

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

Dibuat berdasarkan pengecoran (paduan tuang). Paduan ini merupakan paduan yang komplek dari Al dengan Cu, Ni, Fe, Si, dan unsur lainnya. Penandaan unsur paduan ini juga menggunakan standar AA dengan empat angka penandaan. Angka pertama menandakan kelompok paduan, angka kedua dan ketiga menandakan campuran paduan dan kemurnian aluminium, dan angka terakhir yang terpisahkan dengan tanda pecahan desimal menyatakan pembentukan produk.

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
Seng	6xx.x
Tin	7xx.x
Elemen lain	8xx.x

Sumber : De Garmo, 1998 : 159

2.4.4 Pengaruh unsur paduan

Aluminium dipadukan dengan penambahan unsur paduan untuk memperbaiki sifat-sifat fisik maupun mekaniknya. Unsur paduan tersebut beberapa diantaranya sebagai berikut:

- Silikon (Si)

Silikon adalah suatu unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki lambang Si dan nomor atom 14. Merupakan unsur terbanyak kedua di bumi. Senyawa yang

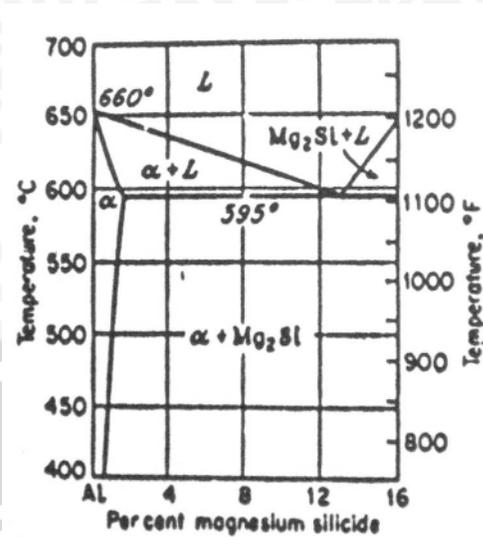
dibentuk bersifat paramagnetik (<http://id.wikipedia.org/wiki/silikon>). Silikon mampu meningkatkan sifat mampu cor. Dalam hal ini yang mampu diperbaiki adalah cara mengurangi penyusutan coran sampai 1,5 kali aluminium murni, mengurangi penyerapan gas dalam pengecoran dan meningkatkan mampu alirnya. Selain itu dapat meningkatkan ketahanan korosi. Namun, silikon mempunyai pengaruh buruk yaitu menurunkan sifat mampu mesinnya.

- Magnesium (Mg)

Magnesium adalah unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki simbol Mg dan nomor atom 12 serta berat atom 24,31. Magnesium adalah elemen terbanyak kedelapan yang membentuk 2% berat kulit bumi, serta merupakan unsur terlarut ketiga terbanyak pada air laut. Logam alkali tanah ini terutama digunakan sebagai zat campuran (*alloy*) untuk membuat campuran aluminium-magnesium yang sering disebut "magnalium" atau "magnelium". Magnesium juga bersifat *paramagnetic* (<http://id.wikipedia.org/magnesium>). Penambahan unsur magnesium digunakan untuk meningkatkan daya tahan aluminium. Apabila dipadukan dengan silikon maka daya tahannya akan meningkat, selain itu Mg juga akan meningkatkan sifat mampu bentuk dan mampu mesin aluminium tanpa menurunkan keuletannya.

- Silikon dan magnesium

Perpaduan silikon dan magnesium dengan aluminium akan membentuk magnesium silikat (Mg_2Si) dan kemudian paduan ini akan berkelakuan sebagai paduan biner semu. Kebanyakan paduan aluminium mengandung Si, sehingga penambahan Mg sangat diperlukan untuk memperoleh efek penguatan dari Mg_2Si . Tetapi paduan ini menjadi getas sehingga untuk mengurangi hal tersebut penambahan magnesium dibatasi dari 0,03 sampai 0,1 % (Heine, 1985 ; 302).



Gambar 2.2. Diagram Fase Al-Mg-Si
Sumber : Heine, 1985:302

Pada umumnya paduan Al-Si-Mg mengandung 0,3% magnesium dan prosentase yang besar dari silikon, yaitu 6-8%, dimana kelebihan dari silikon ini ditampilkan untuk memperbaiki sifat mampu cor dari paduan ini. Paduan Al-Si-Mg ini mempunyai ketahanan korosi yang baik, kekuatan yang tinggi dan mampu alir yang baik saat dicor.

2.5 Sifat-Sifat Logam Cair

2.5.1 Kekentalan logam cair

Kekentalan logam cair tergantung pada temperatur dimana pada temperatur tinggi kekentalan logam cair menjadi rendah sebaliknya pada temperatur rendah kekentalan logam cairnya menjadi tinggi. Proses pengentalan logam cair akan semakin bertambah cepat kalau logam cair didinginkan, saat pada logam cair terbentuk inti-inti kristal. Juga dapat dikatakan kekentalan logam cair akan bertambah sebanding dengan penambahan inti kristal.

Tabel 2.5 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 : Tata surdia, 1986 : 12

2.5.2 Fluiditas

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.

2.5.3 Perbedaan antara logam cair dan air

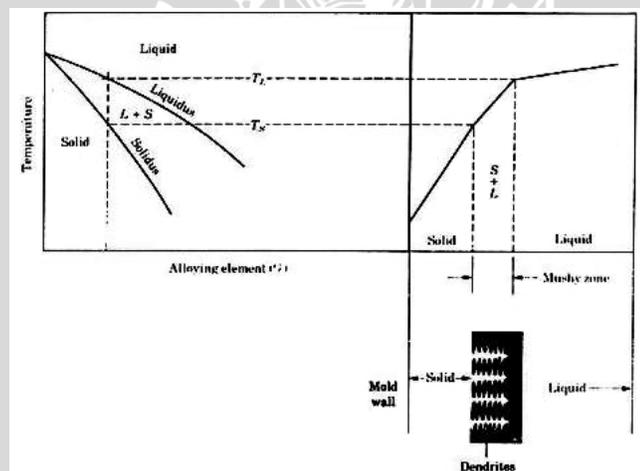
Logam cair adalah cairan seperti air tetapi berbeda dalam beberapa hal yaitu :

- Kecairan logam sangat tergantung pada temperatur dan logam cair akan cair seluruhnya pada temperatur tinggi sedang pada temperatur rendah berbeda dengan air terutama pada keadaan dimana terdapat inti-inti kristal.

- b. Berat jenis logam cair lebih besar dari berat jenis air.
- c. Air menyebabkan permukaan dinding basah sedangkan logam cair tidak.

2.6 Pembekuan Logam

Proses pembekuan logam diawali dengan timbulnya inti kristal pada saat cairan mencapai titik bekunya, bila temperatur terus diturunkan inti kristal berkembang dengan bentuk seperti cabang pohon yang disebut dendrit. Kecepatan pertumbuhan ujung-ujung dari cabang dendrit tergantung pada kecepatan perpindahan panas dari ujung cabang dendrit sekeliling cairan. Selama pertumbuhan dendrit tergantung pada bentuk dan ukuran dari ujung cabang dendrit dan temperturnya (Rusli, R. H. 1994). Logam paduan membeku pada range temperatur, bukan pada titik temperatur tertentu. Pembekuan dimulai ketika temperatur turun dibawah liquiditas dan selesai ketika mencapai solidus. Pada range temperatur ini logam dalam keadaan pasta (Kalpakjian. S, 1990 :280). Ilustrasi skematis dari proses ini ditunjukkan pada Gambar 2.3.



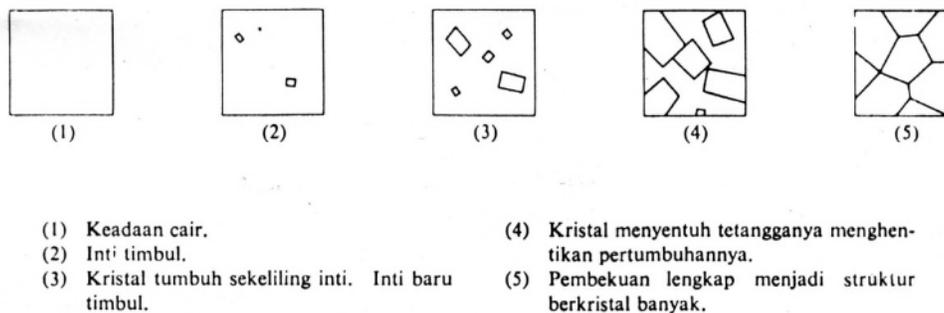
Gambar 2.3. Skematis Pendinginan dan Distribusi Temperatur Logam Paduan
Sumber : Kalpakjian S.1990: 280

Semua logam pada proses pembekuan membentuk kristal, yaitu susunan teratur (*ordered*) atom-atom yang berulang (*repetitive*) dalam suatu ruang. Proses ini dapat dijelaskan sebagai berikut.

Pada proses pengecoran, solidifikasi terjadi saat logam cair bersentuhan dengan cetakan, dimana terjadi gradien temperatur yang tinggi, sehingga temperatur bagian luar logam cair lebih rendah daripada bagian dalam, sehingga inti kristal mulai terbentuk dari bagian yang dekat dengan cetakan, lalu berkembang kebagian dalam, dari bentuk kecil lalu membesar sepanjang arah logam cair. Inti tersebut kemudian membentuk butir

sepanjang luasan logam cair dan berbentuk kolom-kolom, dan pada akhirnya memadat seluruhnya.

Secara detail pada proses pengintian akan timbul banyak inti sehingga banyak pula muncul *dendrite*, yang masing-masing memiliki arah/orientasi yang berbeda-beda. Dendrit akan berkembang lebih besar sehingga nantinya akan menyinggung *dendrite-dendrite* lain (tetangganya) yang juga berkembang. Permukaan singgung ini disebut batas butir (*grain boundary*), sedangkan kristal yang dibatasi oleh batas butir disebut butir. Jika keadaan memungkinkan (misalnya energi yang tersedia cukup besar), satu butir dapat terus berkembang melintasi batas butir, dalam arti bahwa atom-atom dari butir lain (yang kurang stabil) akan mengikuti orientasi butir tersebut.



Gambar 2.4. Ilustrasi skematis dari pembekuan logam

Sumber: Surdia, T. 1986 : 14

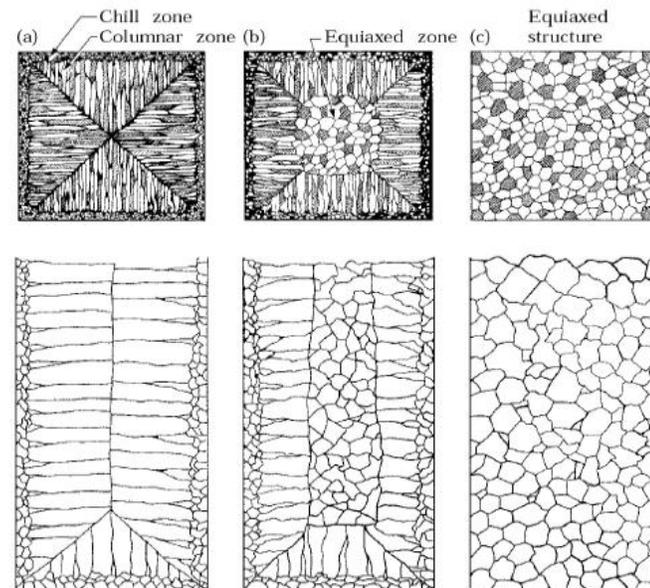
Apabila keadaan ini berlangsung terus maka pada akhirnya akan terdapat satu butir saja. Jika logam didinginkan dengan lambat, maka *dendrite* memiliki waktu cukup untuk tumbuh, sehingga akan terbentuk butir-butir yang besar. Sebaliknya, pendinginan logam secara cepat akan menimbulkan butir-butir yang kecil. Perbedaan ukuran butir menyebabkan perbedaan sifat mekanik.

Umumnya ada tiga daerah yang bisa ditemui pada pembekuan logam coran, antara lain :

a Daerah pembekuan cepat (*chill zone*)

Daerah ini berada paling luar yang mana lebih dipengaruhi oleh heat removal. Struktur ini terbentuk pada kontak pertama antara dinding cetakan dengan melt pada saat dituang ke dalam cetakan. Dibawah suhu lebur beberapa inti terbentuk dan tumbuh ke dalam cairan. Suhu cetakan yang mulai naik memungkinkan kristal yang membeku menyebar meninggalkan dinding karena pengaruh aliran cairan. Dan apabila suhu penguangan yang cukup tinggi dimana cairan yang berada tengah-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*.



Gambar 2.5 Ilustrasi Skematis Pembekuan Logam pada Cetakan Bujursangkar
(a).Logam Murni (b).Logam Paduan (c).Struktur dengan Pendinginan
tanpa Gradien Suhu

Sumber : Kalpakjian, S. 1990: 279

b *Columnar zone*

Columnar zone merupakan struktur yang tumbuh setelah gradien suhu pada dinding cetakan turun dan kristal pada *chill zone* tumbuh secara dendritik dengan arah yang tegak lurus dengan dinding cetakan. Batas permukaan antara struktur kolumnar dengan cairan dapat berbentuk selular maupun selular dendritik.

c *Equiaxed zone*

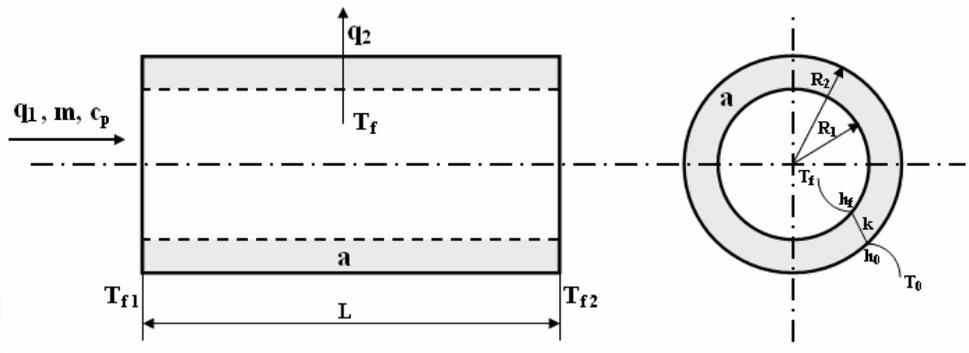
Struktur ini terdiri dari butiran yang bersumbu sama yang arah acak. Asal dari butiran ini adalah mencairnya kembali lengan dendrit. Bila suhu disekitar masih tinggi, setelah cabang dendrit tersebut terlepas dari induknya dan tumbuh menjadi dendrit yang baru.

2.7 Pengaruh Perpindahan Panas Pada Proses Pembekuan Logam

Proses pembekuan logam dipengaruhi oleh *Heat Flow* atau laju perpindahan panas. Selama proses pembekuan ini energi dilepaskan dalam bentuk panas laten pembekuan dan laju pembekuan tergantung pada jumlah panas yang dilepaskan. Agar terjadi pembekuan, maka panas laten sejumlah H harus dikeluarkan dari logam cair.

Demikian pula sebaliknya bila mencairkan bahan, maka panas laten sejumlah H harus ditambahkan agar berubah menjadi cair (Rusli, 1994:70).

Proses perpindahan panas yang terjadi pada proses pengecoran dengan cetakan logam meliputi perpindahan panas secara konduksi dan konveksi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Perpindahan Kalor Menyeluruh pada Cetakan Logam
Sumber : Holman, 1991: 252

Panas dari logam cair yang dilepas (q_1) sama dengan panas diterima dengan proses perpindahan panas logam ke cetakan dan udara sekitar (q_2). Energi total logam cair yang mengalir dalam silinder dilepas melalui perpindahan panas. Rumusan energi total dalam silinder tersebut dapat dijabarkan sebagai berikut (Holman, 1991 :251):

$$q_1 = \dot{m} \cdot c_p \cdot dt \tag{2-3}$$

$$q_1 = \rho \cdot u_m \cdot A \cdot c_p \cdot (T_{f1} - T_{f2})$$

dengan,

- q_1 = laju energi total dalam silinder (Watt)
- \dot{m} = laju massa aliran fluida atau logam cair (kg/s)
- c_p = panas jenis logam pada tekanan konstan (J/kg.°C)
- dt = beda temperatur pangkal dan ujung silinder (°C)
- ρ = massa jenis fluida atau logam cair (kg/m³)
- u_m = kecepatan rata-rata fluida atau logam (m/s)
- A = luas penampang silinder (m²)
- T_{f1} = temperatur di pangkal silinder (°C)
- T_{f2} = temperatur di ujung silinder (°C)

Energi total dalam silinder dilepas melalui perpindahan panas. Pada gambar 2.8 terlihat bahwa panas q_1 dari fluida A (dalam hal ini logam cair) berpindah ke cetakan logam dan menyebabkan turunnya temperatur sehingga terjadi perpindahan panas secara konveksi. Kemudian panas berpindah dalam cetakan logam sepanjang sumbu x (R_2-R_1) atau tebal cetakan sehingga terjadi perpindahan panas secara konduksi. Selanjutnya panas dari cetakan logam ini akan berpindah ke fluida B (udara sekitar) yang kembali menyebabkan terjadinya perpindahan panas secara konveksi. Karena perpindahan panas yang terjadi pada cetakan logam ini sangat kompleks baik secara konduksi maupun konveksi, maka untuk mengetahui laju perpindahan panas secara menyeluruh pada cetakan logam yang berbentuk silinder dapat diketahui dari rumus berikut (R.Pitts D, 1987:22):

$$q_2 = \frac{T_f - T_0}{\frac{1}{2\pi r_1 L h_f} + \frac{\ln(r_2 / r_1)}{2\pi k_a L} + \frac{1}{2\pi r_2 L h_0}} \quad (2-4)$$

dengan,

- q_2 = laju perpindahan panas (Watt)
- T_f = temperatur logam cair ($^{\circ}\text{C}$)
- T_0 = temperatur udara sekitar ($^{\circ}\text{C}$)
- h_f = koefisien perpindahan panas konveksi logam cair ($\text{Watt}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{C}^{-1}$)
- h_0 = koefisien perpindahan panas konveksi udara sekitar ($\text{Watt}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{C}^{-1}$)
- k_a = konduktifitas termal cetakan logam ($\text{Watt}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{C}^{-1}$)
- r_1 = jari-jari dalam cetakan logam (m)
- r_2 = jari-jari luar cetakan logam (m)
- L = panjang penampang cetakan logam (m)

Semakin tinggi temperatur logam yang dituang fluiditasnya semakin baik, sehingga kecapatan mengalir logam kedalam cetakan semakin baik. Dengan fluiditas yang baik maka logam cair akan segera mengisi seluruh luasan cetakan. Laju massa aliran semakin besar sehingga energi yang dipindahkan semakin besar dengan cepat. Laju aliran fluida pada perpindahan panas konveksi menentukan besar nilai koefisien konveksi fluida (h). Demikian pula laju aliran logam pada cetakan juga berpengaruh pada nilai koefisien konveksi logam (h_f). Semakin besar nilai koefisien konveksi logam maka semakin besar pula laju perpindahan panas yang dihasilkan. Besar laju

perpindahan panas akan menentukan kecepatan pendinginan dari logam. Setelah dituang ke dalam cetakan, logam cair akan mengalami proses pembekuan cepat oleh cetakan logam seiring dengan kecepatan proses pendinginan dari dalam ke luar cetakan. Besar laju perpindahan panas dari logam yang dipindahkan sepanjang cetakan akan berpengaruh pada waktu pembekuan logam. Hal ini dapat dilihat pada rumus waktu solidifikasi berikut (ASM Metals Handbook Vol 6,1998:38) :

$$S_t = \frac{LH_{net}}{2\pi\lambda\rho C_p (T_m - T_o)^2} \quad (2-5)$$

dengan,

- S_t = waktu solidifikasi (second)
- L = panas Laten (J/mm³)
- H_{net} = panas yang ditransfer sepanjang cetakan (J/mm)
- λ = konduktifitas termal (J/mm.s.°C)
- ρ = densitas material (g/mm³)
- C_p = panas spesifik (J/g.°C)
- T_m = temperatur cair (°C)
- T_o = temperatur akhir (°C)

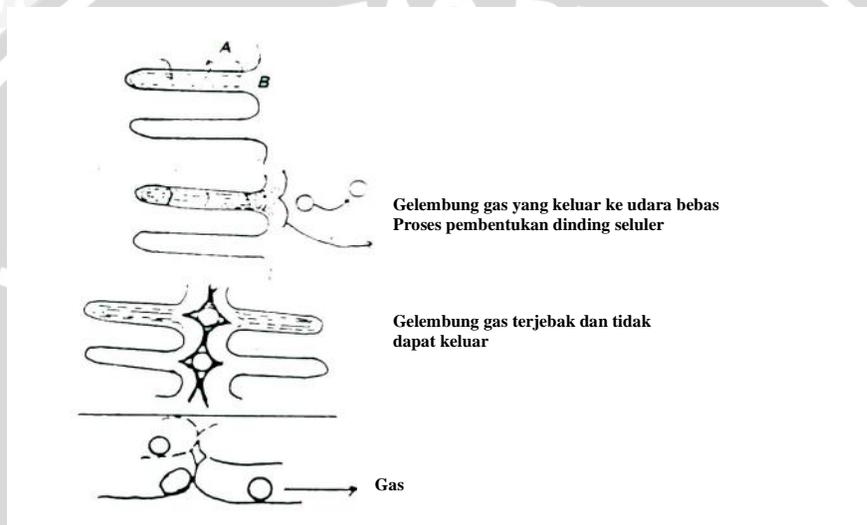
Dari rumus diatas didapat pada temperatur cair yang tinggi waktu solidifikasi semakin cepat, fluiditas yang baik pada temperatur cair yang tinggi mampu mengalirkan logam keseluruhan bagian cetakan lebih merata sehingga panas yang ditransfer sepanjang cetakan lebih merata dibandingkan dengan temperatur dan fluiditas yang lebih rendah. Pada pengecoran sentrifugal fluiditas yang rendah dari temperatur penuangan yang rendah dapat mengakibatkan solidifikasi lokal sehingga hasil pembekuan coran menjadi berlapis dan menyebabkan porositas gas (ASM Metals Handbook Vol 15,1998:634).

Kecepatan pembekuan dan pendinginan besar pengaruhnya terhadap ukuran bentuk dan keseragaman dari butiran hasil coran yang mana akan mempengaruhi sifat mekanisnya. Kecepatan pendinginan yang tinggi menghasilkan butiran yang halus dan kekuatan mekanis yang tinggi. Faktor-faktor yang berpengaruh pada proses pembekuan logam adalah bahan coran, sifat termal dari coran maupun bahan cetakannya, hubungan antara geometri volume dan luas permukaan coran serta bentuk dari coran yang dipakai (S. Kalpakjian, 1990:278).

2.8 Kelarutan Gas Pada Logam Cair

2.8.1 Keseimbangan fase gas dan logam

Besarnya konsentrasi gas akan bertambah seiring dengan kenaikan temperatur sampai pada temperatur tertentu di mana konsentrasi gas tidak dapat meningkat. Gelembung gas terbentuk pada antar permukaan padatan dan cairan. Formasi dari pembentukan gelembung gas dapat secara signifikan pada proses solidifikasi, khususnya pada tempat-tempat seperti dinding sel atau pada proses solidifikasi seluler, antara cabang-cabang dendrit (pada proses solidifikasi dendritik), demikian pula pada batas butir.



Gambar 2.7 Proses Terjadinya Gelembung Gas pada Solidifikasi Seluler
Sumber : Rusli, R.H.1994: 82

Nukleasi gelembung gas terjadi selama proses solidifikasi, di mana kecepatan transpor gas secara difusi tidak secepat kecepatan penolakan gas pada batas antar permukaan padatan dan cairan (Rusli, 1994: 82)

2.8.2 Kelarutan gas pada logam cair

Sejumlah gas seperti hidrogen, oksigen, nitrogen dan elemen-elemen seperti karbon dan sulfur cenderung untuk larut dalam logam cair. Kelarutan dari gas-gas ini cukup besar dalam logam cair, tetapi akan menurun secara tajam saat temperatur di bawah 660°C . Kerugian dari banyaknya gas-gas yang terlarut akan menimbulkan kerusakan coran dalam bentuk rongga udara (*blow holes*), lubang jarum (*pin holes*), atau porositas mikro (Jain, PL. 1979: 183). Gas hidrogen adalah salah satu gas yang larut

dalam semua logam dan dapat menyebabkan kerusakan yang fatal dalam banyak logam paduan. Gas diabsorpsi oleh logam cair dapat berasal dari berbagai sumber di antaranya:

- Dari atmosfer (saat cairan dalam dapur atau saat penuangan)
- Dari material logam yang kotor dan basah, banyak mengandung minyak.
- Dari cetakan yang masih basah.

Upaya untuk membebaskan logam cair dari pelarutan gas saat masuk ke dalam cetakan adalah dengan operasi yang dinamakan *degassing* (menghilangkan gas), tiga metode yang umumnya dilakukan dalam proses *degassing* (Jain, P.L. 1979: 184) adalah:

- Pembilasan logam cair dengan mengalirkan gas murni seperti argon nitrogen. Hal ini umumnya dilakukan pada logam paduan.
- Menggunakan *degasser* padat yang menghasilkan suatu gas bereaksi kimia dengan gas-gas pelarut misalnya, CO yang menghasilkan gas karbon, bertindak sebagai gas murni untuk membilas hidrogen dari logam cair.
- *Degassing* hampa udara, di mana logam cair di dalam dapur kemudian dipindah ke dalam sebuah ruang kedap udara.

Reaksi yang terjadi antara uap air dengan logam cair pada paduan aluminium adalah sebagai berikut :



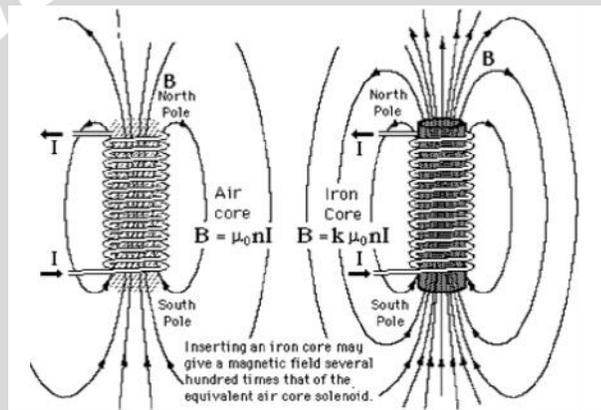
Reaksi inilah yang menyebabkan terjadinya cacat pada permukaan logam coran berupa *blow holes* dan *pin holes*. Pembakaran udara yang mengandung H₂O menyebabkan terjadinya oksidasi dan penyerapan hidrogen dalam logam coran. Kelarutan hidrogen meningkat seiring dengan meningkatnya tekanan parsial dari hidrogen diatas titik cair (R.W. Heine, 1985 : 269). Semakin tinggi temperatur peleburan Al, maka hidrogen yang terlarut semakin banyak terlebih lagi pada saat mencapai temperatur titik cair (*melting point*) dari aluminium.

2.9 Sifat Kemagnetan Bahan

Medan magnet dapat dihasilkan oleh adanya pergerakan muatan listrik dalam suatu material. Medan magnet dapat dibangkitkan dengan mengalirkan arus listrik pada sebuah konduktor. Medan magnet dapat didefinisikan sebagai area di sekitar sebuah magnet atau sebuah penghantar yang dialiri arus listrik. Sedangkan vektor magnet dinamakan induksi magnet (*magnetic induction*), yang dapat dinyatakan dengan garis-garis induksi (*line of induction*).

Solenoida merupakan kumparan atau lilitan kawat yang biasanya membungkus inti logam dan dapat menghasilkan medan magnet apabila arus listrik dialirkan pada kumparan tersebut. Solenoid dapat menghasilkan medan magnet yang besarnya dapat dikontrol. Adapun arah garis medan magnet tergantung pada arah aliran arus listrik dalam kumparan (solenoida) yang dapat dijelaskan dalam gambar 2.8.

Apabila kedalam solenoida dimasukkan bahan ferromagnetik seperti besi, baja, silikon, maka medan magnet yang dihasilkan akan bertambah besar. Peningkatan medan magnet yang terjadi pada solenoida merupakan penjumlahan antara medan magnet yang dihasilkan solenoida itu sendiri dan medan magnet eksternal yang dihasilkan inti solenoida yang menjadi magnet. Peningkatan medan magnet yang terjadi tersebut dinamakan induksi magnetik atau rapat fluks magnetik dan diberi simbol B .



Gambar 2.8 Arah garis medan magnet dalam solenoida

Sumber : hyperphysics.phy-astr.gsu.edu

Besarnya peningkatan medan magnet yang terjadi diukur dengan menggunakan besaran yang dinamakan permeabilitas magnetik yang merupakan perbandingan antara induksi magnet yang dihasilkan B dengan kuat medan magnet yang terjadi H atau dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\mu = \frac{B}{H} \quad (\text{Smith, 2004: 831}) \quad (2-6)$$

Apabila dalam solenoida tidak terdapat inti logam maka permeabilitas magnetik merupakan permeabilitas ruang kosong (μ_0), dimana $\mu_0 = 4 \cdot 10^{-7} \text{ Wb(Am)}^{-1}$

Peningkatan medan magnet yang terjadi juga dapat dinyatakan dalam besaran permeabilitas relatif (μ_r) yang merupakan perbandingan antara μ dan μ_0 .

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0} \quad (\text{Smith, 2004: 832}) \quad (2-7)$$

Secara umum besar induksi magnet yang dihasilkan dapat dinyatakan dengan rumusan sebagai berikut:

$$B = \mu_r \cdot \mu_0 \cdot H \quad (\text{Smith, 2004: 832}) \quad (2-8)$$

Adapun besar induksi magnet yang dibangkitkan solenoida yang berarus listrik dapat dirumuskan sebagai berikut : (Smith, 2004: 832)

- Induksi magnet ditengah panjang solenoida: $B = \frac{\mu \cdot I \cdot N}{l}$ (2-9)

- Induksi magnet diujung panjang solenoida: $B = \frac{\mu \cdot I \cdot N}{2l}$ (2-10)

dengan: B = medan magnet induksi solenoida (Tesla = $1 \text{ NA}^{-1}\text{m}^{-1}$)

μ = permeabilitas magnetik ($\text{WbA}^{-1}\text{m}^{-1}$)

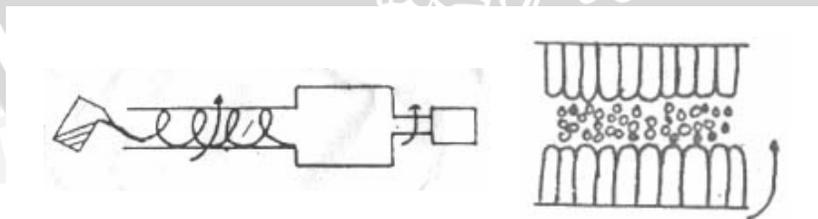
I = arus listrik (A)

N= jumlah lilitan

L = panjang solenoida (m)

2.10 Pengaruh Gaya Elektromagnetik Pada Proses Pembekuan Logam

Pada pengecoran sentrifugal terjadi struktur campuran yang disebut sebagai mixed struktur yang merupakan kombinasi antara struktur kolomnar dan *equiaxed*. Pengaruh rotasi akibat cetakan diputar baik dengan cara *centrifugal casting* menyebabkan terjadinya struktur kolomnar pada bagian dasar dan struktur equaxed pada bagaian tengah. (Rusli, 1994, 82).



Gambar 2.9 Struktur Yang Dihasilkan Dengan Centrifugal Casting
Sumber : R.H. Rusli, 1994 : 62

Pembekuan logam pada pengecoran sentrifugal yang dipengaruhi medan magnet terjadi karena ada interaksi antara perputaran logam cair dan medan magnet. Mengacu

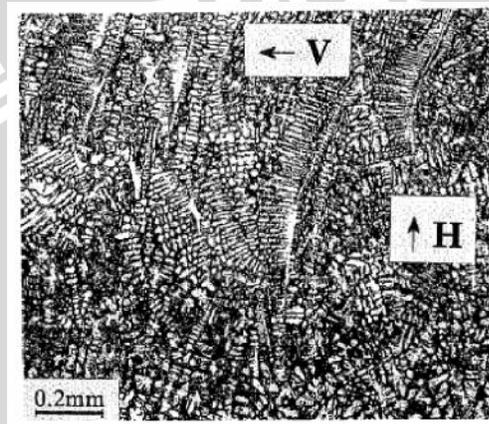
pada prinsip *magnetohydrodynamic*, ketika logam cair berputar dengan kecepatan (v) pada medan magnet yang konstan maka berlaku persamaan (2-6):

$$I = \sigma (v \times B) \quad (2-11)$$

$$F = I \times B \quad (2-12)$$

Dimana σ = konduktivitas elektrik

Dari persamaan tersebut dapat diketahui komponen gaya elektromagnetik yang bekerja pada logam dalam arah tangensial dari cetakan selalu berlawanan terhadap arah putaran. Hal ini disebabkan pendinginan logam cair terjadi dari bagian luar (*chill zone*) ke bagian dalam (*exquaxed zone*) (Yang, Y. 391:1994).



Gambar 2.10 Dendrit yang terbentuk pada batas antara daerah columnar dan equiaxed ($B = 0,2T$). V: arah rotasi cetakan, H: arah aliran panas akibat medan magnet.

Sumber : Yang, Y.1994 : 391

Ukuran besar dari butir kristal tergantung pada laju pengintian dan pertumbuhan dari inti. Kalau laju pengintian lebih besar dari laju pertumbuhan, maka didapat kelompok butir-butir kristal halus demikian pula sebaliknya jika laju pertumbuhan lebih besar akan didapat kelompok butir-butir kristal besar (Surdia, T. 1986:14). Aliran logam cair dari permukaan dapat mengubah arah pertumbuhan dari butir *columnar*, dikarenakan rata-rata pertumbuhan dari butir lebih besar pada sisi permukaan butir yang mengalir. Arah pertumbuhan butir cenderung kearah aliran fluida. Semakin tinggi induksi magnet yang diberikan semakin besar dan kuat gaya elektromagnetiknya. Pengadukan gaya elektromagnetik akan mempengaruhi pembekuan logam, lengan dendrit patah dan kemudian terbentuk inti. Efek pengadukan tersebut mengakibatkan laju pengintian akan lebih besar dari laju pertumbuhan butir. Secara keseluruhan butiran yang dihasilkan berbutir halus.

2.11 Pengujian Kekuatan Tarik

Kekuatan/*strenght* menyatakan kemampuan bahan untuk menerima beban/tegangan tanpa menyebabkan bahan menjadi patah/rusak/ gagal. Kekuatan ini ada beberapa macam, tergantung dari beban yang bekerja yaitu kekuatan tarik, kekuatan geser, dan kekuatan tekuk. Beban/tegangan tersebut timbul akibat dari penggunaannya sebagai bagian dari suatu struktur atau mesin. Dengan demikian harus diketahui batasan harga yang membuat bahan tersebut tidak mengalami kerusakan.

Uji tarik digunakan untuk memperoleh informasi dari kekuatan tarik bahan. Untuk kebanyakan bahan coran penguangan, ukuran batang uji setelah dicor dan ukuran setelah selesai dikerjakan dengan mesin, distandarkan. Alasannya adalah untuk menyamakan pengaruh dari keadaan pendinginan dan pembekuan (Surdia, T. 1986:207). Pada uji tarik spesimen dibebani gaya tarik searah sumbu secara kontinyu. Kekuatan tarik suatu bahan dapat diketahui melalui pengujian tarik, kekuatan suatu bahan ditetapkan dengan membagi gaya maksimum dengan luas penampang mula yang dapat dirumuskan (Wiryosumarto 1996: 181). Tegangan yang digunakan adalah tegangan rata-rata longitudinal pada uji tarik, diperoleh dari pembagian beban (P)

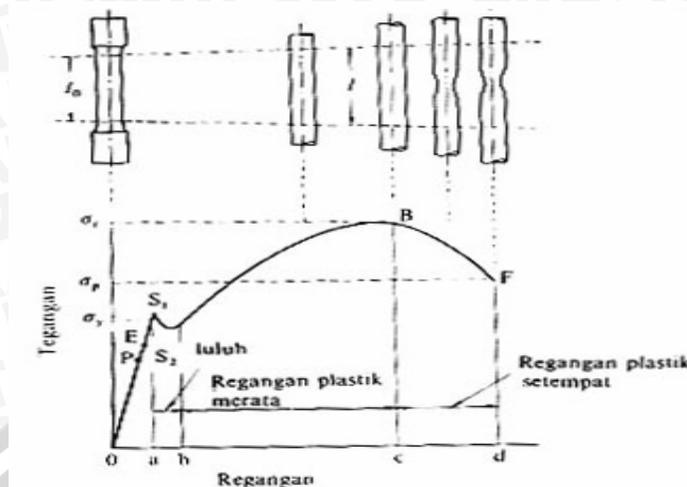
$$\text{dengan luasan spesimen } A_o, \sigma = \frac{P}{A_o} \quad (2-13)$$

$$\begin{aligned} \text{Dengan : } \quad \sigma &= \text{Tegangan tarik (N.mm}^{-2} \text{)} \\ P &= \text{Beban tarik maksimum (N)} \\ A_o &= \text{Luas penampang mula – mula (mm}^2 \text{)} \end{aligned}$$

Regangan yang digunakan adalah regangan rata-rata yang diperoleh dari perbandingan antara pertambahan panjang ($\Delta \ell$) dengan panjang awal pengukuran (ℓ),

$$\varepsilon = \frac{\Delta \ell}{\ell_o} \quad (2-14)$$

Kekuatan tarik diperoleh dari pengukuran beban maksimum yang bisa ditahan oleh bahan sebelum patah.



Gambar 2.11 Kurva tegangan – regangan

Sumber : Wiryosumarto 1996: 182

Titik – titik diatas menunjukkan sifat-sifat dari bahan uji yang selanjutnya dapat dijadikan referensi untuk penggunaan benda uji tersebut, yang dalam hal ini :

- Titik P menunjukkan batas dimana hukum *Hooke* masih berlaku dan disebut batas proporsi yang merupakan titik keseimbangan antara tegangan dan regangan.
- Titik E menunjukkan batas dimana bila beban dihilangkan tidak terjadi perpanjangan tetap pada batang uji yang disebut batas elastis. Titik E sukar ditentukan dengan tepat karena itu biasanya batas elastis dengan perpanjangan tetap sebesar 0,005 % sampai 0,01 %
- Titik S_1 disebut titik luluh atas dan titik S_2 disebut titik luluh bawah , yang merupakan titik dimana tempat terjadi penambahan regangan tanpa penambahan beban
- Titik B merupakan titik tempat tegangan tertinggi yang dapat dicapai oleh bahan tersebut yang dikenal dengan titik *ultimate*.
Titik F merupakan titik tempat bahan tersebut patah.

2.12 Hipotesis

Berdasarkan teori dan penelitian yang terdahulu, semakin tinggi gradien temperatur logam cair dengan cetakan maka laju pendinginan akan lebih cepat sehingga dihasilkan struktur butiran yang kecil-kecil atau halus. Hal ini disebabkan dendrit tidak memiliki cukup waktu untuk tumbuh. Dan semakin besar induksi magnet yang dibangkitkan, maka gaya elektromagnetik yang ditimbulkan juga akan semakin besar.

Gaya elektromagnet memungkinkan untuk menghambat pertumbuhan butir selama proses pembekuan. Pengadukan yang disebabkan pengaruh gaya elektromagnetik menyebabkan inti yang terbentuk semakin banyak, sehingga diperoleh struktur yang berbutir halus dan padat. Struktur butiran yang semakin padat dan halus menghasilkan kekuatan tarik yang tinggi. Sehingga dapat diduga bahwa semakin tinggi temperatur penuangan dan semakin besar medan magnet akan dihasilkan butiran yang semakin kecil dan kekuatan tariknya semakin tinggi.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian eksperimental (*experimental research*) yang bertujuan untuk menyelidiki dan mengetahui pengaruh penambahan medan magnet dan temperatur penuangan terhadap sifat mekanis hasil coran aluminium paduan (Al-Si-Mg) dengan proses pengecoran sentrifugal. Dengan asumsi variabel yang lain konstan. Studi literatur dan data sekunder dari berbagai referensi dan karya ilmiah dilakukan untuk membantu proses analisis data dan pembahasan.

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Tempat

- Laboratorium Pengecoran Logam Universitas Brawijaya tempat peleburan aluminium paduan dan pelaksanaan proses pengecoran sentrifugal.
- Laboratorium Proses Produksi 1 Teknik Mesin Unibraw tempat pembuatan alat pengecoran sentrifugal dan spesimen benda kerja penelitian.
- Laboratorium Pengujian Bahan Teknik Mesin Unibraw tempat pengujian kekuatan tarik spesimen.
- Laboratorium Fisika Gelombang FMIPA Universitas Negeri Malang tempat pengujian (pengukuran) besar induksi magnet dan uji komposisi material.

Waktu

Dimulai tanggal 14 Juli 2009 s/d 21 Oktober 2009

3.3 Variabel Penelitian

Variabel penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

a. Variabel bebas

Variabel bebas adalah variabel yang besarnya ditentukan sebelum penelitian.

Variabel bebas yang digunakan yaitu :

- Kuat medan magnet

Kuat medan magnet yang ditambahkan dengan memvariasikan kuat arus pembangkit medan magnet sebesar 0A, 5A, 10A, 15A dan menghasilkan variasi kuat medan magnet berturut-turut sebesar 0mT; 0,162mT; 0,181mT; 0,358mT.

- Temperatur Penuangan

Variasi temperatur penuangan yang digunakan adalah 700°C, 800°C, 900°C dan 1000°C.

b. Variabel terikat

Variabel terikat adalah variabel yang besarnya bergantung dari variabel bebas. Variabel terikatnya dalam penelitian ini adalah kekuatan tarik (kg/mm^2) hasil coran.

c. Variabel terkontrol

Variabel terkontrol adalah variabel yang nilainya dikonstantakan. Dalam hal ini yang menjadi variabel terkontrol adalah :

- Kecepatan putar : 1200 rpm
- Sudut kemiringan cetakan : 0° (Sentrifugal Horizontal)
- Jumlah lilitan kawat solenoida : 150
- Waktu putar cetakan : 120 detik

3.4 Peralatan dan Bahan yang digunakan

3.4.1 Peralatan yang digunakan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Dapur listrik untuk meleburkan aluminium paduan.
2. Cetakan logam dan mekanisme putaran cetakan (dirancang sendiri)
3. Ladel

Ladel digunakan untuk mengambil logam cair pada dapur dan menuangkannya ke dalam cetakan.

4. Peralatan *safety* (standar laboratorium)

Peralatan *safety* berguna untuk melindungi kita dari berbagai kemungkinan yang tidak diharapkan (kecelakaan kerja), misalnya :

Sarung tangan : berfungsi untuk melindungi tangan kita dari efek panas logam cair.

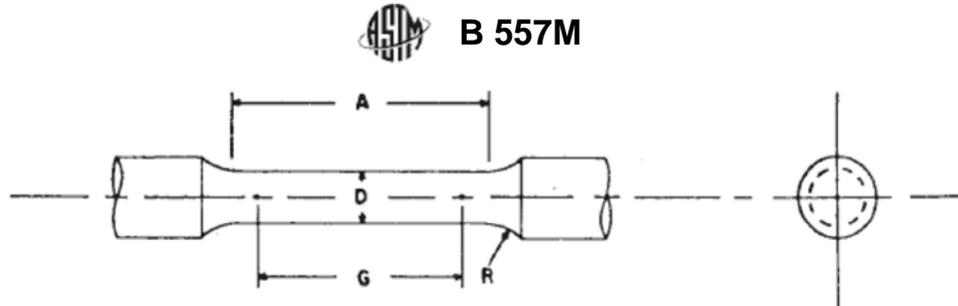
Kaca mata : Berfungsi untuk melindungi mata kita dari panas yang ditimbulkan oleh logam cair.

5. Peralatan uji kekuatan tarik
Digunakan untuk menguji nilai kekuatan tarik dari specimen hasil coran.
6. Jangka sorong
Digunakan untuk mengukur dimensi hasil coran,
7. Digital termometer.
Digunakan untuk mengukur suhu tuang aluminium paduan.
8. Digital tachometer
Digunakan untuk mengukur kecepatan putar cetakan.
9. Adaptor
Digunakan untuk merubah besar tegangan yang masuk kedalam solenoida sehingga didapatkan arus DC.
10. Resistor
Digunakan untuk merubah besar arus yang masuk kedalam solenoida.
11. Solenoida
Digunakan untuk membangkitkan medan magnet. Solenoida yang digunakan adalah solenoida yang mempunyai 150 kawat tembaga dengan diameter kawat 1 mm.
12. Teslameter
Digunakan untuk mengukur besar medan magnet ditengah-tengah cetakan.
13. Ampermeter
Digunakan untuk mengukur arus yang mengalir ke solenoida.
14. Mesin bubut dan gergaji potong.
Digunakan untuk membuat specimen.
15. Tool set.
Digunakan untuk bongkar pasang cetakan pada alat pengecoran sentrifugal.

3.4.2 Bahan yang digunakan

Bahan specimen yang digunakan adalah Aluminium paduan Al-Si-Mg. Spesifikasi unsur paduan aluminium terlampir.

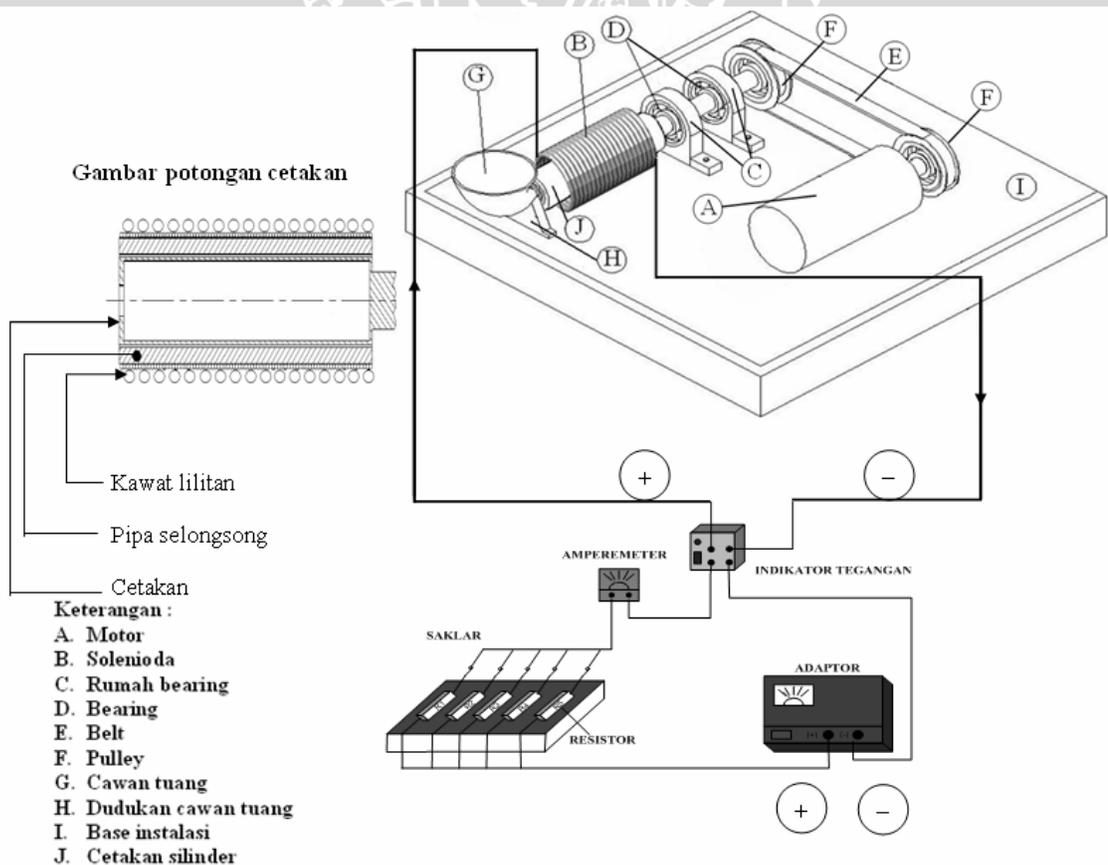
Spesimen uji tarik



- G = $45,0 \pm 0,1$ mm
- D = $9,0 \pm 0,1$ mm
- R = 8 mm
- A = 54 mm

Gambar 3.1 Spesimen uji tarik standard ASTM B 557M
 Sumber : Annual Book of ASTM Standard E 8M - 03, 2003:6

3.5 Instalasi Percobaan



3.6 Prosedur Penelitian

3.6.1 Prosedur pengujian induksi medan magnet yang ditambahkan

Sebelum dilakukan pengujian pada hasil coran maka perlu diuji terlebih dahulu besar medan magnet yang dihasilkan dari pembangkitan arus dengan langkah sebagai berikut:

1. Pesiapan pengujian, yaitu menyiapkan alat uji medan magnet dan mesin pengecoran sentrifugal.
2. Memasang kawat sensor pada titik pusat diameter cetakan mesin pengecoran sentrifugal dengan jarak 0 mm dari ujung cetakan dengan posisi tegak lurus terhadap kemiringan cetakan.
3. Membangkitkan arus listrik pada lilitan solenoida dengan besar arus 0A.
4. Mengambil data kuat medan magnet yang ditunjukkan oleh alat uji medan magnet pada kondisi cetakan tidak berputar.
5. Mengulang langkah 2 s/d 4 dengan jarak ukur 1 s/d 16 mm dari ujung cetakan dengan arus 5A, 10A, dan 15A.
6. Mengulang langkah 2 s/d 5 dengan kondisi cetakan berputar.

3.6.2 Prosedur pengecoran benda kerja

Langkah-langkah yang diambil dalam penelitian ini adalah :

1. Pesiapan percobaan, yaitu menyiapkan dapur peleburan dan menyiapkan alat-alat, yaitu memasang cetakan dan mesin pemutar cetakan.
2. Meleburkan aluminium paduan sampai temperatur 700°C.
3. Penuangan logam cair kedalam cetakan yang berputar dengan mengatur variasi arus : 0A, 5A, 10A, 15A. Temperatur penuangan 700°C.
4. Pengecoran pertama dilakukan dengan menuangkan logam cair kedalam cetakan dengan arus sebesar 0 A dan selanjutnya dilakukan pembongkaran cetakan.
5. Pengecoran kedua dilakukan dengan menuangkan logam cair kedalam cetakan dengan arus sebesar 5 A dan selanjutnya dilakukan pembongkaran cetakan.
6. Pengecoran ketiga dilakukan dengan menuangkan logam cair kedalam cetakan dengan arus sebesar 10 A dan selanjutnya dilakukan pembongkaran cetakan.

7. Pengecoran keempat dilakukan dengan menuangkan logam cair kedalam cetakan dengan arus sebesar 15 A dan selanjutnya dilakukan pembongkaran cetakan.
8. Mengulang langkah 2 s/d 7 dengan temperatur peleburan dan penuangan sebesar 800°C.
9. Mengulang langkah 2 s/d 7 dengan temperatur peleburan dan penuangan sebesar 900°C.
10. Mengulang langkah 2 s/d 7 dengan temperatur peleburan dan penuangan sebesar 1000°C.

3.6.3 Prosedur pengambilan dan pengolahan data

Dari benda uji yang dihasilkan dilakukan pengujian untuk mengetahui besar kekuatan tarik sebagai berikut :

1. Mengambil spesimen hasil dari medan magnet sebesar 0 A.
2. Pembuatan spesimen uji kekuatan tarik.
3. Pengambilan data uji kekuatan tarik standar ASTM B 557M.
4. Melakukan pengulangan langkah 1-3 pada 2 spesimen lainnya yang didapat dari medan magnet 0A.
5. Melakukan pengulangan 1-4 untuk spesimen hasil dari arus listrik 5A, 10A, dan 15A.
6. Pengolahan data pengujian kekuatan tarik dengan menggunakan uji statistik yaitu dengan menggunakan analisa varian dan analisa regresi.
7. Melakukan pengujian statistik dengan data-data yang didapat dari langkah-langkah diatas. Uji statistik yang digunakan adalah dengan menggunakan analisa varian dua arah dengan interaksi. Faktor variasi besar medan magnet terdiri dari empat macam dan untuk faktor variasi temperatur penuangan terdiri dari empat macam, maka dalam penelitian ini digunakan model analisa varian dua arah dengan interaksi. Pengulangan sebanyak tiga kali sehingga secara keseluruhan diperlukan 48 sample untuk dianalisis. Rancangan penelitian seperti pada tabel 3.1.

Tabel 3.1 Rancangan Penelitian

Temperatur Penuangan (°C)	Ulangan ke-n	Besarnya Arus Pembangkit Medan Magnet (A)			
		0	5	10	15
700	1	X_{111}	X_{121}	X_{131}	X_{141}
	2	X_{112}	X_{122}	X_{132}	X_{142}
	3	X_{113}	X_{123}	X_{133}	X_{143}
800	1	X_{211}	X_{221}	X_{231}	X_{241}
	2	X_{212}	X_{222}	X_{232}	X_{242}
	3	X_{213}	X_{223}	X_{233}	X_{243}
900	1	X_{311}	X_{321}	X_{331}	X_{341}
	2	X_{312}	X_{322}	X_{332}	X_{342}
	3	X_{313}	X_{323}	X_{333}	X_{343}
1000	1	X_{411}	X_{421}	X_{431}	X_{441}
	2	X_{412}	X_{422}	X_{432}	X_{442}
	3	X_{413}	X_{423}	X_{433}	X_{443}

Keterangan :

X = data hasil pengujian kekuatan tarik

X_{ijk} adalah data pengamatan yang berupa data pengujian kekuatan tarik pada variasi temperatur penuangan ke- i , medan magnet ke- j , dan ulangan ke- k .

8. Melakukan analisa dan pembahasan dari data-data tersebut.
9. Kesimpulan.

3.7 Analisa Statistik

Di dalam pengolahan data untuk analisis statistik digunakan Analisa varian dua arah. Dari analisis varian dua arah ini akan diketahui ada tidaknya pengaruh variasi temperatur penuangan (faktor A) dan variasi medan magnet (faktor B) serta pengaruh interaksi antara keduanya (AB).

Dan untuk hipotesa dari penelitian ini dapat ditulis sebagai berikut :

H_0^1 : $A_1 = A_2 = A_3 = A_i$, faktor A (temperatur penuangan tidak berpengaruh terhadap kekuatan tarik)

H_1^1 : $A_1 \neq A_2 \neq A_3 \neq A_i$, faktor A (temperatur penuangan berpengaruh terhadap kekuatan tarik)

H_0^2 : $B_1 = B_2 = B_3 = B_i$, faktor B (medan magnet tidak berpengaruh terhadap kekuatan tarik)

H_1^2 : B₁ B₂ B₃ B_i, faktor B (medan magnet berpengaruh terhadap kekuatan tarik)

H_0^3 : (AB)₁₁ = (AB)₁₂ = (AB)₁₃ = (AB)_{ij}, faktor A dan B (temperatur penuangan dan medan magnet tidak berpengaruh terhadap kekuatan tarik)

H_1^3 : (AB)₁₁ (AB)₁₂ (AB)₁₃ (AB)_{ij}, faktor A dan B (temperatur penuangan dan medan magnet berpengaruh terhadap kekuatan tarik)

Tabel 3.2 Analisis Varian Dua Arah

Sumber keragaman	dB	JK	Varian (KT)	F hitung	F tabel F _{db(v1,v2)}
Faktor A	$r-1$	JKA	$S_A^2 = \frac{JKA}{r-1}$	$\frac{S_A^2}{S^2}$	
Faktor B	$c-1$	JKB	$S_B^2 = \frac{JKB}{c-1}$	$\frac{S_B^2}{S^2}$	
Interaksi A dan B	$(r-1) - (c-1)$	JKAB	$S_{AB}^2 = \frac{JKAB}{(r-1)(c-1)}$	$\frac{S_{AB}^2}{S^2}$	
Galat	$Rc(t-1)$	JKG	$S^2 = \frac{JKG}{rc(t-1)}$		
Total	$Rct-1$	JKT			

Jumlah-jumlah kuadrat diatas dapat diperoleh melalui rumus hitung sebagai berikut (Walpole, 1995 : 410) :

$$\text{Faktor koreksi (FK)} = \frac{\left[\sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c \sum_{k=1}^t Y_{ijk} \right]^2}{rct}$$

$$\text{Jumlah kuadrat total (JKT)} = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c \sum_{k=1}^t Y_{ijk}^2 - FK$$

$$\text{Jumlah kuadrat perlakuan (JKP)} = \frac{\sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c T_{ij}^2}{t} - FK$$

$$\text{Jumlah kuadrat pengaruh A (JKA)} = \frac{\sum_{i=1}^r T^2_i}{ct} - FK$$

$$\text{Jumlah kuadrat pengaruh B (JKB)} = \frac{\sum_{j=1}^c T^2_j}{rt} - FK$$

$$\text{Jumlah kuadrat pengaruh interaksi A dan B (JKAB)} = JKP - JKA - JKB$$

$$\text{Jumlah kuadrat galat (JKG)} = JKT - JKA - JKB - JKAB$$

Dengan :

r = Banyaknya baris (temperatur penguangan)

c = Banyaknya kolom (variasi medan magnet)

n = Banyaknya pengulangan tiap sel

X_{ijk} = Pengamatan ke- k dalam baris ke- i dan kolom ke- j

$T_{...}$ = Jumlah semua pengamatan

$T_{.i}$ = Jumlah pengamatan dalam baris ke- i

$T_{.j}$ = Jumlah pengamatan dalam baris ke- j

T_{ij} = Jumlah pengamatan dalam baris ke- ij

Kesimpulan yang diperoleh adalah dengan cara membandingkan antara F_{hitung} dengan F_{tabel} , yaitu :

1. Jika $F_A \text{ Hitung} > F_A \text{ Tabel}$, maka H_0^1 ditolak dan H_1^1 diterima. Hal ini menyatakan bahwa temperatur penguangan (faktor A) berpengaruh terhadap kekuatan tarik.
2. Jika $F_B \text{ Hitung} > F_B \text{ Tabel}$, maka H_0^2 ditolak dan H_1^2 diterima. Hal ini menyatakan bahwa medan magnet (faktor B) berpengaruh terhadap kekuatan tarik.
3. Jika $F_{AB} \text{ Hitung} > F_{AB} \text{ Tabel}$, maka H_0^3 ditolak dan H_1^3 diterima. Hal ini menyatakan bahwa temperatur penguangan dan medan magnet (faktor AB) berpengaruh terhadap kekuatan tarik.

3.8 Interval Penduga Rata-rata

Interval penduga rata-rata merupakan statistik untuk menentukan interval pendugaan rata-rata dari data di atas. Persamaan-persamaan yang dipakai adalah sebagai berikut:

- Kekuatan tarik rata-rata:

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n}$$

- Standar deviasi (σ):

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n-1}}$$

- Standar deviasi rata-rata ($\bar{\sigma}$):

$$\bar{\sigma} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

- Interval pendugaan rata-rata dari besar kekuatan tarik:

$$\bar{x} - t(\alpha/2, db) \bar{\sigma} < \mu < \bar{x} + t(\alpha/2, db) \bar{\sigma}$$

3.9 Analisa Regresi

Analisis regresi digunakan untuk meramalkan hubungan antara variable bebas dengan variabel terikat dari data yang didapat. Pada analisis regresi ini menggunakan persamaan-persamaan sebagai berikut:

Regresi linier : $Y = a + bx$

Regresi polynomial : $Y = a + bx + cx^2$

Keterangan :

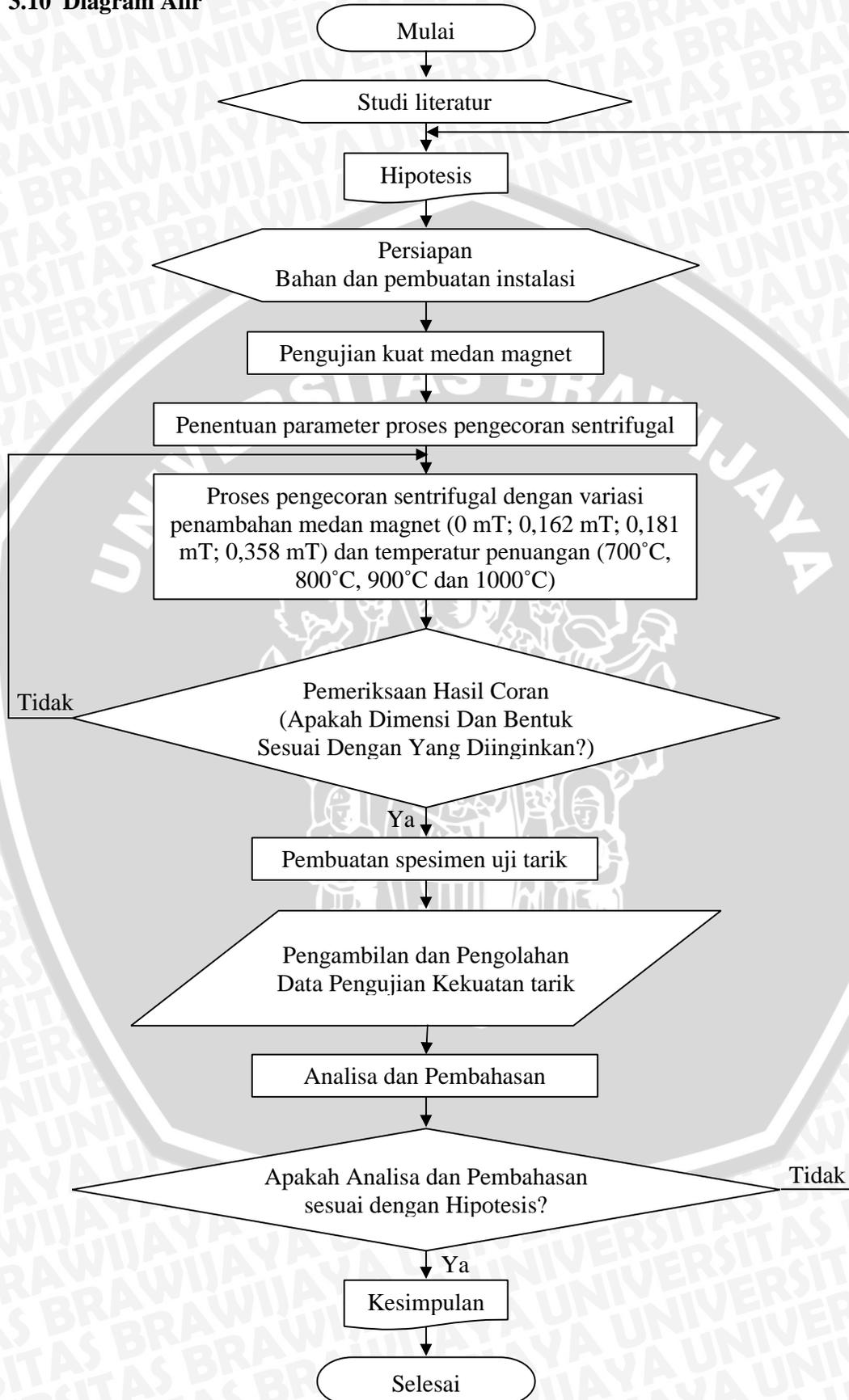
Y = variabel terikat

X = variabel bebas

Dalam analisis ini perlu dipilih satu jenis dari regresi yang akan digunakan. Pemilihan regresi ini ditentukan oleh kecendeungan tren dari data penelitian yang didapat.

Penggunaan analisis regresi ini akan dibahas lebih lanjut pada bab pengolahan data.

3.10 Diagram Alir



BAB IV

ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Pembangkitan Medan Magnet dan Kekuatan Tarik

Data pengukuran medan magnet di sekitar cetakan didapatkan dari hasil pengujian medan magnet pada penelitian sebelumnya dengan instalasi yang sama yaitu sebagai berikut:

Tabel 4.1 Data hasil pengukuran besar induksi medan magnet rata-rata solenoida di sekitar cetakan

Kuat arus pembangkit medan magnet (A)	Besar induksi magnet (mT)
0	0
5	0,162
10	0,181
15	0,358

Sumber : Hardiyanto R. 2008 : 34

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan didapatkan data kekuatan tarik hasil pengecoran yang ditunjukkan pada tabel 4.2 berikut ini :

Tabel 4.2 Hasil pengukuran kekuatan tarik hasil pengecoran

Temperatur Penuangan (°C)	Ulangan ke-n	Besarnya Medan Magnet (mT)			
		0	0,162	0,181	0,358
700	1	78,137	71,558	87,272	96,430
	2	80,240	85,903	94,082	101,438
	3	92,918	105,051	86,069	126,148
800	1	94,836	115,556	113,962	129,611
	2	93,034	113,708	142,972	124,045
	3	151,080	111,572	104,199	123,526
900	1	125,916	120,326	140,647	138,620
	2	121,388	157,971	141,525	146,350
	3	141,384	139,636	140,721	142,972
1000	1	121,422	98,820	83,817	67,438
	2	104,868	113,962	78,721	77,926
	3	103,934	83,003	81,106	75,540

4.2 Analisa Statistik

4.2.1 Interval penduga rata-rata

Interval penduga rata-rata merupakan statistik untuk menentukan interval pendugaan rata-rata dari data di atas. Dari data diatas didapatkan kekuatan rata-rata dari setiap variasi yang ditunjukkan pada tabel 4.3 dibawah ini :

Tabel 4.3 Data kekuatan tarik rata-rata hasil pengecoran

Variabel	Kekuatan Tarik Rata-Rata (N/mm ²)			
	0 mT	0,162 mT	0,181 mT	0,358 mT
700 °C	83,7651	87,5038	89,1413	108,0054
800 °C	112,9833	113,6119	120,3778	125,7272
900 °C	129,5629	139,3110	140,9643	142,6471
1000 °C	110,0744	98,5952	81,2146	73,6345

Berikut ini merupakan contoh perhitungan interval pendugaan rata-rata kekuatan tarik hasil pengecoran dengan variasi temperatur penuangan 900 °C dan medan magnet 0,358 mT :

- Kekuatan tarik rata-rata:

$$\bar{\chi} = \frac{\sum \chi}{n} = 142,6471 \text{ N/mm}^2$$

- Standar deviasi (σ):

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (\chi - \bar{\chi})^2}{n - 1}} = 3,8751$$

- Standar deviasi rata-rata ($\bar{\sigma}$):

$$\bar{\sigma} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = 2,2373$$

- Interval pendugaan rata-rata dari besar kekuatan tarik :

$$\begin{aligned} \text{Derajat bebas (db)} &= n - 1 \\ &= 3 - 1 = 2 \end{aligned}$$

Dari tabel T, dengan $\alpha = 5\%$, maka $t(\alpha/2; \text{db}) = t(0,025; 2) = 4,303$

$$\bar{\chi} - t(\alpha/2, \text{db}) \bar{\sigma} < \mu < \bar{\chi} + t(\alpha/2, \text{db}) \bar{\sigma}$$

$$142,6471 - (4,303) 2,2373 < \mu < 142,6471 + (4,303) 2,2373$$

$$133,0199 < \mu < 152,2743$$

Dari hasil perhitungan didapatkan bahwa interval penduga rata-rata kekuatan tarik hasil pengecoran dengan temperatur penuangan 900 °C dan medan magnet 0,358 mT adalah antara 133,0199 N/mm² hingga 152,2743 N/mm² dengan keyakinan 95%.

Dengan cara perhitungan yang sama dengan di atas, didapatkan interval penduga rata-rata untuk kekuatan tarik hasil pengecoran seperti yang ditunjukkan pada tabel berikut :

Tabel 4.4 Interval penduga rata-rata untuk kekuatan tarik dengan variasi medan magnet 0 mT dan 0,162

Variabel	Interval penduga rata-rata kekuatan tarik (N/mm ²)			
	0 mT		0,162 mT	
700 °C	63,8998	<μ< 103,6304	45,7574	<μ< 129,2501
800 °C	30,9869	<μ< 194,9796	108,6579	<μ< 118,5658
900 °C	103,5147	<μ< 155,6110	92,5440	<μ< 186,0779
1000 °C	85,6326	<μ< 134,5163	60,1350	<μ< 137,0553

Tabel 4.5 Interval penduga rata-rata untuk kekuatan tarik dengan variasi medan magnet 0,181 mT dan 0,358 mT

Variabel	Interval penduga rata-rata kekuatan tarik (N/mm ²)			
	0,181 mT		0,358 mT	
700 °C	78,4069	<μ< 99,8756	68,4781	<μ< 147,5326
800 °C	70,2767	<μ< 170,4788	117,3462	<μ< 134,1081
900 °C	139,7547	<μ< 142,1740	133,0199	<μ< 152,2743
1000 °C	74,8804	<μ< 137,0553	59,9769	<μ< 87,2921

4.2.2 Analisa varian dua arah

Dari data hasil pengukuran kekerasan permukaan yang didapatkan, dilakukan analisa varian dua arah untuk mengetahui adanya pengaruh nyata dari variasi temperatur penuangan dan penambahan medan magnet terhadap kekuatan tarik hasil pengecoran logam.

Dari perhitungan statistik didapatkan :

- Faktor koreksi (FK)

$$= \frac{\left[\sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c \sum_{k=1}^t \chi_{ijk} \right]^2}{rct} = 578900,3851$$

- Jumlah kuadrat total (JKT)

$$= \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c \sum_{k=1}^t \chi_{ijk}^2 - FK = 28636,9431$$

- Jumlah kuadrat perlakuan (JKP)

$$= \frac{\sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c T_{ij}^2}{t} - FK = 22672,409$$

- Jumlah kuadrat pengaruh A (JKA)

$$= \frac{\sum_{i=1}^r T^2_i}{ct} - FK = 18520,4117$$

- Jumlah kuadrat pengaruh B (JKB)

$$= \frac{\sum_{j=1}^c T^2_j}{rt} - FK = 135,8656$$

- Jumlah kuadrat pengaruh interaksi A dan B (JKAB)

$$= JKP - JKA - JKB = 4016,1317$$

- Jumlah kuadrat galat (JKG)

$$= JKT - JKP = 5964,5341$$

Dari perhitungan statistik didapatkan data seperti pada tabel 4.6 :

Tabel 4.6 Data perhitungan statistik analisa varian dua arah

Sumber	db	JK	Varian	F hitung	F tabel
Pengaruh A	3	18520,41171	6173,470571	33,12095388	2,90
Pengaruh B	3	135,8656161	45,28853871	0,242975096	2,90
Int. A&B	9	4016,131693	446,2368548	2,394081274	2,19
Galat	32	5964,534083	186,3916901		
Total	47	28636,94311			

Kesimpulan yang diperoleh adalah :

4. Karena $F_A \text{ Hitung} > F_A \text{ Tabel}$, maka H_0^1 ditolak dan H_1^1 diterima. Hal ini menyatakan bahwa temperatur penguangan (faktor A) berpengaruh terhadap kekuatan tarik.
5. Karena $F_B \text{ Hitung} < F_B \text{ Tabel}$, maka H_0^2 ditolak dan H_1^2 diterima. Hal ini menyatakan bahwa penambahan medan magnet (faktor B) berpengaruh terhadap kekuatan tarik.
6. Karena $F_{AB} \text{ Hitung} > F_{AB} \text{ Tabel}$, maka H_0^3 ditolak dan H_1^3 diterima. Hal ini menyatakan bahwa interaksi temperatur penguangan dan penambahan medan magnet (faktor AB) berpengaruh terhadap kekuatan tarik.

4.2.3 Analisa regresi

Pada hasil analisa varian dua arah dapat diambil kesimpulan bahwa variasi temperatur penguangan, penambahan medan magnet serta interaksi antara keduanya

berpengaruh nyata terhadap kekuatan tarik dengan tingkat keyakinan 95%, dimana dapat dilanjutkan dengan analisa regresi. Analisis regresi digunakan untuk meramalkan hubungan antara variable bebas dengan variabel terikat dari data yang didapat. Pada analisis regresi ini menggunakan persamaan-persamaan sebagai berikut:

$$\text{Regresi linier : } Y = a + bx$$

$$\text{Regresi polynomial : } Y = a + bx + cx^2$$

Keterangan :

Y = variabel terikat

X = variabel bebas

4.2.3.1 Analisa regresi untuk hubungan medan magnet terhadap kekuatan tarik

Persamaan regresi yang digunakan untuk menganalisa hubungan medan magnet terhadap kekuatan tarik adalah persamaan linier. Dengan Y mewakili besar kekuatan tarik dan X mewakili besar medan magnet. Dengan menggunakan bantuan *Microsoft excel* didapatkan pula persamaan regresi linier dan plot data untuk pengaruh medan magnet terhadap kekuatan tarik.

Berikut ini merupakan contoh persamaan regresi linear pengaruh medan magnet terhadap kekuatan tarik hasil pengecoran dengan temperatur penuangan 700 °C :

Tabel 4.7 Data perhitungan kekuatan tarik pada temperatur penuangan 700 °C

No	X_i	Y_i	X_i^2	$X_i Y_i$
1	0	78,1373	0,0000	0,0000
2	0	80,2397	0,0000	0,0000
3	0	92,9182	0,0000	0,0000
4	0,162	71,5578	0,0262	11,5924
5	0,162	85,9028	0,0262	13,9163
6	0,162	105,0508	0,0262	17,0182
7	0,181	87,2724	0,0328	15,7963
8	0,181	94,0819	0,0328	17,0288
9	0,181	86,0695	0,0328	15,5786
10	0,358	96,4297	0,1282	34,5218
11	0,358	101,4381	0,1282	36,3148
12	0,358	126,1483	0,1282	45,1611
	2,103	1105,2465	0,5615	206,9283

Dari plot terlihat bahwa perkiraan model regresi antara medan magnet terhadap kekuatan tarik adalah linier $Y = a + bX$, untuk mendapatkan nilai a dan b kita bentuk persamaan normal yaitu :

$$\sum Y_i = na + b \sum x_i$$

$$\sum x_i y_i = a \sum x_i + b \sum x_i^2$$

Dari data perhitungan didapat :

$$1105,2465 = 12 a + 2,103 b$$

$$206,9283 = 2,103 a + 0,5615b$$

dengan menggunakan substitusi diperoleh $a = 73,514$ dan $b = 7,4358$

Langkah-langkah analisis varian regresi linier :

1. $H_0 : b = 0$
2. $H_1 : b \neq 0$
3. Taraf uji 5 %
4. Wilayah kritik : $f > f_{0,05}(1,10) = 4,96$
5. Perhitungan : persamaan linier ($Y = 73,514 + 7,4358X$)

$$JKT = 125,4038$$

$$JKR = b \left(\sum X_i Y_i - \frac{\sum X_i \sum Y_i}{n} \right) = 98,4044$$

$$JKs = 125,4038 - 98,4044 = 26,9994$$

$$R^2 = \frac{JKR}{JKT} \times 100\% = \frac{98,4044}{125,4038} \times 100\% = 78,47\%$$

Tabel 4.8 Data statistik analisis varian regresi pada temperatur penguangan 700 °C

Sumber varian	db	JK	Kt	F hitung	F tabel
Regresi linier	1	98,4044	98,4044	36,4468	4,96
Galat	10	26,9994	2,6999		
Total	11	125,4038			

6. Kesimpulan : karena $f_{hitung} (36,4468) > f_{tabel} (4,96)$ maka H_0 ditolak dan H_1 diterima artinya bentuk hubungan medan magnet terhadap kekuatan tarik pada temperatur penguangan 700 °C adalah linier ($Y = 73,514 + 7,4358X$) dan besar hubungan 78,47 % dengan kesalahan 5 %.

Dengan cara perhitungan yang sama dengan di atas, didapatkan statistik analisis varian regresi linier pada variasi temperatur penguangan yang lain seperti yang ditunjukkan pada tabel berikut :

Tabel 4.9 Data statistik analisis varian regresi pada temperatur penguangan 800 °C

Sumber varian	db	JK	Kt	F hitung	F tabel
Regresi linier	1	31,9010	31,9010	120,2083	4,6
Galat	10	2,6538	0,2654		
Total	11	34,5548			

- Kesimpulan : karena $f_{hitung} (120,2083) > f_{tabel} (4,96)$ maka H_0 ditolak dan H_1 diterima artinya bentuk hubungan medan magnet terhadap kekuatan tarik pada temperatur penguangan 800 °C adalah linier ($Y = 106,93 + 4,4998X$) dan besar hubungan 92,32 % dengan kesalahan 5 %.

Tabel 4.10 Data statistik analisis varian regresi pada temperatur penguangan 900 °C

Sumber varian	db	JK	Kt	F hitung	F tabel
Regresi linier	1	28,5631	28,5631	42,7704	4,96
Galat	10	6,6782	0,6678		
Total	11	35,2414			

- Kesimpulan : karena $f_{hitung} (42,7704) > f_{tabel} (4,96)$ maka H_0 ditolak dan H_1 diterima artinya bentuk hubungan medan magnet terhadap kekuatan tarik pada temperatur penguangan 900 °C adalah linier ($Y = 127,89 + 4,0906X$) dan besar hubungan 81,05 % dengan kesalahan 5 %.

Tabel 4.11 Data statistik analisis varian regresi pada temperatur penguangan 1000 °C

Sumber varian	db	JK	Kt	F hitung	F tabel
Regresi linier	1	253,6496	253,6496	497,6142	4,96
Galat	10	5,0973	0,5097		
Total	11	258,7469			

- Kesimpulan : karena $f_{hitung} (497,6142) > f_{tabel} (4,96)$ maka H_0 ditolak dan H_1 diterima artinya bentuk hubungan medan magnet terhadap kekuatan tarik pada temperatur penguangan 1000 °C adalah linier ($Y = 122,55 - 12,67X$) dan besar hubungan 98,03 % dengan kesalahan 5 %.

4.2.3.2 Analisa regresi untuk hubungan temperatur penguangan terhadap kekuatan tarik

Persamaan regresi yang digunakan untuk menganalisa hubungan temperatur penguangan terhadap kekuatan tarik adalah persamaan polynomial. Dengan Y mewakili besar kekuatan tarik dan X mewakili temperatur penguangan. Dengan menggunakan bantuan *Microsoft excel* didapatkan pula persamaan regresi polynomial dan plot data untuk pengaruh medan magnet terhadap kekuatan tarik.

Berikut ini merupakan contoh persamaan regresi linear pengaruh temperatur penguangan terhadap kekuatan tarik hasil pengecoran dengan medan magnet 0 mT atau tanpa medan magnet :

Tabel 4.12 Data perhitungan kekuatan tarik dengan medan magnet 0 mT

No.	X _i	Y _i	X _i ²	Y _i ²	X _i ³	X _i ⁴	X _i ² Y _i
1	700	71,5578	49E+4	5120,5126	343E+6	2,401E+11	1,7181E+13
2	700	85,9028	49E+4	7379,2959	343E+4	2,401E+11	2,06253E+13
3	700	105,0508	49E+4	11035,6681	343E+4	2,401E+11	2,52227E+13
4	800	115,5562	64E+4	13353,2391	512E+4	4,096E+11	4,73318E+13
5	800	113,7078	64E+4	12929,4672	512E+4	4,096E+11	4,65747E+13
6	800	111,5715	64E+4	12448,2038	512E+4	4,096E+11	4,56997E+13
7	900	120,3259	81E+4	14478,3176	729E+4	6,561E+11	7,89458E+13
8	900	157,9711	81E+4	24954,8716	729E+4	6,561E+11	1,03645E+14
9	900	139,6359	81E+4	19498,1763	729E+4	6,561E+11	9,16151E+13
10	1000	98,8205	100E+4	9765,4889	1000E+4	1E+12	9,88205E+13
11	1000	113,9623	100E+4	12987,4143	1000E+4	1E+12	1,13962E+14
12	1000	83,0027	100E+4	6889,4455	1000E+4	1E+12	8,30027E+13
	10200	1317,0653	882E+4	150840,1009	7752E+4	6,9174E+12	7,72626E+14

Dari plot terlihat bahwa perkiraan model regresi antara temperatur penuangan terhadap kekuatan tarik adalah polynomial $Y = b_0 + b_1X + b_2X^2$, untuk mendapatkan nilai a, b dan c kita bentuk persamaan normal yaitu :

$$\sum Y_i = (nb_0 + b_1 \sum X_i + b_2 \sum X_i^2)$$

$$\sum X_i Y_i = (b_0 \sum X_i + b_1 \sum X_i^2 + b_2 \sum X_i^3)$$

$$\sum X_i^2 Y_i = (b_0 \sum X_i^2 + b_1 \sum X_i^3 + b_2 \sum X_i^4)$$

Dari data perhitungan didapat :

$$1317,0653 = 12 b_0 + 10200 b_1 + 8820000 b_2$$

$$1128351,5 = 10200 b_0 + 8820000 b_1 + 7752000000 b_2$$

$$7,726E+14 = 8820000 b_0 + 7752000000 b_1 + 6.9174E+12 b_2$$

dengan perhitungan diperoleh $b_0 = 24,336$, $b_1 = 70,434$ dan $b_2 = -12,177$

Langkah-langkah analisis varian regresi polynomial :

1. Ho : b = 0
2. H1 : b ≠ 0
3. Taraf uji 5 %
4. Wilayah kritik : $f > f_{0,05}(2,9) = 4,26$
5. Perhitungan : persamaan polynomial ($Y = 24,336 + 70,434 X - 12,177 X^2$)
JKT = -9,80171E+15

$$JKR = \left\{ b_1 \left(\sum_{i=1}^n X_i Y_i + \frac{\sum_{i=1}^n X_i \sum_{i=1}^n Y_i}{n} \right) + b_2 \left(\sum_{i=1}^n X_i^2 Y_i + \frac{\sum_{i=1}^n X_i^2 \sum_{i=1}^n Y_i}{n} \right) \right\} = 9,55177E+15$$

$$JKs = -9,80171E+15 + 9,55177E+15 = -2,49944E+14$$

$$R^2 = \frac{JKR}{JKT} \times 100\% = \frac{9,55177E+15}{-9,80171E+15} \times 100\% = 97,45\%$$

Tabel 4.13 Data statistik analisis varian regresi dengan medan magnet 0 mT

Sumber varian	db	JK	Kt	F hitung	F tabel
Regresi linier	2	-9,55177E+15	-4,776E+15	171,9706	4,26
Galat	9	-2,49944E+14	-2,777E+13		
Total	11	-9,80171E+15			

6. Kesimpulan : karena fhitung (171,9706) > ftabel (4,26) maka H₀ ditolak dan H₁ diterima artinya bentuk hubungan temperatur penuangan terhadap kekuatan tarik dengan medan magnet 0 mT adalah polynomial (Y = 24,336 + 70,434 X -12,177 X²) dan besar hubungan 97,45 % dengan kesalahan 5 %.

Dengan cara perhitungan yang sama dengan di atas, didapatkan statistik analisis varian regresi polynomial pada variasi medan magnet yang lain seperti yang ditunjukkan pada tabel berikut :

Tabel 4.14 Data statistik analisis varian regresi dengan medan magnet 0,162 mT

Sumber varian	db	JK	Kt	F hitung	F tabel
Regresi linier	2	-1,29075E+16	-6,454E+15	26,6634	4,26
Galat	9	-2,1784E+15	-2,42E+14		
Total	11	-1,50859E+16			

- Kesimpulan : karena fhitung (26,6634) > ftabel (4,26) maka H₀ ditolak dan H₁ diterima artinya bentuk hubungan temperatur penuangan terhadap kekuatan tarik dengan medan magnet 0,162 mT adalah polynomial (Y = 11,482 + 89,427 X - 16,706 X²) dan besar hubungan 85,56 % dengan kesalahan 5 %.

Tabel 4.15 Data statistik analisis varian regresi dengan medan magnet 0,181 mT

Sumber varian	db	JK	Kt	F hitung	F tabel
Regresi linier	2	-1,66788E+16	-8,339E+15	38,3571	4,26
Galat	9	-1,95673E+15	-2,174E+14		
Total	11	-1,86355E+16			

- Kesimpulan : karena fhitung (38,3571) > ftabel (4,26) maka H₀ ditolak dan H₁ diterima artinya bentuk hubungan temperatur penuangan terhadap kekuatan tarik

dengan medan magnet 0,181 mT adalah polynomial ($Y = 5,01 + 113,41X - 22,747X^2$) dan besar hubungan 89,5 % dengan kesalahan 5 %.

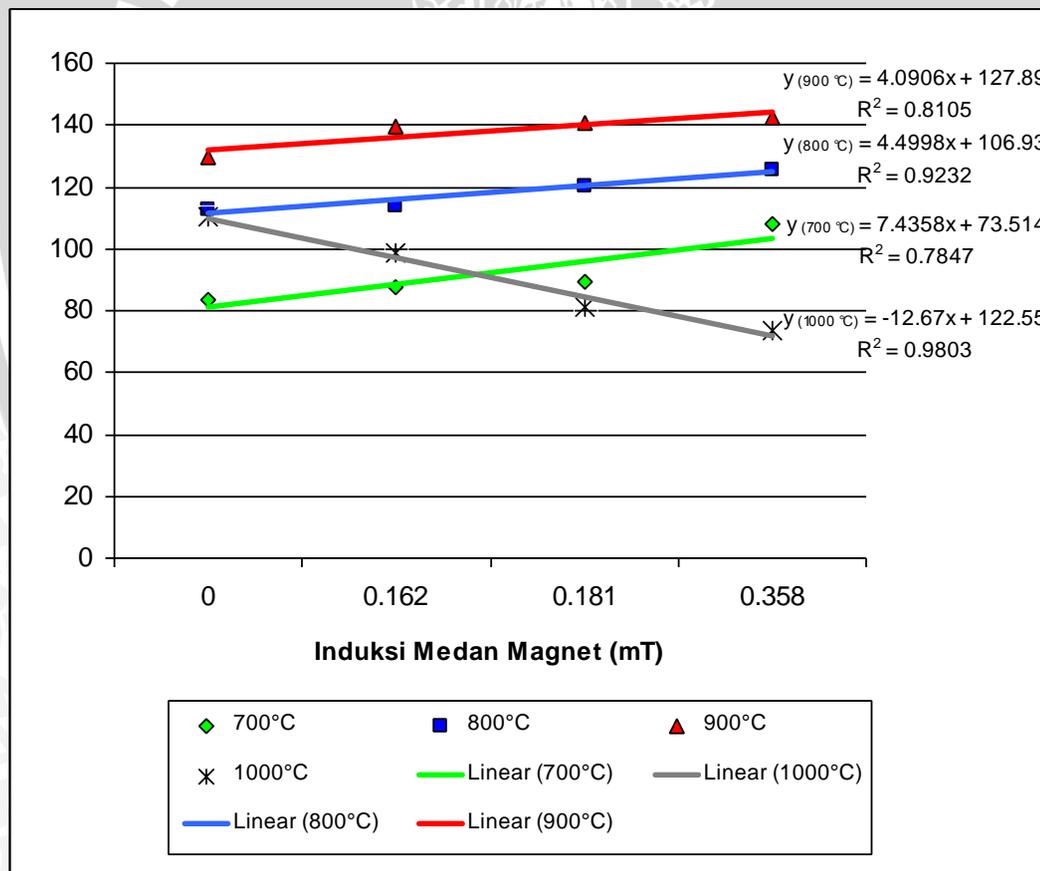
Tabel 4.16 Data statistik analisis varian regresi dengan medan magnet 0,358 mT

Sumber varian	db	JK	Kt	F hitung	F tabel
Regresi linier	2	-1,59153E+16	-7,958E+15	27,9675	4,26
Galat	9	-2,56078E+15	-2,845E+14		
Total	11	-1,84761E+16			

- Kesimpulan : karena $f_{hitung} (27,9675) > f_{tabel} (4,26)$ maka H_0 ditolak dan H_1 diterima artinya bentuk hubungan temperatur penuangan terhadap kekuatan tarik dengan medan magnet 0,358 mT adalah polynomial ($Y = 25,634 + 99,799X - 21,684X^2$) dan besar hubungan 86,14 % dengan kesalahan 5 %.

4.3 Grafik dan Pembahasan

4.3.1 Pengaruh medan magnet terhadap kekuatan tarik

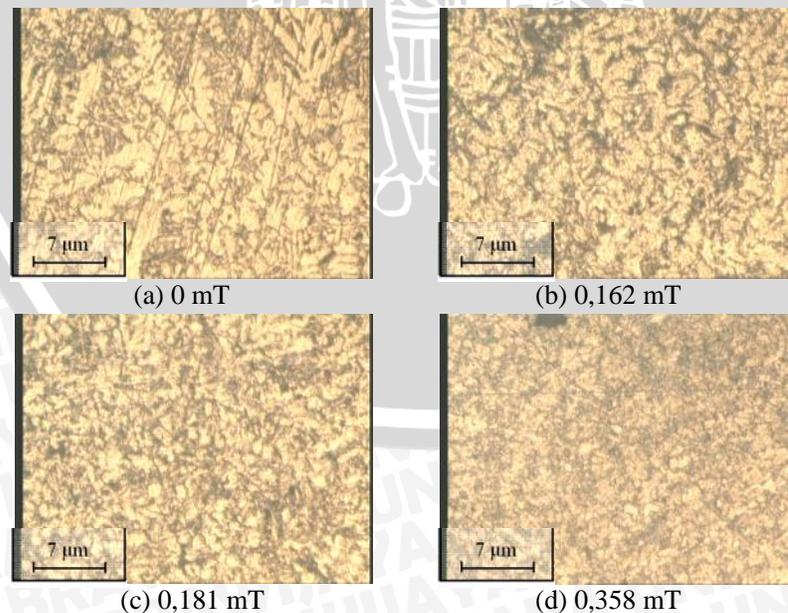


Gambar 4.1 Grafik hubungan penambahan medan magnet terhadap kekuatan tarik.

Mengamati grafik diatas terlihat bahwa hubungan besar medan magnet dengan kekuatan tarik cenderung meningkat yang mana penambahan medan magnet mampu

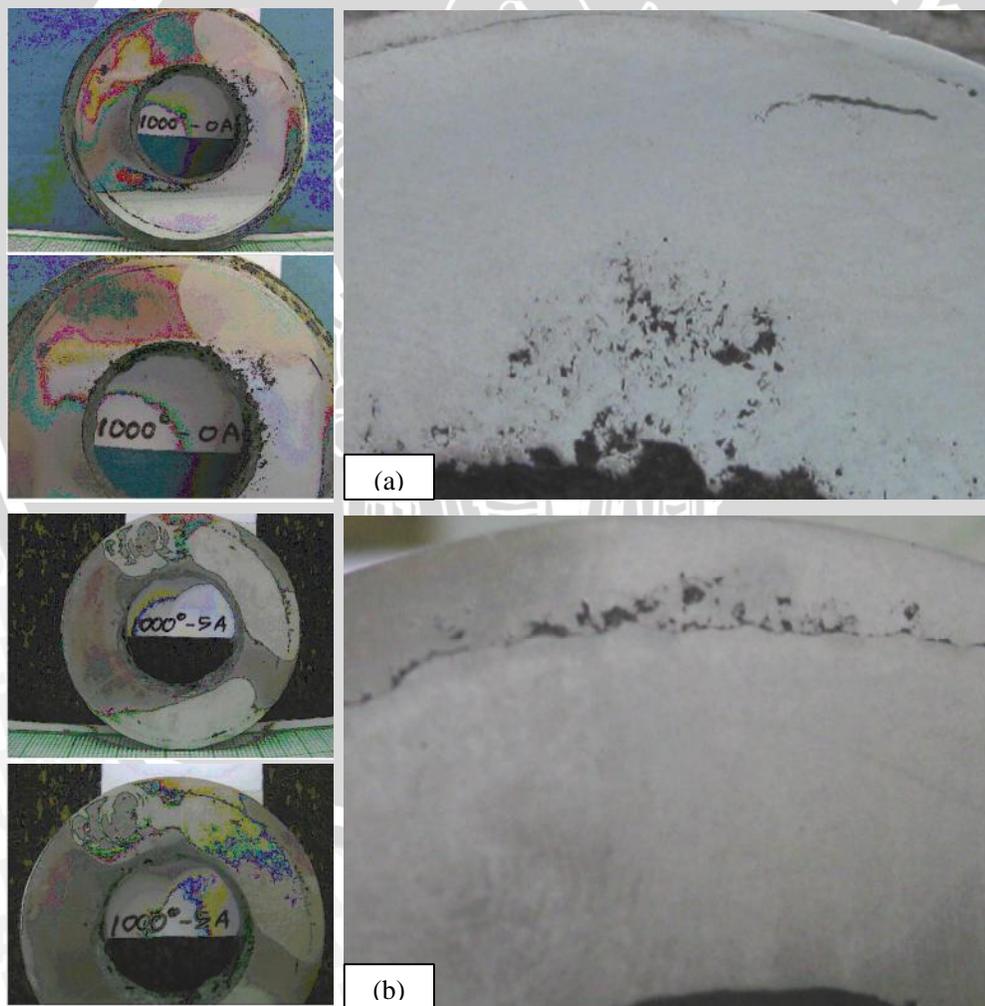
meningkatkan kekuatan tarik hasil pengecoran. Hal ini terjadi pada temperatur penuangan 700 °C, 800 °C dan 900 °C. Pada temperatur penuangan 700 °C kekuatan tarik rata-rata meningkat seiring bertambahnya medan magnet yaitu dari 83,7651 N/mm² hingga 108,0054 N/mm². Pada temperatur penuangan 800 °C kekuatan tarik rata-rata juga meningkat seiring bertambahnya medan magnet yaitu dari 112,9833 N/mm² hingga 125,7272 N/mm². Begitu pula pada temperatur penuangan 900 °C kekuatan tarik rata-rata meningkat seiring bertambahnya medan magnet yaitu dari 129,5629 N/mm² hingga 142,6471 N/mm². Selanjutnya dari grafik diatas didapatkan pula bahwa kecenderungan hubungan besar medan magnet dengan kekuatan tarik hasil pengecoran menurun pada temperatur penuangan 1000 °C. Pada temperatur penuangan 1000 °C kekuatan tarik rata-rata menurun seiring bertambahnya medan magnet yaitu dari 110,0744 N/mm² hingga 73,6345 N/mm².

Kondisi yang terjadi pada proses pengecoran dengan temperatur penuangan 700 °C, 800 °C dan 900 °C sesuai dengan hipotesis yang menyatakan penambahan medan magnet mampu meningkatkan kekuatan tarik logam hasil pengecoran. Kenaikan nilai kekuatan tarik disebabkan oleh adanya penambahan medan magnet sebesar 0,162 mT, 0,181 mT dan 0,358 mT. Penambahan medan magnet eksternal menyebabkan gaya elektromagnetik yang ditimbulkan juga akan semakin besar. Hal ini menyebabkan inti yang terbentuk semakin banyak, sehingga diperoleh struktur yang berbutir halus dan padat, seperti yang ditunjukkan pada foto mikrostruktur Gambar 4.2. Struktur butiran yang semakin padat dan halus menghasilkan kekuatan tarik yang tinggi.

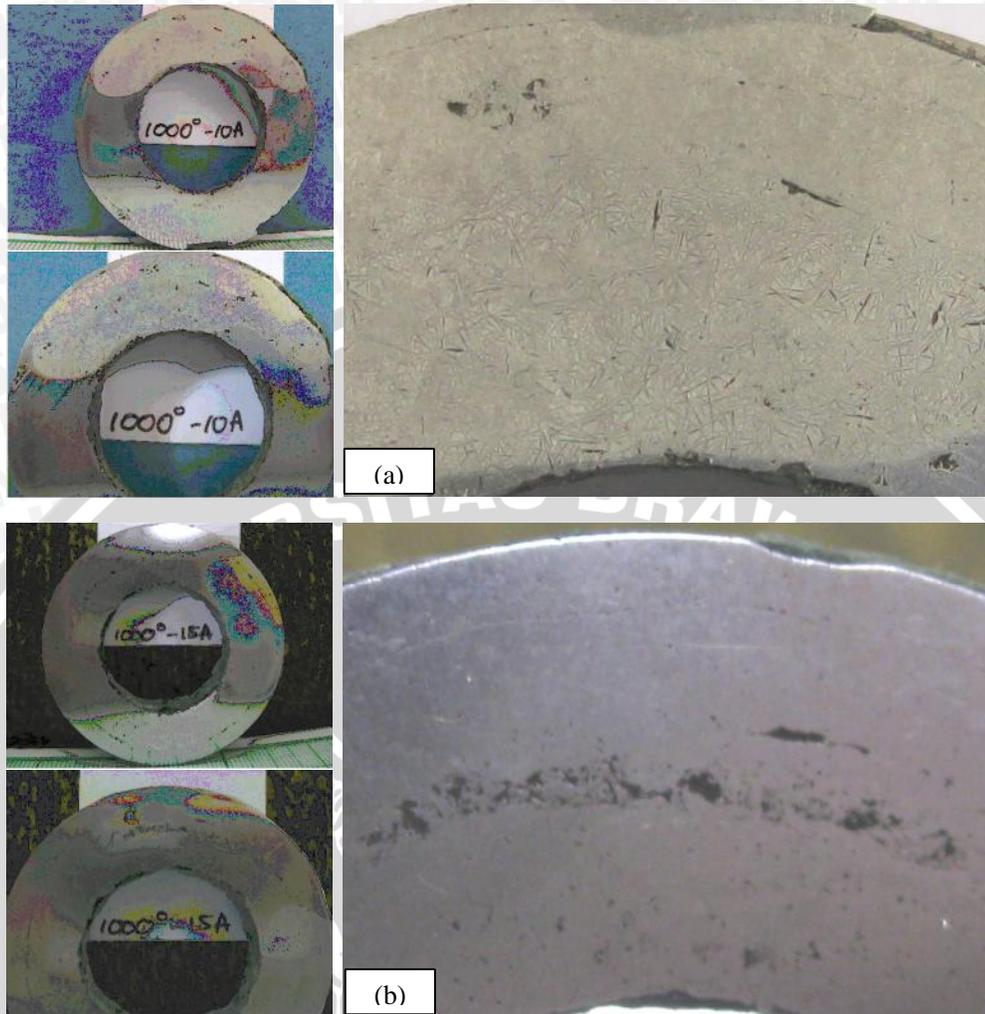


Gambar 4.2 Sampel mikrostruktur pada temperatur penuangan 900 °C

Namun pada kondisi temperatur penuangan 1000 °C penambahan medan magnet menurunkan kekuatan tarik logam hasil pengecoran. Penurunan kekuatan tarik ini disebabkan karena temperatur penuangan yang digunakan terlalu tinggi sehingga mengakibatkan udara yang terjebak dalam logam coran semakin besar seperti yang ditunjukkan pada foto makrostruktur Gambar 4.3-4.5. Udara yang terjebak ini tidak hanya terjadi secara makrostruktur tetapi juga terjadi secara mikrostruktur terutama pada daerah batas butir. Seiring dengan penambahan medan magnet yang semakin besar maka inti dan batas butirnya semakin banyak, sehingga udara yang terjebak pada batas butir akan semakin banyak. Terjebaknya udara dalam batas butir logam coran akan menurunkan kekuatan tarik hasil pengecoran. Disamping itu pada temperatur penuangan 1000 °C timbul partikel-partikel silikon yang mengumpul. Butiran silikon yang besar akan mengurangi sifat mekanis logam (Surdia, T 1986 : 42). Hal ini ditunjukkan pada foto mikrostruktur Gambar 4.6.



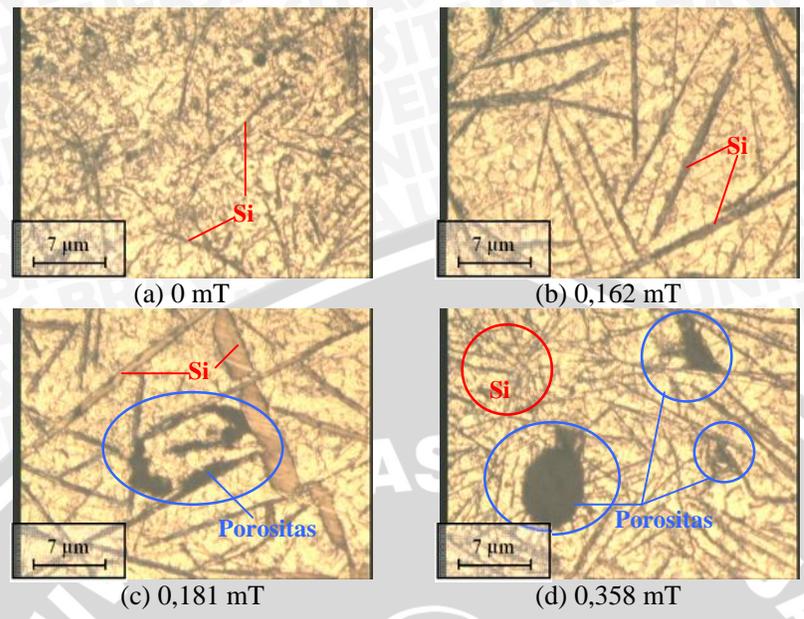
Gambar 4.3 Makrostruktur pada temperatur 1000 °C (a) 0mT, (b) 0,162 mT



Gambar 4.4 Makrostruktur pada temperatur 1000 °C (a) dengan medan magnet 0,181 mT, (b) dengan medan magnet 0,358 mT

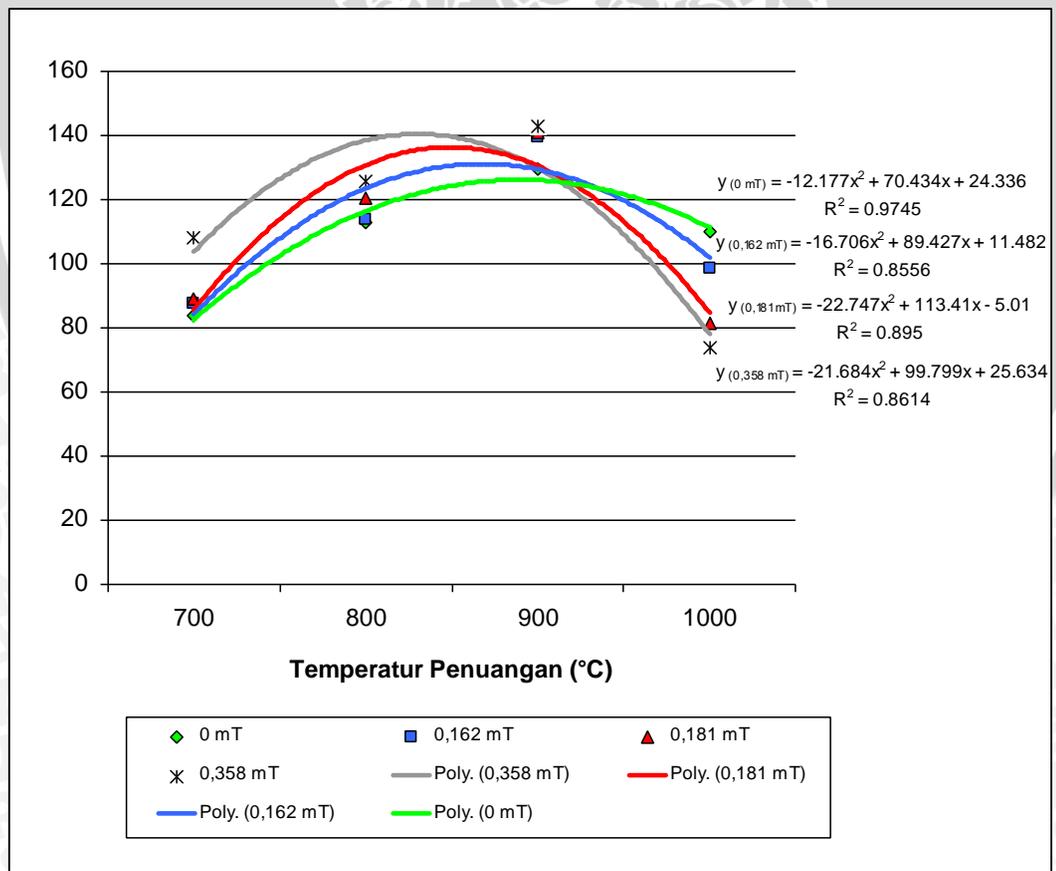


Gambar 4.5 Potongan spesimen pada temperatur penuangan 1000 °C sebelum permukaan spesimen dihaluskan



Gambar 4.6 Sampel mikrostruktur pada temperatur penguangan 1000 °C

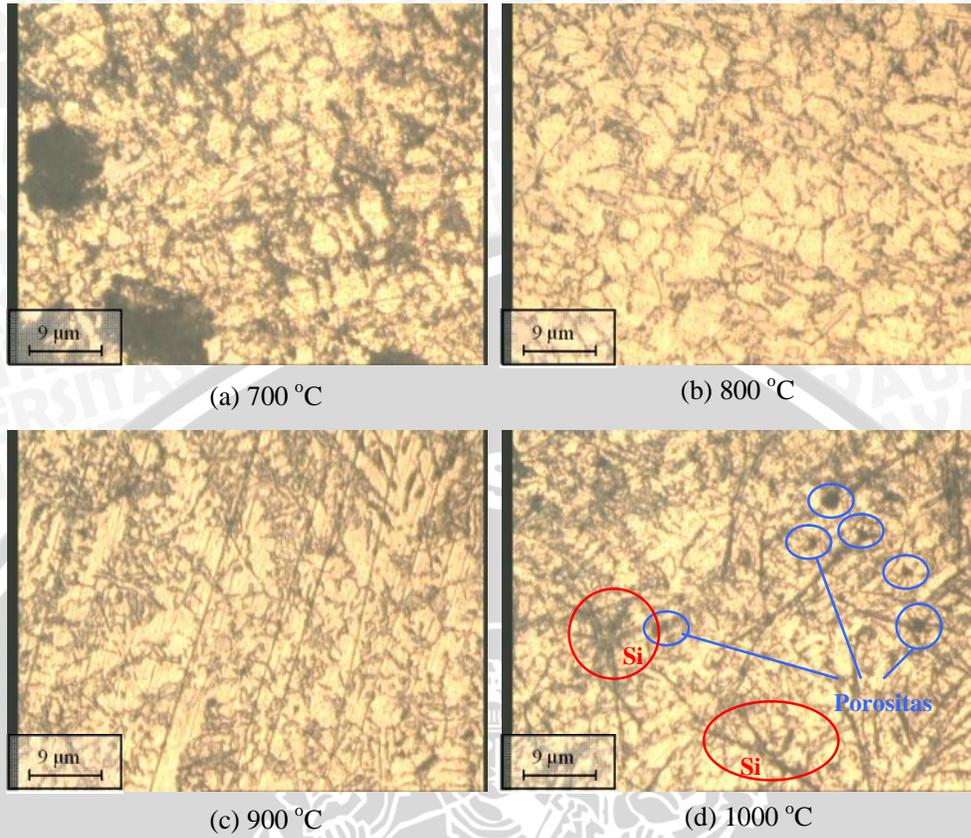
4.3.2 Pengaruh temperatur penguangan terhadap kekuatan tarik



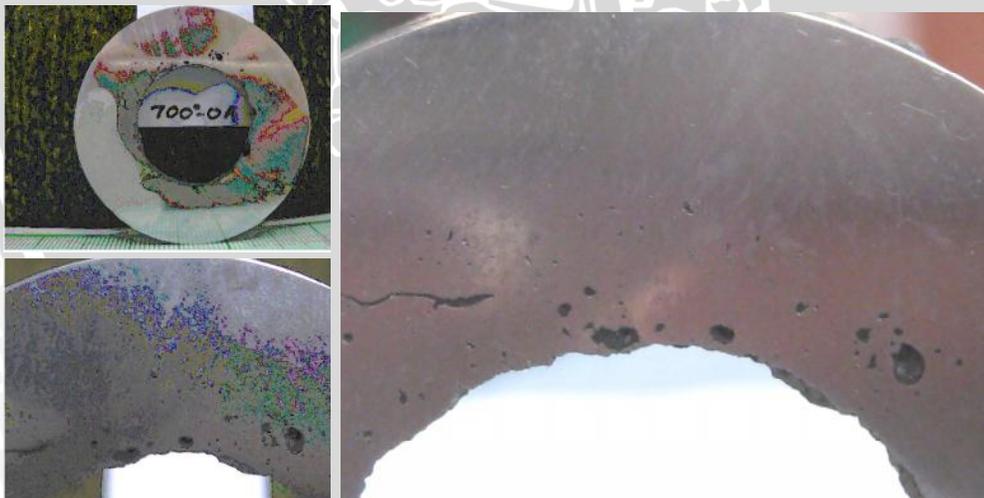
Gambar 4.7 Grafik hubungan temperatur penguangan terhadap kekuatan tarik.

Mengamati grafik diatas terlihat bahwa hubungan besar temperatur penuangan dengan kekuatan tarik hasil pengecoran cenderung meningkat pada temperatur penuangan 700 °C hingga 900 °C, kemudian menurun pada temperatur penuangan 1000 °C. Hal ini terjadi pada kondisi tanpa pemberian medan magnet maupun pada penambahan medan magnet. Pada kondisi tanpa pemberian medan magnet kekuatan tarik rata-rata meningkat seiring dengan meningkatnya temperatur penuangan 700 °C hingga 900 °C yaitu dari 83,7651 N/mm² hingga 129,5629 N/mm², kemudian turun pada temperatur penuangan 1000 °C yaitu sebesar 110,0744 N/mm². Pada kondisi pemberian medan magnet 0,162 mT kekuatan tarik rata-rata meningkat seiring dengan meningkatnya temperatur penuangan 700 °C hingga 900 °C yaitu dari 87,5038 N/mm² hingga 139,3110 N/mm², kemudian turun pada temperatur penuangan 1000 °C yaitu sebesar 98,5952 N/mm². Pada kondisi pemberian medan magnet 0,181 mT kekuatan tarik rata-rata meningkat seiring dengan meningkatnya temperatur penuangan 700 °C hingga 900 °C yaitu dari 89,1413 N/mm² hingga 140,9643 N/mm², kemudian turun pada temperatur penuangan 1000 °C yaitu sebesar 81,2146 N/mm². Pada kondisi pemberian medan magnet 0,358 mT kekuatan tarik rata-rata meningkat seiring dengan meningkatnya temperatur penuangan 700 °C hingga 900 °C yaitu dari 108,0054 N/mm² hingga 142,6471 N/mm², kemudian turun pada temperatur penuangan 1000 °C yaitu sebesar 73,6345 N/mm².

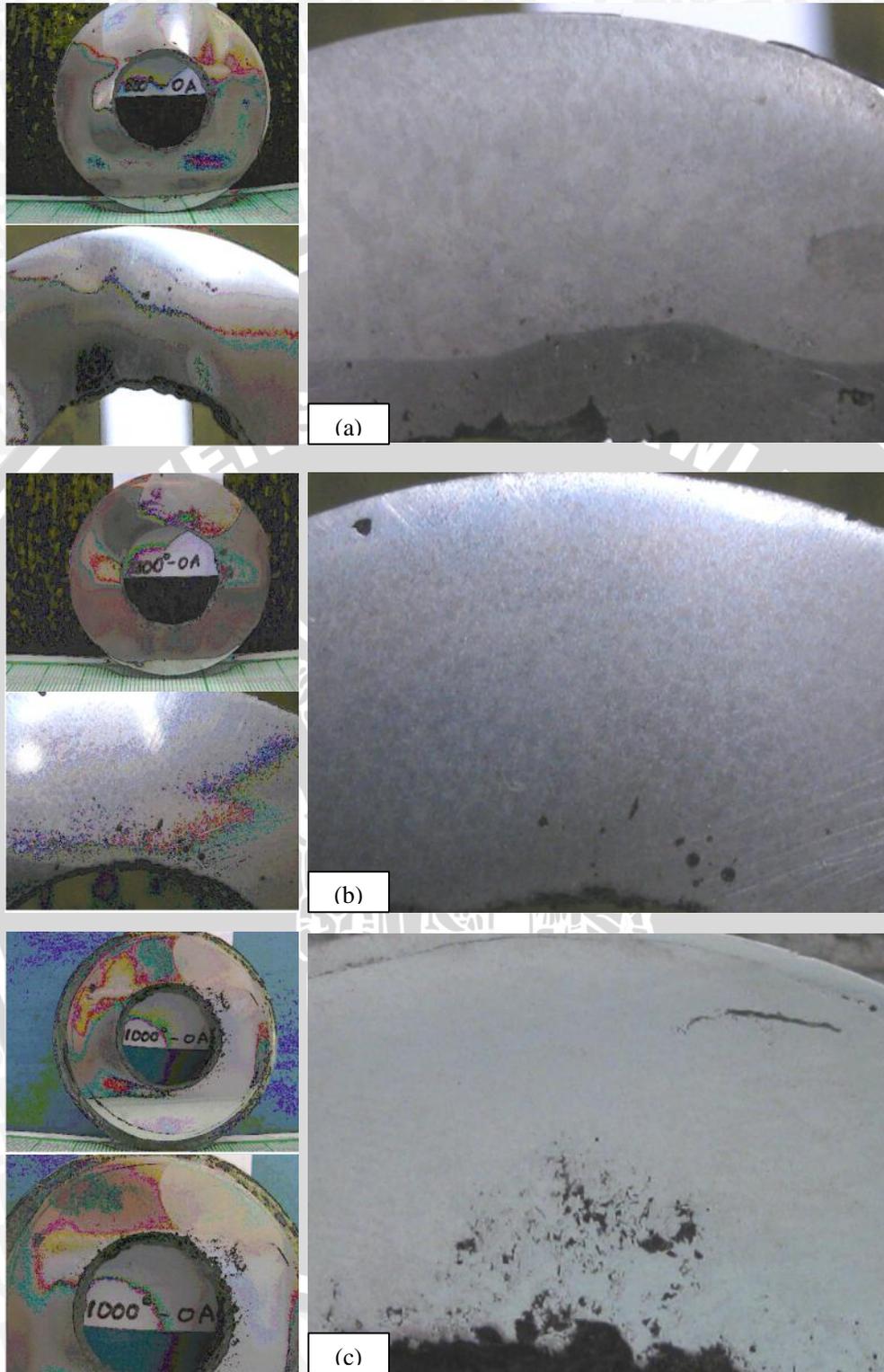
Peningkatan kekuatan tarik logam hasil pengecoran yang terjadi sesuai dengan hipotesis yang menyatakan bahwa semakin tinggi temperatur penuangan yang digunakan maka kekuatan tarik hasil coran semakin tinggi. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi gradien temperatur logam cair dengan cetakan maka laju pendinginan akan lebih cepat sehingga dendrit tidak memiliki cukup waktu untuk tumbuh. Struktur butiran yang semakin kecil-kecil atau halus akan semakin meningkatkan kekuatan tarik hasil pengecoran. Namun pada kondisi tempertur penuangan 1000 °C kekuatan tarik logam coran cenderung menurun. Hal ini disebabkan kecepatan penolakan gas atau udara tidak secepat laju pembekuan logam coran. Sehingga udara akan terjebak didalam logam coran baik secara makro maupun mikro terutama pada daerah batas butir. Disamping itu pada temperatur penuangan 1000 °C timbul partikel-partikel silikon yang mengumpul. Butiran silikon yang besar akan mengurangi sifat mekanis logam (Surdia, T 1986 : 42) Hal ini dapat dilihat pada foto mikrostruktur Gambar 4.8. Porositas yang terjadi secara makro dapat dilihat pada Gambar 4.9-4.11.



Gambar 4.8 Sampel mikrostruktur pada variasi temperatur penguangan



Gambar 4.9 Makrostruktur pada temperatur penguangan 700 °C



Gambar 4.10 Makrostruktur pada temperatur penuangan (a) 800 °C, (b) 900 °C dan (c) 1000 °C



Gambar 4.11 Potongan spesimen pada pada variasi temperatur penguangan sebelum permukaan spesimen dihaluskan

Nilai maksimum dari kekuatan rata-rata hasil pengecoran didapat pada kondisi temperatur penguangan 900 °C dengan penambahan medan magnet sebesar 0,358 mT yaitu sebesar 142,6471 N/mm². Kekuatan rata-rata terendah didapat pada kondisi temperatur penguangan 1000 °C dengan penambahan medan magnet sebesar 0,358 mT yaitu sebesar 73,6345 N/mm². Pada kondisi tersebut laju pembekuan terlalu cepat dan laju pengintian yang diakibatkan penambahan medan magnet semakin banyak maka udara yang terjebak akan semakin banyak sehingga menurunkan kekuatan tarik logam hasil pengecoran. Disamping itu pada temperatur penguangan 1000 °C timbul partikel-partikel silikon yang menurunkan sifat mekanis logam hasil coran. Nilai optimum temperatur penguangan yang digunakan untuk mendapat kekuatan tarik yang tinggi didapat dari grafik dengan regresi yaitu pada range temperatur 830 °C hingga 900 °C.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian yang telah dilakukan yaitu :

Peningkatan temperatur penuangan dan penambahan medan magnet yang diberikan selama proses pengecoran sentrifugal mampu meningkatkan kekuatan tarik rata-rata hasil pengecoran sentrifugal. Nilai maksimum dari kekuatan rata-rata hasil pengecoran didapat pada kondisi temperatur penuangan 900 °C dengan penambahan medan magnet sebesar 0,358 mT yaitu sebesar 142,6471 N/mm². Kekuatan rata-rata terendah didapat pada kondisi temperatur penuangan 1000 °C dengan penambahan medan magnet sebesar 0,358 mT yaitu sebesar 73,6345 N/mm².

5.2 Saran

Beberapa saran yang dapat diberikan untuk pengembangan penelitian tentang pengecoran sentrifugal, antara lain:

- Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh penambahan medan magnet terhadap pengendapan unsur-unsur paduan Al-Si-Mg baik pada temperatur penuangan yang tinggi maupun pada temperatur penuangan yang rendah .
- Berdasarkan pada Gambar 4.4 (a) perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang sifat makroskopis maupun mikroskopis dari aluminium paduan Al-Si-Mg hasil pengecoran sentrifugal dengan penambahan medan magnet pada temperatur tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Amstead.B.H.1979.*Manufacturing Processes*. New York:John-Wiley&Sons,Publishing Company.
- ASM. 1998. *ASM Metal Handbook Vol. 6 : Welding Brazing And Soldering*. USA: ASM International.
- ASM. 1998. *ASM 9th edition Metal Handbook Vol. 15 : Casting*. USA: ASM International.
- ASTM Standard E 8M-03. 2003. *Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials [Metric]*. Philadelphia, PA: American Society for Testing and Materials.
- Beeley, P.R. 1972. *Foundry Technology*. London : Butter Worths Publishing Company.
- Degarmo E. Paul, Black J. Temple, A. Kohser Ronald, 1998, *Materials And Processes In Manufacturing*. Singapore: Macmillan Publishing Company.
- Djaprie, Sriati. 1990, *Teknologi Mekanik*, Jakarta : Erlangga
- Hardiyanto Rakhmad. 2008. *Pengaruh Penambahan Medan Magnet pada Pengecoran Sentrifugal terhadap Distribusi Kekerasan dan Kekuatan Tarik Aluminium Paduan (Al-Si-Mg)*. Fakultas Teknik Jurusan Mesin Universitas Brawijaya Malang.
- Holman J.P, E. Jusfi. 1991. *Perpindahan Kalor 6th*. Jakarta : Erlangga.
- [Http://id.wikipedia.org/wiki/](http://id.wikipedia.org/wiki/), (diakses 7 Agustus 2008).
- Jain P.L.1979. *Principles Of Foundry Technology*. New Delhi : Tata McGraw-Hill Publishing Company LTD.
- Kalpakjian, Serope. 1990. *Manufacturing Engineering and Tecnology*. New York:Addison-Wesley.
- Putra, Widana D. 2006. *Pengaruh Temperatur Peleburan Terhadap Kekerasan Dan Kekuatan Tarik Aluminium Paduan (Al-Si-Mg) Pada Pengecoran Dengan Cetakan Logam*. Fakultas Teknik Jurusan Mesin Universitas Brawijaya Malang.
- R. Pitts D, E Sissom L, E Jusfi. 1987. *Teori Dan Soal-Soal Perpindahan Kalor*. Jakarta: Erlangga.
- Rao, PN. 1990. *Manufacturing Technology Foundry, Forming, and Welding*, Delhi: Departement of Mechanical Engineering Indian Institute of Technology.
- Rusli, Ronnie H. 1994. *Dasar Teori Solidifikasi Metal*. Jakarta : Universitas Indonesia (UI-Press).

Smith, William Fortune. 2004. *Principles of Material Science and Engineering*, Florida: Mc Graw-Hill.inc.

Surdia, Tata.,1986, *Teknik Pengecoran Logam*, Jakarta : PT. Pradnya Paramita.

Surdia, Tata., 1985, *Pengetahuan Bahan Teknik*, Jakarta : PT. Pradnya Paramita.

W.Heine Richard., R. Loper, Carl., C.Rosenthal, Philip., 1985, *Principles of Metal Casting*, New Delhi : Tata McGraw-Hill Publishing Company LTD.

Yudanegara, Danang, 2006, *Pengaruh Kemiringan Sumbu Putar Cetakan Terhadap Distribusi Kekerasan dan Kekuatan Impact Hasil Coran Aluminium Paduan dengan Proses Pengecoran Sentrifugal*, Fakultas Teknik Jurusan Mesin Universitas Brawijaya Malang.

Walpole, Ronald E. 1995. *Pengantar Statistika*. Jakarta : PT. Gramedia Pustaka Umum.

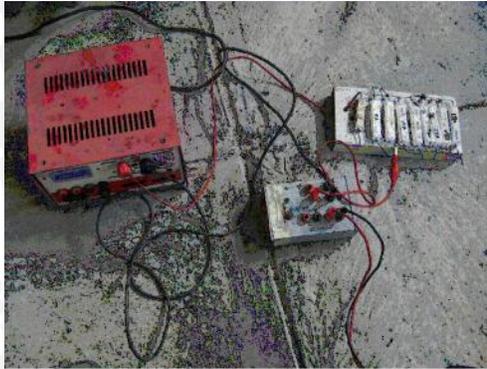
Wirjosumarto H.,Okumura T. 1996. *Teknologi Pengelasan Logam*. Jakarta : PT. Pradnya Paramita.

Yang Y, Liu O. Jiao Y, Yuniong GE. Zhuangqi HU. 1994. *Journal of Application of Steady Magnetic Field for Refining Solidification Structure and Enhancing Mechanical Properties of 25Cr-20Ni-Fe-C Alloy in Centrifugal Casting*. Institute of Metal Research Academia Sinica, Shenyang.

Zhang W.Q., Yang Y.S, Zhu Y.F., Liu Q.M., and. Hu Z.Q, 1998, *Journal of Structural Transition and Macrosegregation of Al-Cu Eutectic Alloy Solidified in the Electromagnetic Centrifugal Casting Process*, Institute of Metal Research, Chinese Academy of Sciences, Shenyang.



Lampiran 1. Foto Peralatan Penelitian



Instalasi Pembangkit Medan Magnet



Instalasi Mesin Pengecoran Sentrifugal



Dapur Listrik



Tesla meter



Timbangan Elektrik



Alat Pengujian Kekuatan Tarik

Lampiran 2. Foto Kegiatan Penelitian



Pengambilan Data Medan Magnet



Penuangan Logam Cair



Penuangan Logam Cair

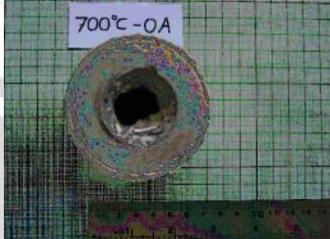
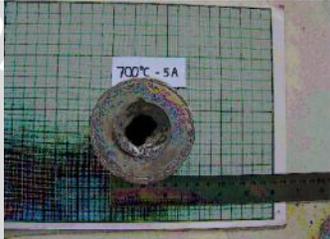


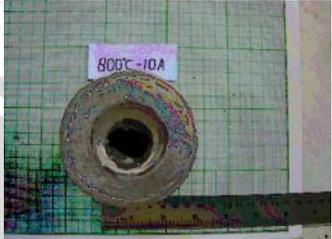
Pembuatan Spesimen Uji Tarik



Pengambilan Data Kekuatan Tarik

Lampiran 3. Foto Hasil Coran

Temperatur Penuangan(°C)	Medan Magnet (mT)	Foto Hasil Pengecoran (Penampang Melintang)	Foto Hasil Pengecoran
700	0		
700	0,162		
700	0,181		
700	0,358		
800	0		
800	0,162		

Temperatur Penuangan(°C)	Medan Magnet (mT)	Foto Hasil Pengecoran (Penampang Melintang)	Foto Hasil Pengecoran
800	0,181		
800	0,358		
900	0		
900	0,162		
900	0,181		
900	0,358		

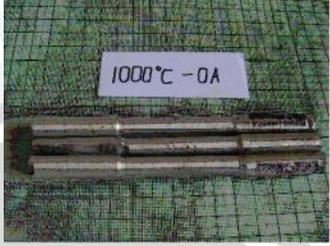
Temperatur Penuangan(°C)	Medan Magnet (mT)	Foto Hasil Pengecoran (Penampang Melintang)	Foto Hasil Pengecoran
1000	0		
1000	0,162		
1000	0,181		
1000	0,358		

Lampiran 4. Foto Spesimen Uji Tarik

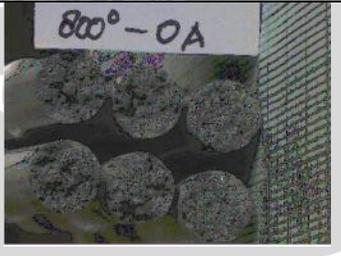
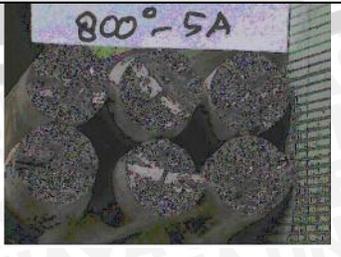
Temperatur Penuangan(°C)	Medan Magnet (mT)	Foto Spesimen
700	0	
700	0,162	
700	0,181	
700	0,358	
800	0	
800	0,162	

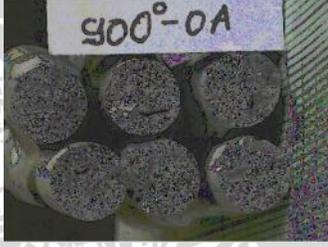


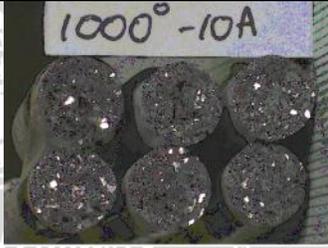
Temperatur Penuangan(°C)	Medan Magnet (mT)	Foto Spesimen
800	0,181	
800	0,358	
900	0	
900	0,162	
900	0,181	
900	0,358	

Temperatur Penuangan(°C)	Medan Magnet (mT)	Foto Spesimen
1000	0	
1000	0,162	
1000	0,181	
1000	0,358	

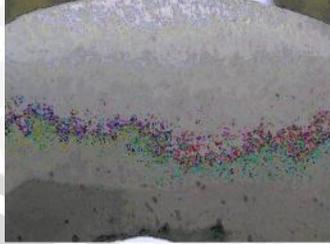
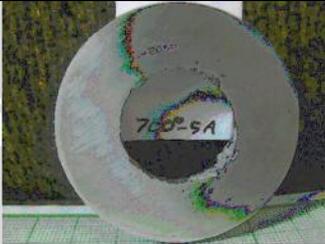
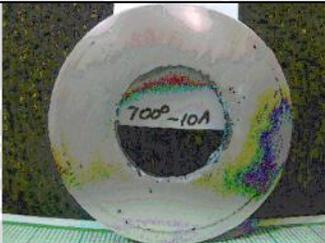
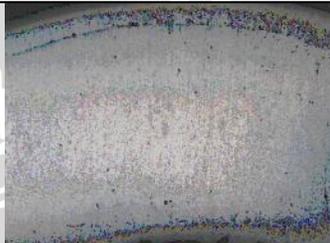
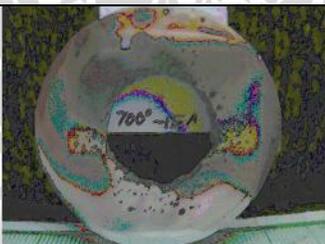
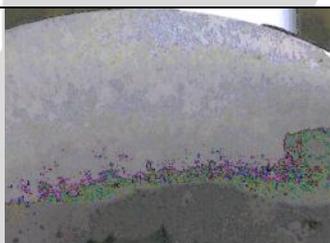
Lampiran 5. Foto Makro Patahan Uji Tarik

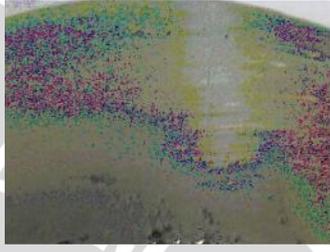
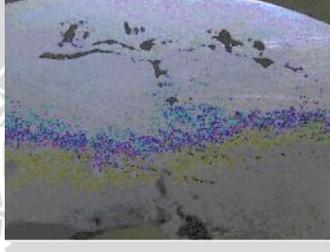
Temperatur Penuangan(°C)	Medan Magnet (mT)	Foto Hasil Patahan
700	0	
700	0,162	
700	0,181	
700	0,358	
800	0	
800	0,162	

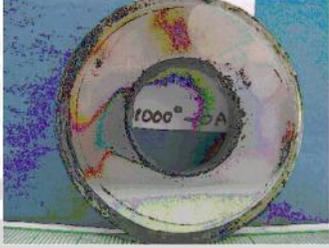
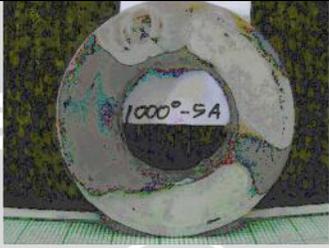
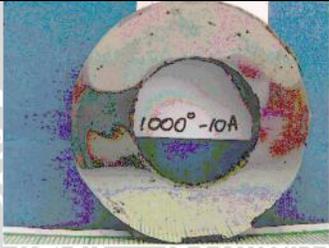
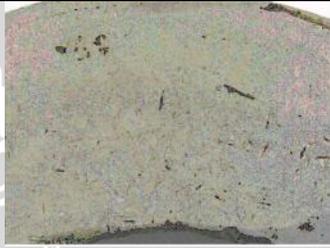
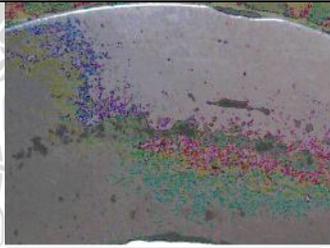
Temperatur Penuangan(°C)	Medan Magnet (mT)	Foto Hasil Patahan
800	0,181	
800	0,358	
900	0	
900	0,162	
900	0,181	
900	0,358	

Temperatur Penuangan(°C)	Medan Magnet (mT)	Foto Hasil Patahan
1000	0	
1000	0,162	
1000	0,181	
1000	0,358	

Lampiran 6. Foto Makro Potongan Spesimen

Temperatur Penuangan(°C)	Medan Magnet (mT)	Foto Hasil Pengecoran	Foto Makro
700	0		
700	0,162		
700	0,181		
700	0,358		
800	0		
800	0,162		

Temperatur Penuangan(°C)	Medan Magnet (mT)	Foto Hasil Pengecoran	Foto Makro
800	0,181		
800	0,358		
900	0		
900	0,162		
900	0,181		
900	0,358		

Temperatur Penuangan(°C)	Medan Magnet (mT)	Foto Hasil Pengecoran	Foto Makro
1000	0		
1000	0,162		
1000	0,181		
1000	0,358		

Lampiran 7. Komposisi Aluminium Paduan

29-Jul-2009 09:58:18

Sample results

Page 1

Sample ident	
1. Yudhistira A.N.	2. Moh. Fajar.

Application	<Standardless>
Sequence	1 of 1
Measurement time	29-Jul-2009 09:56:15
Position	1

Compound	Al	Si	P	Ca	Ti	Cr	Mg	Fe	Ni	Cu	Zn	Ba	Re
Conc	78,9	14,1	0,24	0,51	0,11	0,065	0,95	1,13	1,71	2,04	0,18	0,03	0,03
Unit	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%


 Kepala Lab. Fisika
 Abdulloh Fuad, M. Si
 NIP. 131808404

Lampiran 8. Surat Penelitian



DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
FAKULTAS TEKNIK JURUSAN MESIN UNIVERSITAS BRAWIJAYA
LABORATORIUM METALURGI FISIK
Jl. Mayjen Haryono 167 Telp. 553286 Pes. 214 Malang 65145

SURAT KETERANGAN
Nomor :71/PT.13.FT.6.M/X/2009

Yang bertanda tangan di bawah ini menerangkan dengan sesungguhnya bahwa mahasiswa:

Nama : Moh. Fajar Jamaluddin
Nim. : 0410620064-62
Instansi : Universitas Brawijaya
Program Studi : Teknik Mesin

Benar-benar telah melaksanakan penelitian dan pengambilan data Pengujian Tarik dan Foto Mikrostruktur di Laboratorium Metalurgi Fisik Fakultas Teknik Jurusan Mesin Universitas Brawijaya Malang pada tanggal 19 - 20 2009, guna keperluan penyusunan skripsi dengan judul " Pengaruh Penambahan Medan Magnet dan Temperatur Penuangan Pada Pengecoran Sentrifugal Terhadap Kekuatan Tarik Alumunium Paduan (AL-Si-Mg)."

Demikian agar surat keterangan ini dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

Malang 21 Oktober 2009

Ka. Lab. Metalurgi Fisik

Handwritten signature and official stamp of the laboratory.

Putu Hdi Setyafini, ST. MT.
NIP. 19770806 200312 2 001