

**STUDI PENGARUH BAHAN BATANG PENGADUK DAN
KECEPATAN PUTAR TERHADAP PEMBENTUKAN STRUKTUR
GLOBULAR
PADA PROSES RHEOCASTING**

perpustakaan.uns.ac.id

SKRIPSI

digilib.uns.ac.id

Diajukan sebagai salah satu syarat
untuk memperoleh gelar
Sarjana Teknik



**JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SEBELAS MARET
SURAKARTA
2010**



SURAT PENUGASAN

TUGAS AKHIR

Nomor : 019 /H27.8.1.4 /DT/2010

Nama Mahasiswa : Agung Wijayanto
NIM : I0404013
Konsentrasi : Ilmu Bahan
Pembimbing I : Eko Surojo, S.T. M.T.
Pembimbing II : Teguh Triyono, S.T.
Dosen Penguji : 1. Didik Djoko Susilo, S.T. M.T.
2. Heru Sukanto, S.T. M.T.
3. Dody Ariawan, S.T. M.T.
Mata Kuliah pendukung : 1. Teknik Pembentukan
2. Teknologi Pengecoran
3. Teknologi Pengelasan

JUDUL :

Studi Pengaruh Batang Pengaduk Dan Kecepatan Putar Terhadap Pembentukan Struktur Globular Pada Proses Rheocasting

Surakarta, 27 Mei 2010
Ketua Jurusan Teknik Mesin FT-UNS

Dody Ariawan, ST, M.T.
NIP 19730804 199903 1003

Untuk:

1. Mahasiswa
 2. Program Studi
- F-TM-03.14.02

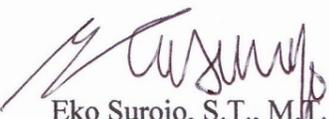
0510/I0404013

**STUDI PENGARUH BAHAN BATANG PENGADUK DAN KECEPATAN
PUTAR TERHADAP PEMBENTUKAN STRUKTUR GLOBULAR
PADA PROSES RHEOCASTING**

Disusun oleh :


Agung Wijayanto
NIM. I0404013

Dosen Pembimbing I

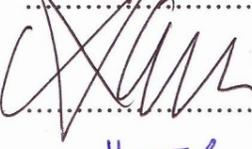

Eko Surojo, S.T., M.T.
NIP. 196904112000031006

Dosen Pembimbing II


Teguh Triyono, S.T.
NIP. 197104301998021001

Telah dipertahankan dihadapan Tim Dosen Penguji pada hari Selasa tanggal
31 Mei 2011

1. Didik Djoko Susilo, S.T., M.T.
NIP. 197203131997021001
2. Dody Ariawan, S.T., M.T.
NIP. 197308041999031003
3. Heru Sukanto, S.T., M.T.
NIP. 197207311997021001


.....

.....

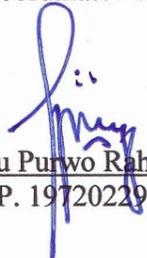
.....

Mengetahui:


Ketua Jurusan Teknik Mesin

Didik Djoko Susilo, S.T., M.T.
NIP. 197203131997021001

Koordinator Tugas Akhir


Wahyu Purwo Raharjo, S.T., M.T.
NIP. 197202292000121001

**THE STUDY ON THE EFFECT OF ROD MATERIAL AND ROTATION
SPEED ON THE FORMING OF GLOBULAR STRUCTURE
IN THE RHEOCASTING PROCESS**

perpustakaan.uns.ac.id

Agung Wijayanto
Mechanical Engineering Department
Sebelas Maret University
Surakarta, Indonesia
Agung1984Wijayanto@Gmail.com

digilib.uns.ac.id

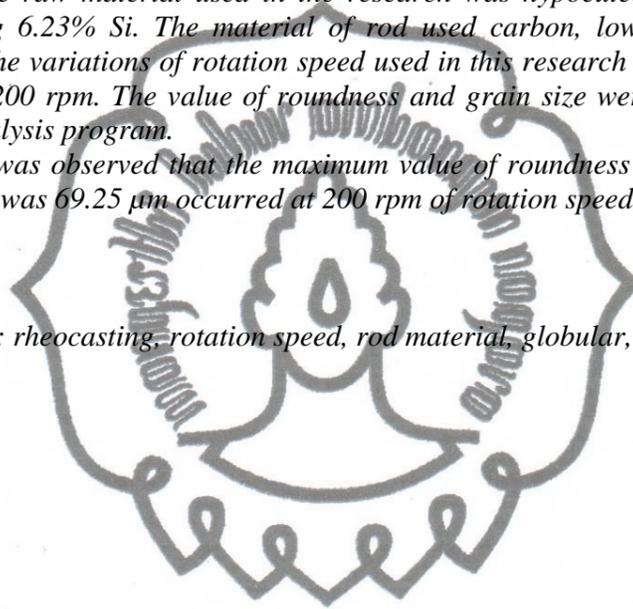
Abstract

The aim of this research was to investigate thermal conductivity of rod material and rotation speed on globular structure forming in rheocasting process. The rheocasting was a semisolid casting methods which gave the shear force at semisolid phase to produce globular microstructure.

The raw material used in the research was hypoeutectic aluminum that containing 6.23% Si. The material of rod used carbon, low carbon steel and copper. The variations of rotation speed used in this research were 100 rpm, 150 rpm and 200 rpm. The value of roundness and grain size were calculated using image analysis program.

It was observed that the maximum value of roundness was 0.666 and the grain size was 69.25 μm occurred at 200 rpm of rotation speed using carbon rod.

Keywords: rheocasting, rotation speed, rod material, globular, form factor



**STUDI PENGARUH BAHAN BATANG PENGADUK DAN KECEPATAN
PUTAR TERHADAP PEMBENTUKAN STRUKTUR GLOBULAR
PADA PROSES RHEOCASTING**

Agung Wijayanto
Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik
Universitas Sebelas Maret
Surakarta, Indonesia
Agung1984Wijayanto@Gmail.com

perpustakaan.uns.ac.id

digilib.uns.ac.id

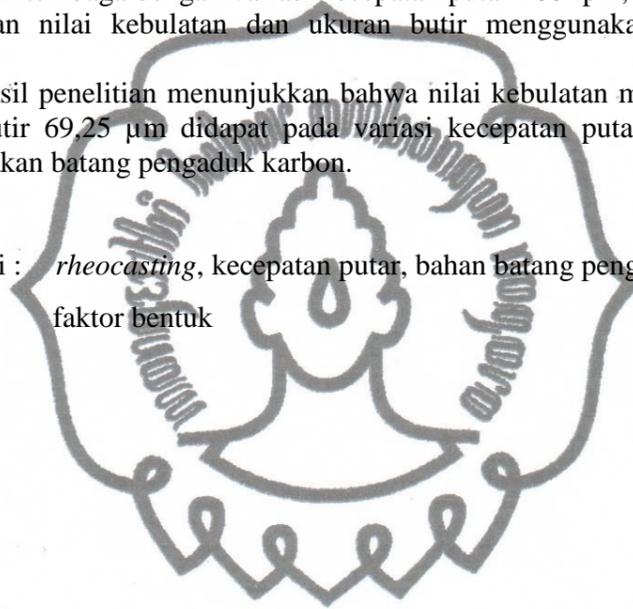
Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh konduktivitas *thermal* bahan batang pengaduk dan kecepatan putar terhadap pembentukan struktur *globular* pada proses *rheocasting*. *Rheocasting* merupakan salah satu metode pengecoran *semisolid* yang memberikan gaya geser saat logam cair berada pada fasa *semisolid* untuk menghasilkan struktur mikro *globular*.

Bahan baku penelitian ini adalah aluminium *hypoeutectic* berkadar 6.23% Si. Bahan pengaduk yang digunakan antara lain karbon, baja karbon rendah, dan tembaga dengan variasi kecepatan putar 100 rpm, 150 rpm, 200 rpm. Perhitungan nilai kebulatan dan ukuran butir menggunakan program *image analysis*.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kebulatan maksimal 0,666 dan ukuran butir 69,25 μm didapat pada variasi kecepatan putar 200 rpm dengan menggunakan batang pengaduk karbon.

Kata kunci : *rheocasting*, kecepatan putar, bahan batang pengaduk, *globular*, faktor bentuk



MOTTO

Life must goes on!! And don't give up!!!
All is well, Coz Everything's Gonna Be Okay!!

perpustakaan.uns.ac.id

digilib.uns.ac.id



PERSEMBAHAN

Sebuah karya sederhana ini kupersembahkan kepada:

- Allah SWT, karya ini merupakan bagian dari setitik buih dalam perpustakaan.uns.ac.id lautan ilmu-Mu. digilib.uns.ac.id
- Seluruh keluargaku yang telah mengukirkan semangat dalam hidupku.
- Teman-teman yang memberikan warna dan memori waktu penuh arti dalam hidupku.



KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT karena berkat rahmat, karunia dan hidayah-Nya serta menetapkan hati sehingga penulis dapat berhasil menyelesaikan skripsi ini. Adapun tujuan penulisan skripsi ini adalah untuk memenuhi persyaratan guna mencapai gelar sarjana teknik di Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta.

Dibalik keberhasilan penulis dalam menyusun skripsi ini tidak lepas dari bantuan dari berbagai pihak, maka sudah sepantasnya penulis menghaturkan terima kasih yang sangat mendalam kepada semua pihak yang telah berpartisipasi dalam penelitian dan penulisan skripsi ini, khususnya kepada:

- Bapak Eko Surojo, S.T., M.T, selaku Dosen Pembimbing skripsi I yang telah membimbing dan membantu dalam penyusunan skripsi.
- Bapak Teguh Triyono, S.T, selaku Dosen Pembimbing skripsi II yang telah membantu dan membimbing dalam penyusunan skripsi.
- Bapak Didik Djoko Susilo, S.T., MT. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin dan Dosen Penguji yang telah memberikan saran-saran.
- Bapak Dodi Ariawan, S.T., M.T. dan Bapak Heru Sukanto, S.T., MT., selaku Dosen Penguji yang telah memberikan saran-saran.
- Mas Maruto, Blink2, Bolly, Rois, Dikdo, Dewi, Joko, Anzis, Mas Mul, Mami Tara semoga sukses selalu, terima kasih atas dukungannya.
- Teman-teman S1 dan S1 Non Reguler yang telah memberikan bantuan dan dukungan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa dalam skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan dan jauh dari kesempurnaan. Penulis berharap masukan dan saran dari para pembaca sehingga skripsi ini menjadi lebih baik. Dengan segala keterbatasan yang ada, penulis berharap skripsi ini dapat memberikan manfaat kepada penulis pribadi dan pembaca pada umumnya.

Penyusun

DAFTAR ISI

	Halaman
Halaman Judul	i
Halaman Penugasan	ii
Halaman Pengesahan	iii
Halaman Abstrak	v
Halaman Motto	vi
Halaman Persembahan	vii
Kata Pengantar	viii
Daftar Isi	ix
Daftar Tabel	xi
Daftar Gambar	xii
BAB I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian	2
1.5 Sistematika Penulisan	3
BAB II. LANDASAN TEORI	
2.1 Tinjauan Pustaka	4
2.2 Dasar Teori	4
2.2.1 Proses Pengecoran	4
2.2.2 Pembekuan Logam	6
2.2.3 Paduan Aluminium	6
2.2.4 Temperatur <i>Liquidus</i> dan <i>Solidus</i> Paduan Aluminium	7
2.2.5 Struktur Mikro	8
2.2.6 Metode <i>Rheocasting</i>	10

BAB III. METODE PENELITIAN

3.1 Bahan Penelitian 12
3.2 Alat Penelitian 12
3.3 Langkah Penelitian 16
3.4 Teknik Analisa Data 18
3.5 Penyimpulan Hasil Penelitian 18
3.6 Diagram Alir Penelitian 19

BAB IV. DATA DAN ANALISA

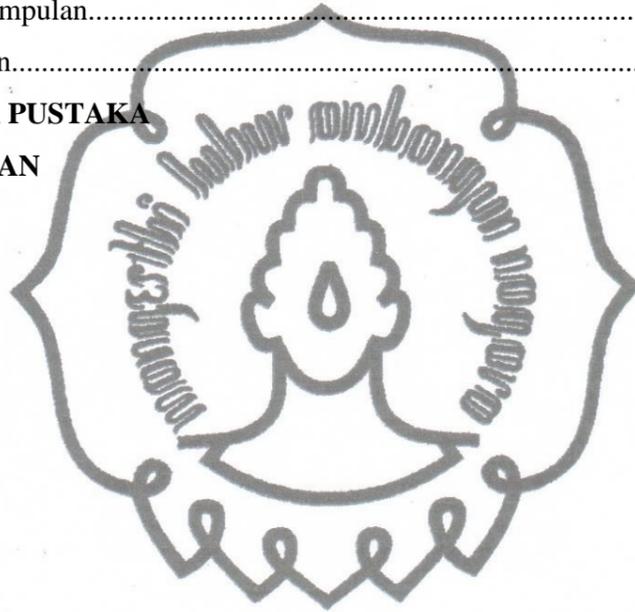
4.1 Temperatur *Liquidus-Solidus* 20
4.2 Hasil Rheocasting 20
4.3 Pengaruh Kecepatan Putar Terhadap Struktur Mikro..... 21
4.4 Pengaruh Bahan Pengaduk Terhadap Faktor Bentuk dan Ukuran
Butir 24

BAB V. PENUTUP

5.1 Kesimpulan..... 28
5.2 Saran..... 28

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3.1 Hasil pengujian komposisi <i>velg</i>	12
Tabel 4.1 Konduktivitas Thermal Bahan	21
Tabel 4.2 Nilai laju pendinginan variasi bahan batang pengaduk	26



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Struktur mikro pembekuan logam	6
Gambar 2.2 Diagram fasa paduan Al-Si	7
Gambar 2.3 Grafik temperatur liquidus-solidus paduan aluminium	8
Gambar 2.4 Bentuk Butir	9
Gambar 2.5 Struktur mikro (a) dendritik, (b) globular	10
Gambar 2.6 Skema pemusatan dendrit	11
Gambar 2.7 Proses <i>Rheocasting</i>	11
Gambar 3.1 Mesin <i>rheocasting</i> sederhana	13
Gambar 3.2 <i>Inverter</i>	13
Gambar 3.3 Data akusisi	14
Gambar 3.4 Tungku tahanan listrik 1100°C	14
Gambar 3.5 Mikroskop optik	14
Gambar 3.6 <i>Mold</i>	15
Gambar 3.7 <i>Ladle</i>	15
Gambar 3.8 Isolator panas	16
Gambar 4.1 Grafik temperatur <i>solidus-liquidus</i>	20
Gambar 4.2 Coran hasil <i>rheocasting</i> dengan berbagai variasi bahan pengaduk	21
Gambar 4.3 Struktur mikro <i>rheocasting</i> variasi kecepatan putar dan bahan pengaduk	22
Gambar 4.4 Grafik faktor bentuk dengan variasi kecepatan putar	23
Gambar 4.5 Grafik nilai kebulatan, variasi kecepatan putar dan bahan pengaduk	25
Gambar 4.6 Grafik ukuran butir variasi bahan pengaduk dan kecepatan putar (rpm)	26

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Sekarang ini perkembangan dunia otomotif, khususnya industri mobil sangat meningkat. Produsen melakukan berbagai pengembangan teknologi untuk penghematan konsumsi bahan bakar. Cara yang paling efektif untuk menghemat bahan bakar yaitu dengan menurunkan berat dari kendaraan. Pengurangan berat kendaraan sampai 100 kg dapat menurunkan konsumsi bahan bakar 1 l/km. Untuk menerapkan cara diatas maka dibutuhkan material yang ringan untuk menggantikan material baja yang selama ini telah banyak digunakan (Sakurai, 2008).

Sutantra (2001) menyatakan penggunaan aluminium sebagai komponen kendaraan bermotor sangat bervariasi meliputi pada blok mesin, bagian badan (rangka) dan lingkaran roda. Penggunaan aluminium dan paduannya ini dikarenakan sifatnya yang ringan dan kuat setelah dipadu dengan material lain seperti silikon, mangan, dan tembaga. Selain itu aluminium memiliki beberapa keunggulan antara lain: lebih ulet, mampu bentuknya baik, tidak mudah terkorosi dan titik leburnya rendah. Proses pengolahan bahan baku aluminium menjadi benda coran dalam dunia industri saat ini mengarah pada teknologi *semisolid forming*.

Proses *semisolid forming* adalah proses pengerjaan logam yang dilakukan dalam kondisi *semisolid* atau campuran fasa cair dan padat. Pada proses *semisolid forming* ini diperlukan bahan baku paduan logam yang berstruktur mikro globular. Bahan baku dengan struktur mikro globular membutuhkan gaya pembentukan yang lebih kecil jika dibandingkan dengan struktur mikro dendritik. Bahan baku paduan logam berstruktur mikro globular dapat diperoleh dengan menggunakan metode rheocasting. Proses *semisolid forming* memiliki kelebihan dibandingkan dengan pembentukan secara konvensional. Kelebihan proses *semisolid forming* diantaranya adalah bentuk produk dapat dibuat relatif kompleks dan gaya pembentukannya relatif lebih kecil. Selain itu proses

semisolid forming juga memiliki kelebihan karena cacat porositas yang relatif rendah sehingga diperoleh sifat mekaniknya lebih baik (Winterbottom, 2000).

Pada penelitian sebelumnya dihasilkan struktur mikro yang tidak seragam, yaitu terbentuknya struktur mikro *globular* dan juga *rosete* (Mulyantara, 2009). *Globularisasi* yang tidak sempurna pada proses *rheocasting* sangat dipengaruhi beberapa hal antara lain : bahan pengaduk, diameter pengaduk dan kecepatan putar. Pada penelitian ini parameter yang akan diteliti adalah pengaruh kecepatan putar dari berbagai material batang pengaduk terhadap pembentukan struktur *globular* pada proses *rheocasting*

1.2 Perumusan Masalah

Bagaimana pengaruh kecepatan putar pengadukan dan konduktivitas thermal batang pengaduk terhadap pembentukan struktur *globular* pada proses *rheocasting*?

1.3 Batasan Masalah

Untuk menentukan arah penelitian yang baik, permasalahan dibatasi hal-hal berikut ini;

1. Logam cair yang dituang ke dalam cetakan memiliki volume yang seragam.
2. Variasi Kecepatan pengadukan 100 rpm, 150 rpm, 200 rpm.

1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

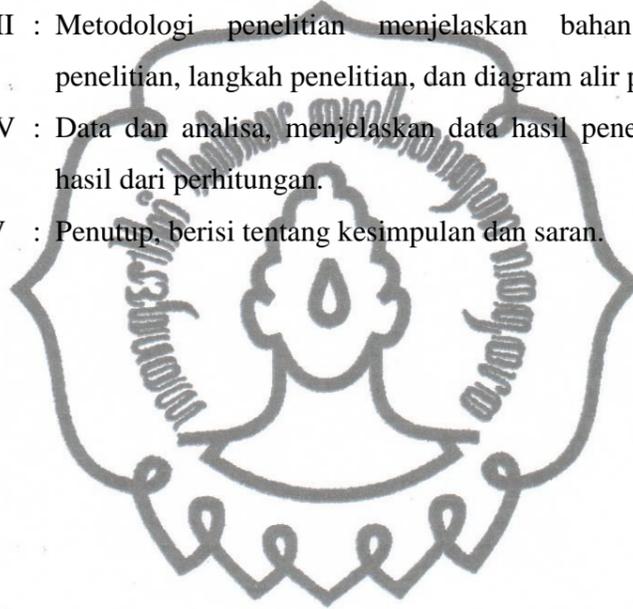
1. Mengetahui pengaruh kecepatan putar pengadukan terhadap faktor bentuk.
2. Mengetahui pengaruh konduktivitas thermal bahan pengaduk terhadap struktur mikro yang terbentuk.

Manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Menambah pengetahuan dalam bidang pengecoran *semisolid* aluminium khususnya *rheocasting*.
2. Menambah pengetahuan tentang analisa struktur mikro.

Sistematika penulisan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

- BAB I : Pendahuluan, menjelaskan tentang latar belakang masalah, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian serta sistematika penulisan.
- BAB II : Dasar teori, berisi tinjauan pustaka yang berkaitan dengan studi pembentukan struktur mikro *globular* pada sistem *rheocasting*, dasar teori tentang proses pengecoran, pembekuan logam, paduan aluminium, temperatur liquidus-solidus paduan aluminium, pengadukan, struktur mikro, serta metode *rheocasting*.
- BAB III : Metodologi penelitian menjelaskan bahan penelitian, alat penelitian, langkah penelitian, dan diagram alir penelitian.
- BAB IV : Data dan analisa, menjelaskan data hasil penelitian serta analisa hasil dari perhitungan.
- BAB V : Penutup, berisi tentang kesimpulan dan saran.



BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Martinez dkk (2000) melakukan penelitian terhadap paduan aluminium yang dilebur dalam dapur induksi (*induction furnace*) pada suhu 856-875 °C. Kemudian logam cair dituang ke dalam rongga cetakan dalam kondisi telah mengalami *drop temperature* hingga temperatur menjadi 700-800 °C.

Scamans dan Fan (2005) menyatakan bahwa metode *rheocasting* digunakan untuk menghasilkan *semisolid metal*. Logam yang dicairkan pada temperatur cair (*liquidus*) atau di atas temperatur cair (*superheat*), logam cair yang mendingin akan melewati fasa *semisolid metal* (SSM) sebelum mencapai temperatur *solidus*. Jika pada fasa *semisolid* diberikan gaya geser berupa putaran maka struktur mikro yang awalnya berbentuk kolumnar atau dendritik akan terpotong menjadi butir baru yang *globular*.

Basner (2000) menyatakan teknologi pengecoran yang sedang dikembangkan untuk memproduksi *semisolid metal* (SSM) yaitu *thixocasting* dan *rheocasting*. Bahan baku teknologi *thixocasting* adalah billet berstruktur mikro globular. Billet dipanaskan kemudian dipindahkan ke dalam *shot chamber* dalam mesin *die casting*, kemudian diinjeksikan ke dalam cetakan. *Rheocasting* terdiri dari pengadukan bahan paduan untuk menghasilkan fasa *semisolid*, kemudian diinjeksikan ke dalam cetakan. *Rheocasting* memiliki beberapa keunggulan dibandingkan *thixocasting* antara lain prosesnya lebih sederhana, fraksi *solid*-nya dapat disesuaikan dengan aplikasi yang digunakan, tidak tergantung pada pemasok logam, dan biayanya lebih murah.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Proses Pengecoran

Teknik pengecoran merupakan salah satu proses produksi dengan cara mencairkan logam, kemudian dituang ke dalam cetakan dan dibiarkan mendingin di dalam cetakan. Dalam mencairkan logam dapat digunakan berbagai macam

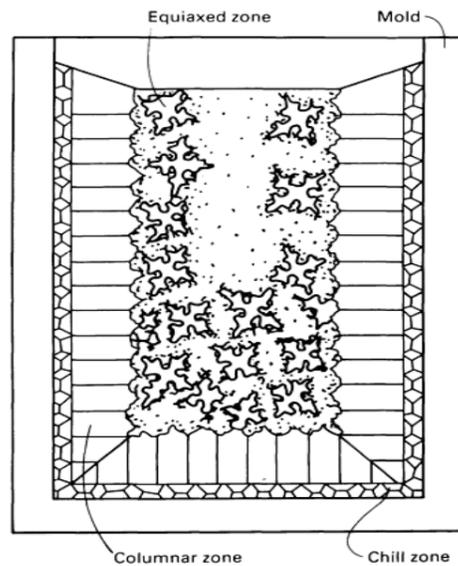
tanur seperti kupola atau tanur induksi frekuensi rendah dipergunakan untuk besi cor, tanur busur listrik atau tanur induksi busur tinggi dipergunakan untuk baja cor dan tanur kurs untuk paduan tembaga atau paduan coran ringan.

Surdia (2000) menyatakan bahwa cetakan coran biasa dibuat dengan menggunakan bahan pasir alam yang mengandung tanah lempung yang terkadang dicampur pengikat khusus, umpamanya semen, resin furan, resin fenol, atau minyak pengering karena selain pasir yang harganya relatif dan mudah didapatkan juga karena penggunaan zat-zat tersebut dapat memperkuat cetakan. Selain dari cetakan pasir, dapat juga digunakan cetakan logam.

2.2.2 Pembekuan Logam

Pada cairan logam murni jika didinginkan secara perlahan maka pembekuan terjadi pada temperatur yang konstan, temperatur ini disebut titik beku. Dalam pembekuan logam cair, pada permulaan tumbuhlah inti kristal, kemudian kristal – kristal tumbuh disekeliling inti tersebut, akhirnya seluruhnya ditutupi oleh butir kristal sampai logam cair habis. Ukuran butir kristal tergantung pada laju pengintian dan pertumbuhan inti. Jika laju pertumbuhan lebih besar dari laju pengintian maka didapat kelompok butir yang besar dan Jika laju pengintian lebih besar dari laju pertumbuhan inti maka didapat kelompok butir yang halus.

Surdia (2000) menyatakan bahwa pembekuan logam dimulai dari bagian yang bersentuhan dengan cetakan, saat panas dari logam cair diserap oleh cetakan sehingga logam mendingin hingga mencapai titik beku kemudian muncul inti-inti kristal. Bagian dalam coran mendingin lebih lambat daripada bagian luar, sehingga kristal-kristal tumbuh dari inti asal mengarah bagian dalam coran dan terbentuklah struktur kolom, seperti terlihat pada gambar 2.1 berikut.

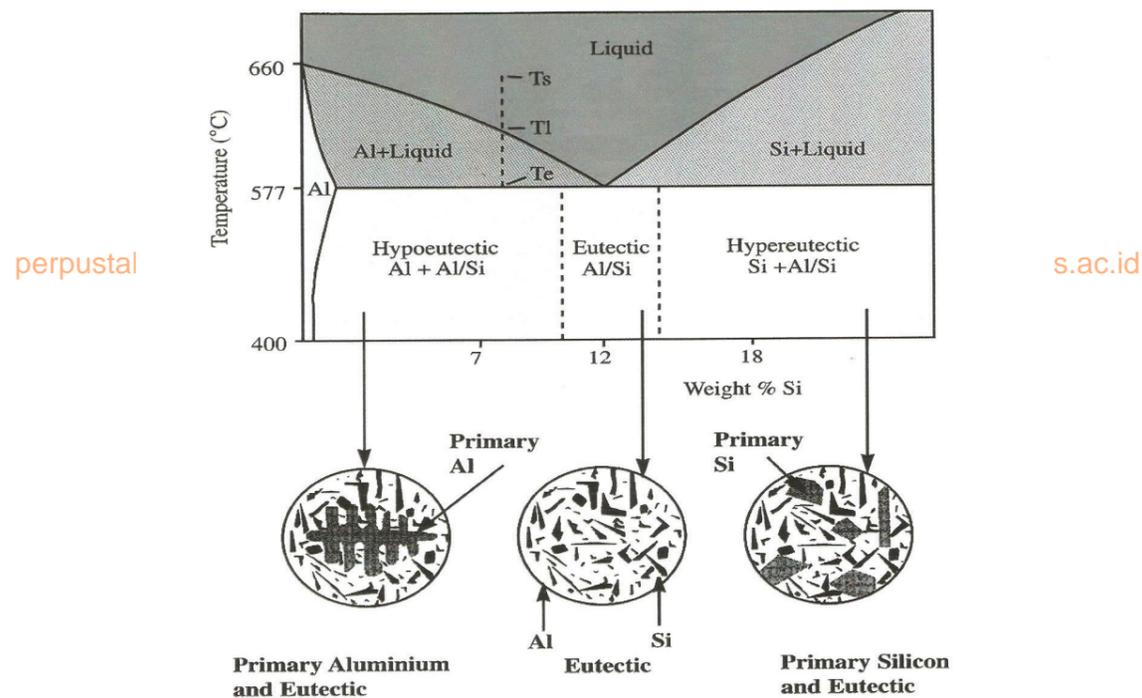


Gambar 2.1 Struktur mikro pembekuan logam
(ASM Handbook Vol.15, Casting)

2.2.3 Paduan Aluminium

Cook (1998) menyatakan bahwa aluminium silikon sangat banyak digunakan di dunia industri karena memiliki sifat fluiditas yang tinggi, mampu cor baik, densitas rendah serta sifat mekanik yang mudah dikontrol. Paduan silikon di bawah 11% disebut aluminium *hypoeutectic*, 11-13% disebut *eutectic*, dan di atas 13% adalah aluminium *hypereutectic*. Paduan lain yang sering ditambahkan seperti Fe, Cu, Mg, Ni, Zn bertujuan untuk mendapatkan hasil pengecoran atau properti mekanik yang diinginkan.

Proses solidifikasi dimulai dari fasa cair pada suhu T_1 kemudian berlanjut sampai mencapai suhu T_e . Pada saat temperatur *liquidus* (T_1), *dendrit* tumbuh dan mengalami pengintian yang lebih banyak hingga mencapai temperatur *eutektik* (T_e). Solidifikasi sempurna terjadi setelah melewati temperatur *eutektik* (T_e). Bentuk struktur dendrit dapat terlihat pada akhir pembentukan struktur mikro aluminium. Tetapi pada paduan aluminium eutektik (11-13% Si), solidifikasi terjadi pada temperatur eutektik. Pada temperatur eutektik semua sisa liquid akan membeku menjadi aluminium-silikon eutektik dalam paduan biner, terlihat pada Gambar 2.2 berikut.

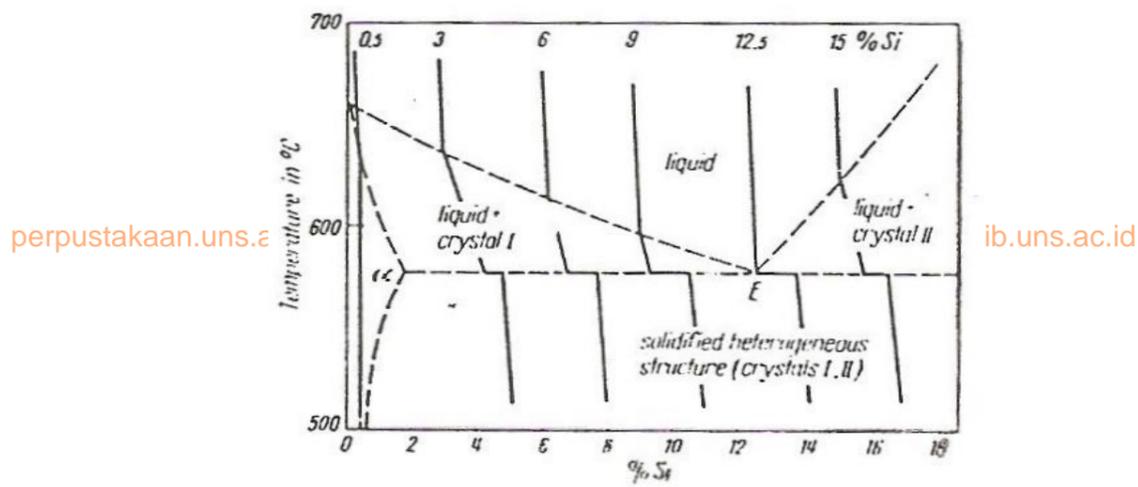


Gambar 2.2 Diagram fasa paduan Al-Si (Cook, 1998)

2.2.4 Temperatur Liquidus dan Solidus Paduan Aluminium

Dobrzański (2006) menyatakan bahwa paduan aluminium-silikon *hypoeutectic* akan melalui tiga tahap reaksi solidifikasi selama proses solidifikasi, berawal dari pembentukan dendritik aluminium dan diikuti pembentukan dua fasa utama *eutektik*. Adanya paduan dan elemen pengotor seperti: Cu, Mg, Mn, dan Fe menjadikan karakteristik metalografi lebih kompleks.

Altenpohl (1982) menyatakan bahwa temperatur *liquidus* (T_l) adalah temperatur dimana proses solidifikasi dimulai, sedangkan temperatur setelah proses solidifikasi selesai disebut temperatur *solidus* (T_s). Temperatur *liquidus* (T_l) dan temperatur *solidus* (T_s) ditentukan dengan cara membuat kurva pendinginan (temperatur vs waktu), yaitu dengan mengukur perubahan temperatur terhadap waktu pada saat proses pendinginan dari fasa cair sampai fasa padat. Temperatur *liquidus* (T_l) dan temperatur *solidus* (T_s) merupakan titik terjadinya perubahan gradien pada kurva pendinginan.

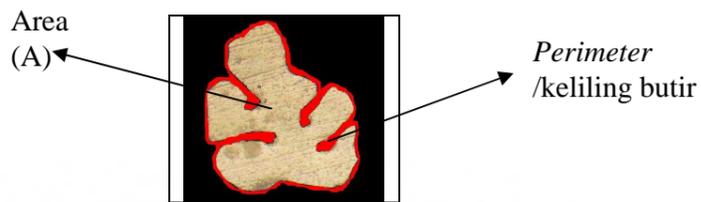


Gambar 2.3 Grafik temperatur liquidus-solidus paduan aluminium (Altenpohl, 1982)

2.2.5 Struktur mikro

Hubungan antara struktur mikro dengan sifat mekanik logam dipengaruhi oleh kuantitas fasa, ukuran fasa dan pengaruh bentuk fasa. Paduan Al-Si memiliki kombinasi karakteristik yang baik antara lain *castability*, ketahanan korosi yang baik (*good corrosion resistance*), ketahanan aus (*wear resistance*), dan mampu mesin yang baik (*machinability*). Sifat mekanik pada dasarnya dikontrol oleh struktur mikro dari logam coran tersebut. Oleh karena itu, untuk mendapatkan suatu komposisi dari aluminium cor sangat dimungkinkan dengan mengoptimasi ukuran butir, struktur eutektik, ukuran sel, serta ukuran dan distribusi dari fase intermetalik sehingga didapatkan sifat mekanik yang diinginkan. Semakin besar ukuran butir maka nilai kekerasannya semakin menurun. Penurunan nilai elongasi yang besar terjadi pada paduan aluminium yang ditambahkan *grain refiner*. Sifat mekanik aluminium juga dipengaruhi oleh ukuran sel dendrit. Tegangan tarik *ultimate* dan nilai elongasi mengalami penurunan dengan meningkatnya ukuran sel dendrit. Struktur eutektik dan ukuran sel pada aluminium paduan terdapat *dendrite fibers*, yang dapat ditingkatkan sifat mekaniknya melalui perlakuan panas (Granger dan Elliott, 1998).

Hongmin (2008) menyatakan bahwa proses baru *rheocasting* adalah dengan mengontrol ukuran butir yang terbentuk pada logam cair yang diberi tegangan geser sebelum menjadi *slury*. Logam cair yang diberi tegangan geser tersebut akan menghasilkan stuktur mikro globular. Salah satu faktor yang mempengaruhi terbentuknya stuktur mikro globular adalah rotasi putaran pengadukan. Dalam penelitiannya Hongming menyatakan bahwa semua spesiment hasil *rheocasting* akan diperiksa stuktur mikronya. Pemeriksaan stuktur mikro ini menggunakan mikroskop optik kemudian dilakukan pendekatan dengan rumus faktor bentuk untuk pemggambarannya. Pendekatan rumus faktor bentuk dapat dilihat pada persamaan (2.1).



Gambar 2.4 Bentuk Butir

$$F = \frac{4x\pi A}{\text{perimeter}^2} \dots\dots\dots(2.1)$$

A : Luasan butir
 F : Faktor bentuk (0 < F < 1)

Hasil dari analisa program *Image Analysis* kemudian dilakukan perhitungan standar deviasi dan nilai rata-rata faktor bentuk maupun ukuran butir. Perhitungan mencari nilai standar deviasi dan rata-rata dapat memakai rumus (Stroud dan Sucipto, 1996) :

$$\text{Rumus standar deviasi : } \sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (x - \bar{x})^2} \dots\dots\dots(2.2)$$

Rumus rata-rata : $\bar{x} = \frac{\sum x}{n}$ (2.3)

\bar{x} : rata-rata data

x : besar data

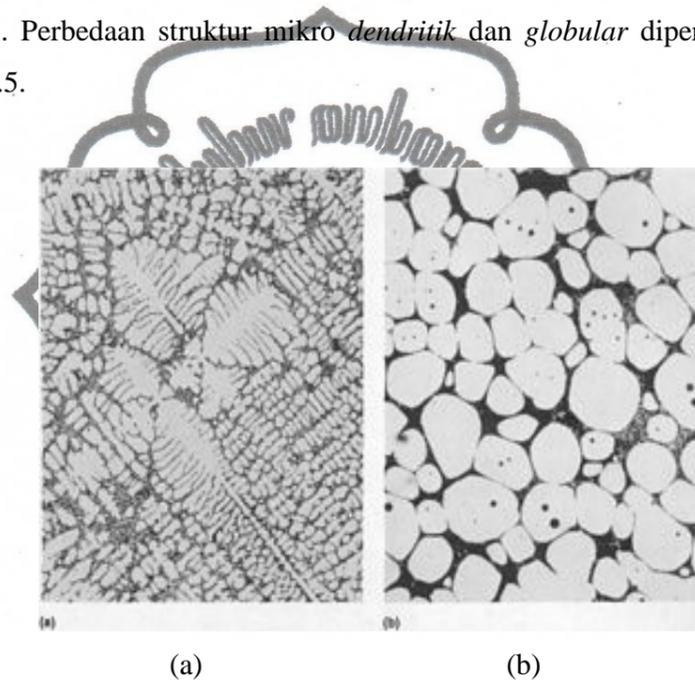
σ : standar deviasi

n : jumlah data

digilib.uns.ac.id

2.2.6 Metode Rheocasting

Scamans dan Fan (2005) menyatakan bahwa metode *rheocasting* digunakan untuk menghasilkan *semisolid metal*. Logam yang dicairkan pada temperatur cair (*liquidus*) atau di atas temperatur cair (*superheat*) akan melewati fasa *semisolid metal* (SSM) sebelum mencapai temperatur solidus. Jika pada fasa *semisolid* diberikan gaya geser berupa putaran maka struktur mikro yang awalnya berbentuk kolumnar atau dendritik akan terpotong menjadi butir baru yang bulat (*globular*). Perbedaan struktur mikro *dendritik* dan *globular* diperlihatkan pada Gambar 2.5.

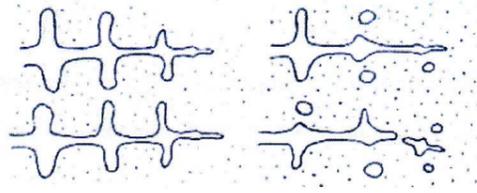


(a) (b)
Gambar 2.5 Gambar Struktur Mikro (a) *dendritik*, (b) *globular*
(Ivanchev, 2006)

Rheocasting merupakan teknik semisolid forming yang memberikan perlakuan pada logam cair sebelum menjadi benda coran dalam mesin cor cetak. Proses yang dilakukan yaitu dengan memutar logam cair yang sedang membeku agar butir-butir dendrit terpotong sehingga terbentuk butir globular. Secara singkat pemutusan dendrit dapat dilihat pada Gambar 2.6.

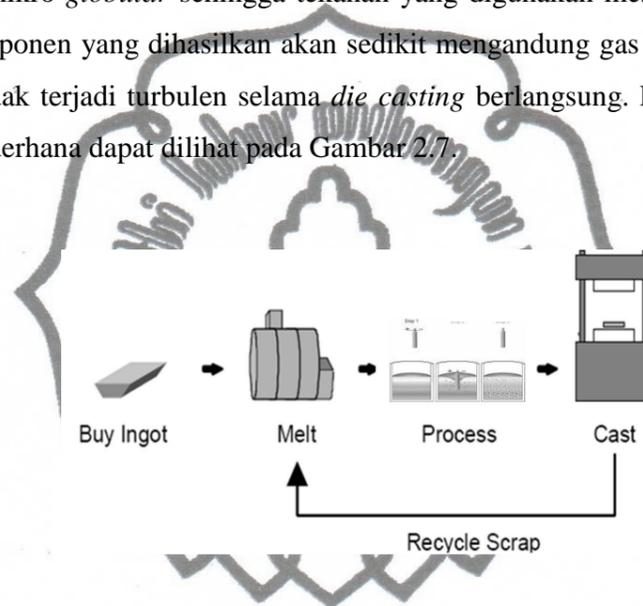
perpustakaan.uns.ac.id

digilib.uns.ac.id



Gambar 2.6 Skema pemutusan dendrit (Wannasin, 2006)

Setelah pengadukan logam *semisolid*, *slury* langsung diproses dalam pengecoran tekanan tinggi (*high-pressure die casting*). *Slury* ini mempunyai struktur mikro *globular* sehingga tekanan yang digunakan mesin die lebih kecil, serta komponen yang dihasilkan akan sedikit mengandung gas dan inklusi oksida karena tidak terjadi turbulen selama *die casting* berlangsung. Proses *rheocasting* secara sederhana dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Proses *rheocasting* (Basner, 2000)

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Bahan Penelitian

Bahan yang dipakai dalam penelitian ini yaitu paduan aluminium yang berasal dari *velg* mobil bekas. *Velg* yang digunakan dalam penelitian ini memiliki kandungan 6,23% Si, sehingga dapat ditentukan bahwa *velg* yang dipakai adalah paduan aluminium-silikon *hypoeutectic*. Hasil dari pengujian komposisi kimia dapat di lihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Hasil pengujian komposisi *velg*

Unsur	Komposisi (% wt)	Unsur	Komposisi (% wt)
Al	92,89	Sn	0,025
Si	6,23	Ti	0,177
Fe	0,178	Pb	0,0012
Cu	0,0017	Be	0,0000
Mn	0,015	Ca	0,0017
Mg	0,411	Sr	0,0360
Cr	0,0041	V	0,0207
Ni	0,0078	Zr	0,0132

3.2 Alat Penelitian

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mesin *rheocasting* sederhana

a. *Bed*

Bed ini berfungsi sebagai tempat diletakkannya *mold* dan isolator panas.

b. Motor listrik

Motor listrik yang digunakan adalah $\frac{1}{4}$ HP 3 *phase*.

c. *Pulley*

Pulley yang digunakan adalah 2 buah dengan diameter 5 cm dan 10 cm. Antara *pulley* yang satu dengan yang lain dihubungkan dengan *V-belt*.

perpustakaan.uns.ac.id

d. Batang pengaduk

digilib.uns.ac.id

Batang pengaduk berfungsi sebagai media untuk mengaduk aluminium cair pada cetakan. Batang pengaduk dibuat dari baja karbon rendah



Gambar 3.1 Mesin *rheocasting* sederhana

2. *Inverter*

Inverter digunakan untuk mengatur kecepatan putar motor listrik.



Gambar 3.2 *Inverter*

3. Data akuisisi

Alat ini digunakan untuk menentukan besarnya temperatur *liquidus-solidus* dan membantu alat kontrol temperatur. Alat ini disambungkan dengan CPU pada komputer dan kabel termokopel tipe K, sehingga pada layar monitor komputer dapat terlihat diagram perbandingan antara suhu dengan waktu.



Gambar 3.3 Data akuisisi

4. Tungku Tahanan Listrik

Jenis tungku tahanan listrik yang digunakan pada penelitian ini berkapasitas 1100°C. Tungku tahanan listrik ini digunakan sebagai tempat peleburan logam bahan penelitian.



Gambar 3.4 Tungku tahanan listrik 1100°C

5. Mikroskop Optik

Mikroskop optik digunakan untuk membantu mengamati struktur mikro spesimen. Mikroskop dilengkapi lensa obyektif dengan perbesaran 4X, 10X, 20X, 40X.



perpustakaan.uns.ac.id

digilib.uns.ac.id

Gambar 3.5 Mikroskop optik

6. *Mold*

Mold atau cetakan dibuat dari pipa baja dengan diameter 55 mm yang didesain seperti gambar sehingga memudahkan dalam pengambilan dan tidak ikut diputar saat pengadukan.



Gambar 3.6 *Mold*

7. *Ladle*

Ladle berfungsi sebagai tempat peleburan bahan sekaligus tempat sebelum logam cair dituang ke dalam *mold*.



Gambar 3.7 *Ladle*

8. Isolator Panas

Isolator panas terbuat dari pipa baja dan dilapisi batu tahan api sehingga panas *mold* saat penuangan logam cair tidak mudah hilang akibat konveksi udara ruangan.

perpustakaan.uns.ac.id



digilib.uns.ac.id

Gambar 3.8. Isolator panas

9. Termokopel

Termokopel digunakan sebagai sensor temperatur logam cair. *Termokopel* yang akan digunakan pada penelitian ini adalah tipe K, karena *termokopel* ini mempunyai sensitivitas temperatur hingga 1250°C .

10. Pengaduk

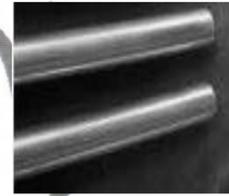
Digunakan sebagai variasi pengaduk saat proses *rheocasting*. Bahan pengaduk yang digunakan dalam penelitian ini yaitu, karbon, baja karbon dan tembaga. Pengaduk memiliki dimensi berdiameter 2 cm dan panjang 9 cm.



a. karbon



b. tembaga



c. baja karbon

Gambar 3.9. Pengaduk

11. Gergaji

Gergaji ini digunakan untuk memotong spesimen yang akan diuji struktur mikronya.

12. Mesin Ampelas

Mesin ini dilengkapi amril dan digunakan untuk menghaluskan spesimen.

13. Autosol

Autosol digunakan untuk menghilangkan goresan akibat penghalusan hasil mesin pengampelas.

14. Larutan etsa

Etsa dilakukan sebelum melakukan pengujian struktur mikro, hasil pengetsaan adalah korosi pada batas butir. Larutan etsa yang digunakan adalah HF (*Hidrofleuric Acid*) 40% dan air dengan perbandingan 1:5.

3.3 Langkah Penelitian

Tahapan penelitian dilaksanakan sebagai berikut:

1. Memotong velg bekas dengan gerinda potong menjadi potongan-potongan kecil agar mudah dalam proses peleburan.
2. Melakukan pengujian komposisi kimia velg di Politeknik Manufaktur, Ceper dengan Spektrometer.
3. Membuat cetakan dari pipa baja berdiameter 55 mm, dan isolator panas dengan pipa baja yang dilapisi batu tahan api.
4. Melebur potongan velg ke dalam tungku penghantar listrik dengan temperatur 850°C, ditahan selama 30 menit.
5. Merangkai alat (unit pengaduk, inverter, data akusisi, termokopel, cetakan, isolator panas dan unit komputer).
6. Memasang batang pengaduk dengan variasi bahan baja karbon, tembaga dan karbon.
7. Menuang aluminium cair ke dalam cetakan
8. Menjalankan unit pengaduk dengan variasi kecepatan putar 100 rpm, 150 rpm dan 200 rpm.
9. Melakukan pengadukan dari temperatur 635°C sampai 610°C.
10. Meng-*quenching* logam coran pada temperatur 585°C ke dalam air.

11. Memotong logam coran pada di sekeliling dan di bawah pengaduk.
12. Menghaluskan spesimen dengan mesin amplas dengan kekasaran bertahap mulai 250, 600, 1000 dan 1200.
13. Memoles spesimen dengan autosol hingga mengkilap.
14. Membuat larutan etsa yang terdiri dari HF 40% dan air dengan perbandingan 1:5.
15. Memasukkan spesimen ke dalam larutan etsa selama 15 detik.
16. Mengamati spesimen di bawah mikroskop optik.
17. Mengukur luas, diameter dan keliling dengan *software Image Analysis*.
18. Menghitung rata-rata dan standar deviasi data diameter, faktor bentuk dari masing-masing data.
19. Menganalisa data
20. Menarik kesimpulan.

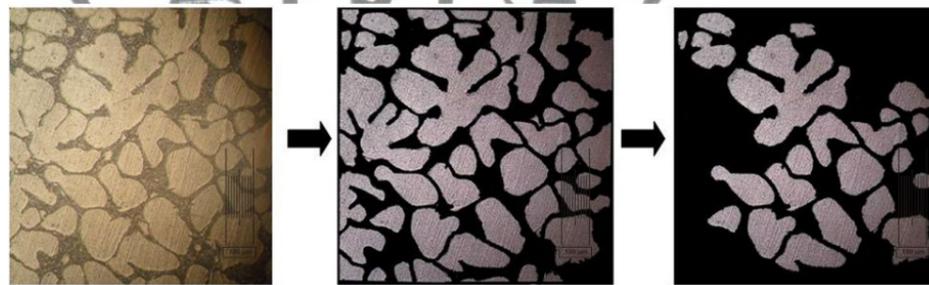
perpustakaan.uns.ac.id

digilib.uns.ac.id

3.4 Teknik Analisa Data

Teknik mencari luas area, perimeter dan ukuran butir dengan menggunakan program image analysis:

- a. Persiapan gambar struktur mikro
 - Gambar yang diteliti di pilih secara manual.
 - Gambar yang diteliti karena efek *cropping* diabaikan.



- b. Menyeting program image analysis
 - Menentukan objek gelap dan terangnya.
 - Menentukan parameter yang dengan menekan tombol '*count and measure object*'.

- Menentukan batas nilai minimum dan maximum yang akan dibaca oleh program image analysis.
- Mengkalibrasi skala gambar dengan menekan tombol '*measure lenghts and distances*' sehingga akan terbaca perbandingan skala gambar. Berikut adalah contohnya 100 μ m : 52 pixel.

perpustakaan.uns.ac.id



digilib.uns.ac.id

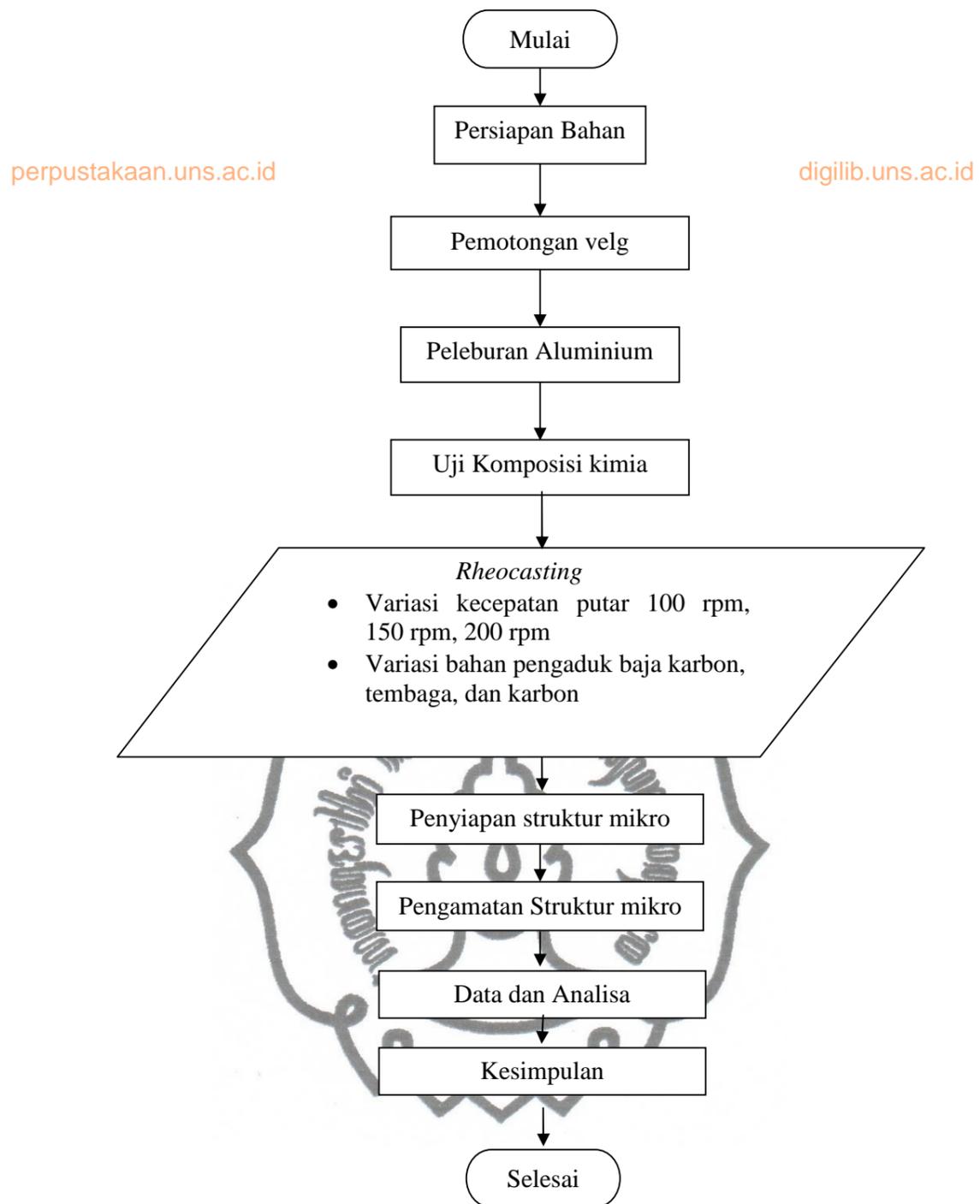
- Kemudian tinggal pilih 'count' untuk mencari parameter yang akan dicari, dan semua parameter akan muncul untuk di tampilkan dalam bentuk file excel.

Data yang diperoleh adalah struktur mikro dari berbagai variasi penelitian. Dari gambar struktur mikro, selanjutnya diolah lebih lanjut untuk mendapatkan ukuran butir dan faktor bentuk. Ukuran butir ini dapat diketahui dengan menggunakan program *image analysis*. Parameter yang diperoleh dari program ini adalah luasan struktur mikro dan keliling (*perimeter*). Dengan menggunakan persamaan (2.1) faktor bentuk dapat diketahui dengan memasukan parameter yang telah di peroleh.

3.5 Kesimpulan Hasil Penelitian

Membandingkan data-data yang telah diperoleh dan diambil hasil yang terbaik, kemudian dilakukan analisa berdasarkan teori yang ada. Maka akan didapat dari analisa berupa spesimen yang mempunyai struktur mikro *globular* yang paling optimal.

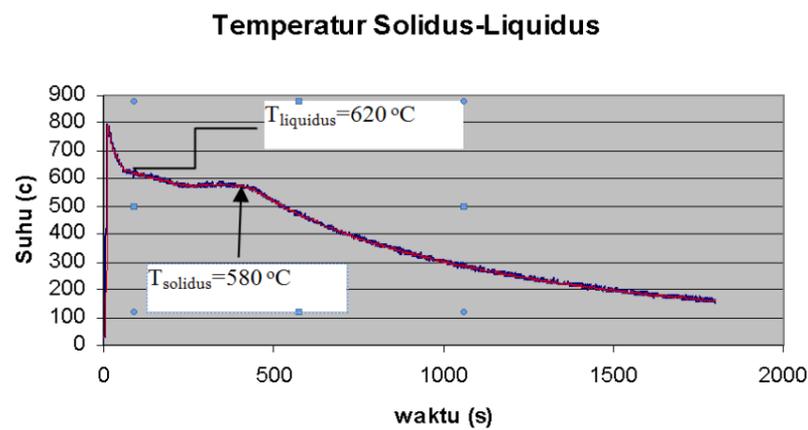
3.6 Diagram Alir Penelitian



BAB IV DATA DAN ANALISA

4.1 Temperatur *Liquidus-Solidus*

Penentuan Temperatur *liquidus-solidus* dilakukan dengan menuang aluminium cair ke dalam *CEmeter-cup* yang telah dihubungkan dengan data akusisi sehingga dapat tercatat penurunan temperatur logam cair. Temperatur *solidus-liquidus* digunakan untuk menentukan daerah *semisolid* sehingga pengadukan pada proses *rheocasting* dapat dilakukan pada fasa *semisolid* dengan tepat. Penurunan temperatur logam cair sampai terbentuk fasa padat ditunjukkan pada Gambar 4.1. Dari Gambar 4.1 dapat dilihat dari pengukuran bahwa $T_{liquidus}$ 620 °C dan $T_{solidus}$ 580 °C.



Gambar 4.1 Grafik temperatur *solidus-liquidus*

4.2. Hasil *Rheocasting*

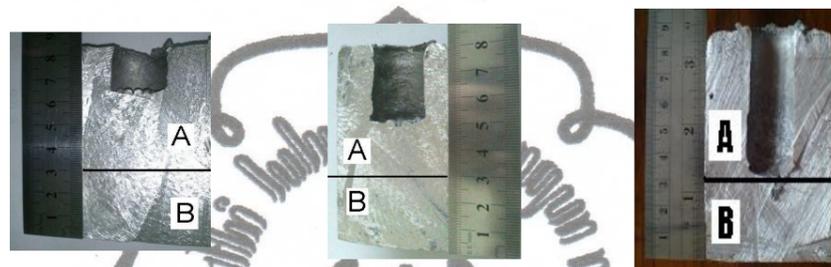
Rongga yang terbentuk hasil *rheocasting* sangat tergantung dari bahan pengaduknya. Rongga ini terbentuk karena ketidakmampuan logam *semisolid* mengisi kembali saat pengaduk diangkat. Ketidakmampuan tersebut diakibatkan oleh terbentuknya lapisan fasa padat yang terbentuk di sekeliling pengaduk. Lapisan ini terbentuk akibat dari penyerapan panas yang berlebih pada bagian logam cair yang bersentuhan dengan batang pengaduk. Besarnya penyerapan panas oleh batang pengaduk dipengaruhi *konduktivitas thermal* bahan.

Bahan pengaduk yang digunakan pada penelitian adalah karbon, baja karbon, dan tembaga yang ketiganya memiliki *konduktivitas thermal* yang berbeda. Nilai *konduktivitas thermal* dari ketiga bahan tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 *Konduktivitas thermal* bahan (Incropera, 1990)

Bahan	Konduktivitas Thermal ($W/m^{\circ}K$)
Tembaga	401
Baja Karbon	15.1
Karbon	0.26

Sampel yang diperoleh dari proses *rheocasting* dibagi menjadi dua daerah yaitu daerah A dan B. Daerah A merupakan daerah sekeliling pengaduk dan daerah B merupakan daerah bawah pengaduk (Gambar 4.2).



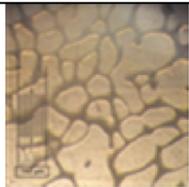
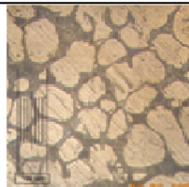
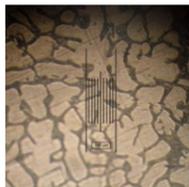
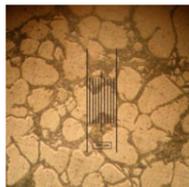
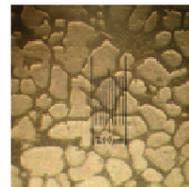
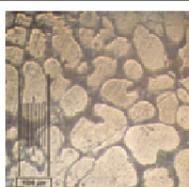
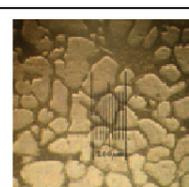
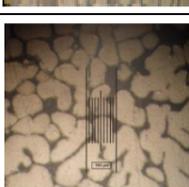
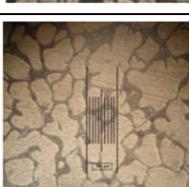
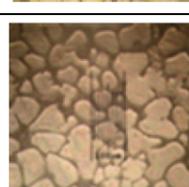
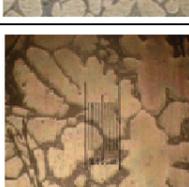
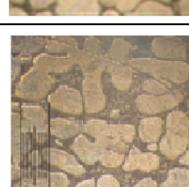
a. Pengaduk karbon b. Pengaduk baja karbon c. Pengaduk tembaga
Gambar 4.2 Coran hasil *rheocasting* dengan berbagai variasi bahan pengaduk

4.3. Pengaruh Kecepatan Putar Terhadap Struktur Mikro

Struktur mikro hasil proses *rheocasting* dapat ditunjukkan pada Gambar 4.3. Gambar 4.3 memperlihatkan struktur mikro yang terbentuk berbentuk globular dan sebagian terlihat *rosete*. Struktur mikro yang terbentuk pada awal proses pengecoran berbentuk dendritik. Dendritik ini akan terpotong oleh gaya pengadukan yang diberikan pada proses *rheocasting*. Tahap awal pertumbuhannya potongan tersebut akan tumbuh menjadi dendrit. Dengan di berikan gaya geser diberikan selama proses *rheocasting* maka pembekuan dendrit

menjadi tidak sempurna dan tumbuh menjadi bentuk *rosete*. Dengan laju pendinginan yang lambat dan laju regangan gesernya besar maka bentuk *rosete* akan berubah menjadi *globular* (Fleming, 1991).

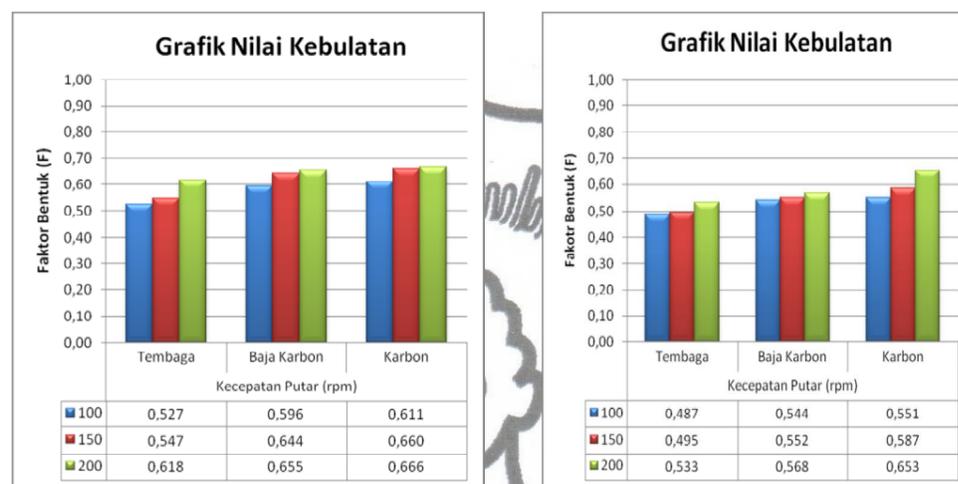
perpustakaan

BAHAN PENGADUK	BAGIAN	VARIASI KECEPATAN PUTAR (RPM)		
		100	150	200
KARBON	A			
	B			
BAJA KARBON	A			
	B			
TEMBAGA	A			
	B			

Gambar 4.3 Struktur mikro *rheocasting* variasi kecepatan putar dan bahan pengaduk. (Lebih jelasnya lihat di lampiran)

Pada kecepatan putar rendah $n = 100$ rpm selain terbentuk struktur globular juga ditemukan struktur *rosete* di daerah B. Hal ini disebabkan daerah B berada di bawah pengaduk sehingga mengalami laju regangan geser yang lebih rendah dibandingkan di daerah A. Laju regangan geser yang rendah tidak mampu mengubah struktur *rosete* menjadi struktur *globular*. Gambar struktur mikro pada masing-masing variasi kecepatan putar ditunjukkan Gambar 4.3.

Kecepatan putar yang meningkat akan menghasilkan struktur mikro yang memiliki faktor bentuk semakin bulat, karena semakin besar kecepatan putar yang diberikan akan memberikan gaya geser dan laju regangan yang semakin besar. Hal ini membuktikan bahwa semakin besar laju regangan geser maka struktur dendrit yang terputus akan berubah menjadi semakin globular seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.4.



a. Daerah sekeliling pengaduk

b. Daerah bawah pengaduk

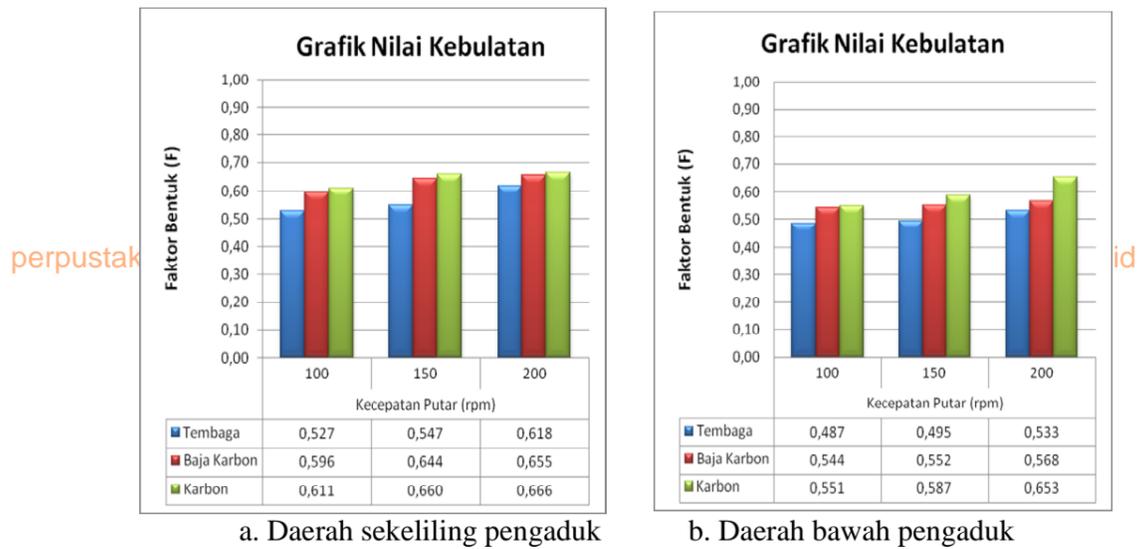
Gambar 4.4 Grafik faktor bentuk dengan variasi kecepatan putar

4.4 Pengaruh bahan pengaduk terhadap faktor bentuk dan ukuran butir

Penggunaan material batang pengaduk yang berbeda berpengaruh terhadap kemampuan penyerapan panas sehingga berpengaruh terhadap hasil *rheocasting*. Penyerapan panas pada proses *rheocasting* ini berpengaruh pada laju pendinginan logam cair dan lamanya pengadukan. Bahan yang memiliki *konduktivitas thermal* rendah akan memberikan waktu pengadukan lebih lama karena laju pendinginan yang lambat (Martines dan Flemings, 2003).

Pengaduk yang memiliki *konduktivitas thermal* yang rendah akan lebih lambat menyerap panas daripada bahan pengaduk yang memiliki *konduktivitas thermal* yang tinggi, sehingga pengadukan berlangsung lebih lama (Martines dan Flemings, 2003). Hasil proses *rheocasting* menggunakan kecepatan pengadukan yang sama dan divariasikan dengan bahan pengaduk yang berbeda dapat dilihat pada Gambar 4.5. Gambar 4.5 menunjukkan bahan pengaduk karbon menghasilkan faktor bentuk yang lebih besar dibanding bahan yang lain.

Karbon memiliki *konduktivitas thermal* yang kecil sehingga laju pendinginannya lambat, hal ini menyebabkan proses pengadukan berlangsung lebih lama yang membuat *globularisasi* lebih sempurna dibanding hasil *rheocasting* yang menggunakan bahan pengaduk baja dan tembaga yang memiliki *konduktivitas thermal* lebih tinggi. Faktor bentuk maksimal 0,666 dihasilkan dari *rheocasting* yang menggunakan bahan pengaduk karbon pada kecepatan putar 200 rpm pada daerah A. Sedangkan faktor bentuk minimal 0,487 pada daerah B dihasilkan dari pengadukan dengan kecepatan 100 rpm yang menggunakan bahan pengaduk tembaga.



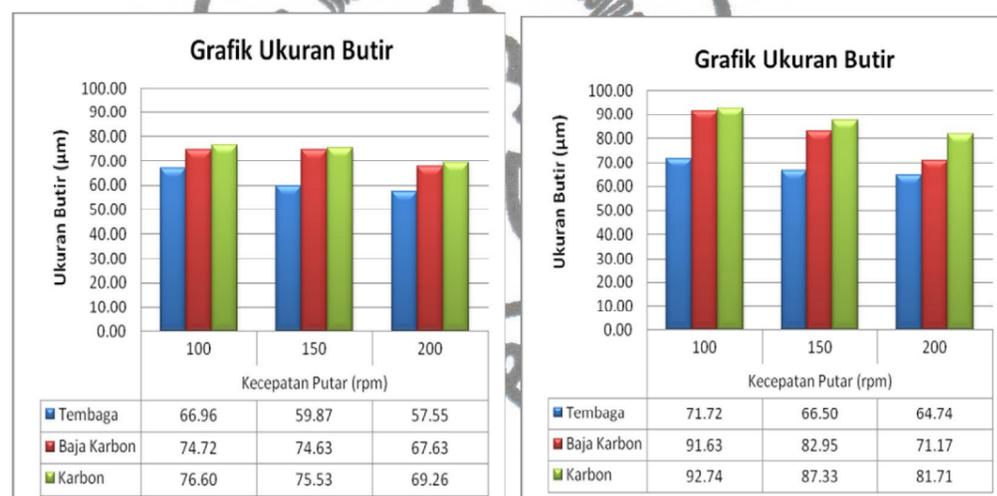
Gambar 4.5 Grafik nilai kebulatan, variasi kecepatan putar dan bahan pengaduk

Sifat *konduktivitas thermal* yang dimiliki tiap variasi bahan batang pengaduk berbeda-beda. Hal ini akan menyebabkan kemampuan menyerap panas yang akan berbeda, sehingga logam cair mengalami laju pendinginan yang berbeda pula. Laju pendinginan yang cepat ini menghasilkan ukuran butir α (Al) primer yang kecil karena waktu pertumbuhan butir sedikit (Flemings, M.C, 1991). Hasil penelitian menunjukkan bahwa bahan pengaduk karbon memiliki laju pendinginan yang paling kecil diantara bahan pengaduk karbon dan tembaga. Hal ini ditunjukkan pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Nilai laju pendinginan variasi batang pengaduk

Variasi Penelitian		Laju Pendinginan ($^{\circ}\text{C/s}$)
Bahan Pengaduk	Kecepatan Putar (rpm)	
Karbon	100	0.31
	150	0.35
	200	0.35
Baja Karbon	100	0.43
	150	0.47
	200	0.47
Tembaga	100	0.48
	150	0.54
	200	0.55

Gambar 4.6 menunjukkan hasil penelitian menggunakan bahan pengaduk karbon menghasilkan ukuran butir yang lebih besar dibanding lainnya. Hal ini disebabkan karena karbon memiliki *konduktivitas thermal* kecil, sehingga laju pendinginannya lambat. Laju pendinginan yang lambat akan memberikan kesempatan butir yang terbentuk semakin tumbuh membesar, sehingga ukuran butir yang terbentuk lebih besar/kasar.



a. Daerah sekeliling pengaduk b. Daerah bawah pengaduk

Gambar 4.6 Grafik ukuran butir variasi bahan pengaduk dan kecepatan putar (rpm)

Penelitian ini menghasilkan butir yang paling halus yaitu $57,55 \mu\text{m}$ yang dihasilkan pada kecepatan putar 200 rpm menggunakan bahan pengaduk tembaga. Sedangkan pada penelitian menggunakan bahan pengaduk karbon menghasilkan butir yang paling kasar yaitu $76,60 \mu\text{m}$ pada sekeliling pengaduk. Seperti yang telah dijelaskan pada bagian sebelumnya bahwa pengaduk karbon memiliki konduktivitas thermal yang paling kecil sehingga laju pendinginan lambat. Hal ini menyebabkan pertumbuhan butir berlangsung lebih lama (Flemings, M.C, 1991)



BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, pengujian dan analisa dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Nilai kebulatan maksimum 0.666 dihasilkan dari kecepatan pengadukan 200 rpm dengan menggunakan bahan karbon.
2. Ukuran butir terkecil yaitu 57.55 dihasilkan dari kecepatan pengadukan 200 rpm dengan menggunakan bahan tembaga.
3. Pengaduk karbon dengan konduktivitas thermal yang rendah mampu menghasilkan nilai kebulatan maksimum 0.666.
4. Ukuran butir yang kasar pada daerah sekeliling pengaduk yaitu 76.60 μm dihasilkan dari kecepatan pengadukan 200 rpm dengan menggunakan bahan karbon yang memiliki konduktivitas thermal rendah.

5.2 Saran

Berdasarkan pelaksanaan dan hasil penelitian dapat disarankan;

1. Melakukan penelitian terhadap paduan aluminium yang lain.
2. Melakukan penelitian terhadap variabel temperatur *quenching*.
3. Pengambilan gambar struktur mikro tidak dilakukan secara acak.