

**PENGARUH WAKTU PENGADUKAN Al-Mg-Si CAIR DENGAN
TUNGKU INDUKSI TERHADAP DENSITAS DAN GEOMETRI
PRODUK CORAN**

SKRIPSI

TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



FADIO ROMANZA PUTRA

NIM. 135060201111105

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG**

2017

LEMBAR PENGESAHAN
PENGARUH WAKTU PENGADUKAN Al-Mg-Si CAIR DENGAN
TUNGKU INDUKSI TERHADAP DENSITAS DAN GEOMETRI
PRODUK CORAN

SKRIPSI
TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



FADIO ROMANZA PUTRA
NIM. 135060201111057

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
pada tanggal 9 Agustus 2017

Dosen Pembimbing I

Dr. Ir. Wahyono Suprpto, MT.Met.
NIP. 19551117/198601 1 001

Dosen Pembimbing II

Dr. Femiana Gapsari M F, ST., MT.
NIP. 19820704 200812 2 002



Mengetahui,
Ketua Program Studi S1
Dr. Eng. Widya Wijayanti, ST., MT.
NIP. 19750802 199903 2 002

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

Sesungguhnya bersama kesukaran itu ada kemudahan.

Karena itu bila kau telah selesai (mengerjakan yang

lain) dan kepada Tuhan, berharaplah

(Q.S Al Insyirah: 6-8)

Cobalah untuk tidak menjadi

seorang yang “SUKSES”,

tapi jadilah seorang yang bernilai

(Albert Einstein)

Skripsi ini saya persembahkan kepada orang yang selalu mendukung, mendoakan, mengajarkan nilai-nilai kehidupan dan memberikan hal yang terbaik dalam hidup saya yaitu kedua orang tua saya Bapak Mudjianto dan Ibu Fadilah. Terima kasih atas segala yang telah diberikan untuk saya menjadi lebih baik lagi (penulis).

1 Agustus, 2017

Penulis

JUDUL SKRIPSI:

**PENGARUH WAKTU PENGADUKAN Al-Mg-Si CAIR DENGAN TUNGKU
INDUKSI TERHADAP DENSITAS DAN GEOMETRI PRODUK CORAN**

Nama Mahasiswa : Fadio Romanza Putra

NIM : 135060201111105

Program Studi : Teknik Mesin

Konsentrasi : Teknik Produksi

KOMISI PEMBIMBING:

Dosen Pembimbing I : Dr. Ir. Wahyono Suprpto, MT.Met.

Dosen Pembimbing II : Dr. Femiana Gapsari M F, ST., MT.

TIM DOSEN PENGUJI:

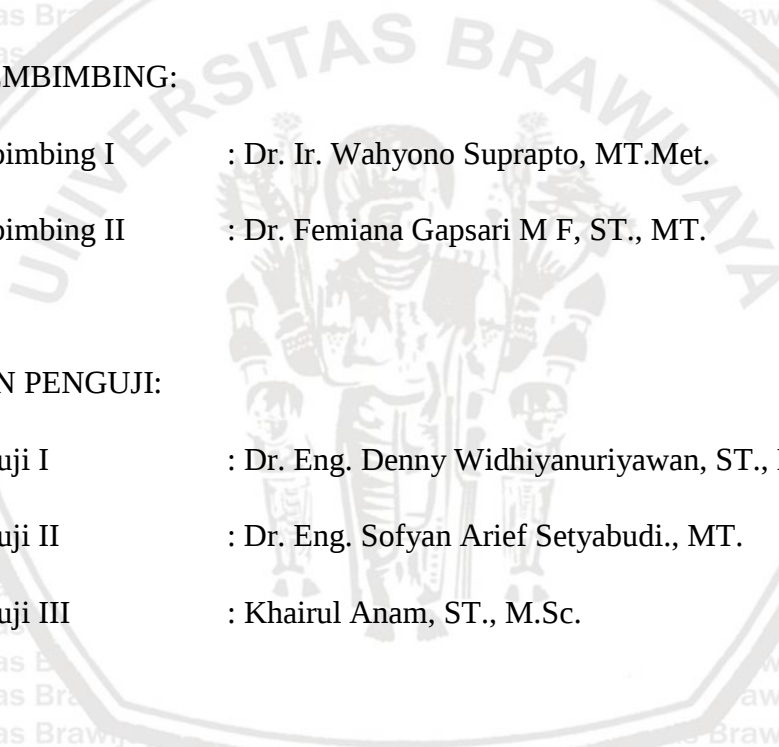
Dosen Penguji I : Dr. Eng. Denny Widhiyanuriyawan, ST., MT.

Dosen Penguji II : Dr. Eng. Sofyan Arief Setyabudi., MT.

Dosen Penguji III : Khairul Anam, ST., M.Sc.

Tanggal Ujian : 1 Agustus 2017

SK Penguji : 951/UN10.6/SK/2017



PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya, tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 8 Agustus 2017

Mahasiswa,



Fadio Romanza Putra

NIM. 135060201111105

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, berkah dan hidayahnya-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi dengan judul **“Pengaruh Waktu Pengadukan Al-Mg-Si Cair Dengan Tungku Induksi Terhadap Densitas dan Geometri Produk Coran”**, yang diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan akademik dalam memperoleh gelar Sarjana Teknik.

Pada kesempatan ini, Penulis tidak lupa mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Dr. Eng. Nurkholis Hamidi, ST., M. Eng, selaku ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang.
2. Bapak Purnami, ST., MT., selaku sekretaris Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang.
3. Ibu Dr. Eng. Widya Wijayanti, ST., MT. selaku Ketua Progam Studi S1 Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang.
4. Bapak Ir. Tjuk Oerbandono, MSc. selaku ketua Kelompok Konsentrasi Teknik Produksi Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
5. Bapak Dr. Ir. Wahyono Suprpto, MT. Met., selaku dosen pembimbing I yang telah banyak memberikan arahan, masukan, saran serta bimbingan selama penulisan skripsi ini.
6. Ibu Dr. Femiana Gapsari, ST., MT., selaku dosen pembimbing II yang telah banyak memberikan bimbingan, masukan dan saran yang sangat membantu dalam penulisan skripsi ini.
7. Bapak Rudianto Raharjo, ST., MT., selaku dosen pembimbing akademis, yang telah memberikan bimbingan, nasehat dan motivasi selama saya menuntut ilmu di Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang
8. Seluruh dosen dan staff administrasi Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna baik dari isi maupun format penulisan. Untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari semua pihak agar kedepannya menjadi lebih baik. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca, memunculkan ide baru dan dapat menjadi referensi untuk penelitian selanjutnya.

Malang, 1 Agustus 2017

Penulis



DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR LAMPIRAN	vii
RINGKASAN	viii
SUMMARY	ix
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Penelitian Sebelumnya	5
2.2 Aluminium	6
2.3 Paduan dan Klasifikasi Aluminium	7
2.3.1 Paduan Aluminium, Magensium dan Silikon	9
2.3.1.1 Karateristik Silikon terhadap Aluminium	10
2.3.1.2 Karakteristik Magnesium terhadap Aluminium	11
2.4 Sifat Mekanik Material	12
2.5 Proses Manufaktur	12
2.5.1 Pengecoran Cair	13
2.5.2 Pengecoran <i>Semisolid</i>	14
2.6 <i>Semisolid Rheocasting</i>	14
2.6.1 Parameter Pengecoran <i>Rheocasting</i>	15
2.7 Macam-macam Tungku	15
2.8 <i>Geometri</i> (Bentuk dan Dimensi)	17
2.9 Uji Kebulatan (Uji Roundness)	17
2.10 Solidifikasi Pada <i>Rheocasting</i>	19

2.11 Thixotropic (<i>Shear Thining</i>).....	20
2.12 Perubahan Fase Pada Pendinginan	20
2.13 Analisis Mikrostruktur Faktor Bentuk <i>Rheocasting</i>	21
2.14 Pengukuran Densitas	21
2.15 Hipotesis	22

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Metodologi Penelitian	23
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian	23
3.3 Variabel Penelitian.....	23
3.3.1 Variabel Bebas	23
3.3.2 Variabel Terikat	23
3.3.3 Variabel Terkontrol.....	24
3.4 Alat dan Bahan Penelitian.....	24
3.4.1 Alat.....	24
3.4.2 Bahan	28
3.5 Desain Benda Kerja.....	29
3.6 Skema Penelitian.....	29
3.7 Prosedur Penelitian.....	29
3.7.1 Prosedur Penelitian Pengukuran Geometri dan Uji <i>Roundness</i>	30
3.8 Diagram Alir Penelitian	31

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Data Geometri.....	33
4.2 Hasil Pengukuran Dimensi.....	33
4.3 Hasil Pengukuran Uji kebulatan.....	37
4.4 Data Hasil Perhitungan Densitas.....	38
4.5 Analisa Grafik	39
4.5.1 Grafik Hubungan Waktu Pengadukan Dengan Densitas Produk Coran.....	39
4.5.2 Grafik Hubungan Waktu Pengadukan Dengan Kebulatan Produk Coran	40

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan	41
5.2 Saran.....	42

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Sifat Fisik Alminium	7
Tabel 2.2	Sifat Mekanik Aluminium	7
Tabel 2.3	Sifat-sifat Mekanik Paduan Al-Mg ₂ Si.....	10
Tabel 2.4	Koefisien Kekentalan dan Tegangan Permukaan dari Cairan	13
Tabel 2.5	Macam-macam Tungku berserta Efisiensinya.....	17
Tabel 3.1	Rancangan Tabel Hasil Penelitian Densitas	31
Tabel 3.2	Rancangan Tabel Pengukuran Geometri	32
Tabel 3.3	Rancangan Tabel Hasil pengukuran kebulatan.....	32
Tabel 4.1	Perbandingan dimensi cetakan dengan dimensi rata-rata dari adanya waktu pengadukan dengan tanpa pengadukan	34
Tabel 4.2	Perbandingan dimensi cetakan dengan dimensi rata-rata dari adanya waktu pengadukan dengan tanpa pengadukan	36
Tabel 4.3	Hasil pengukuran diameter dalam maksimum dan diameter dalam minimum.....	37
Tabel 4.4	Hasil Pengujian Piknometri	40

DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	a) Mikrostruktur dari dendrit konvensional (b) Mikrostruktur dari rheocasting berbentuk agglomeration.....	5
Gambar 2.2	Diagram Fase Al-Mg ₂ -Si	10
Gambar 2.3	Diagram Fase Al-Si.....	11
Gambar 2.4	Proses <i>rheocasting</i>	14
Gambar 2.5	Grafik Polar dari Empat Jenis Lingkaran Referensi	18
Gambar 2.6	Diagram Fase Pada pendinginan.....	20
Gambar 3.1	Timbangan Elektrik	24
Gambar 3.2	<i>Infrared Thermometer</i>	24
Gambar 3.3	<i>Timer</i>	25
Gambar 3.4	Tungku Peleburan	25
Gambar 3.5	Alat Pengaduk.....	26
Gambar 3.6	Cetakan Pengecoran.....	26
Gambar 3.7	Hand Gloves.....	26
Gambar 3.8	Penggaris.....	27
Gambar 3.9	<i>Vernier Caliper</i>	27
Gambar 3.10	Kamera.....	27
Gambar 3.11	Laptop	28
Gambar 3.12	Alat Uji Pknometri.....	28
Gambar 3.13	Ingot Almuninium Al-Mg-Si	28
Gambar 3.14	Dimensi Pulley.....	29
Gambar 4.1	Pembagian Bagian Dimensi Pulley.....	33
Gambar 4.2	Grafik Polar Uji Kebulatan	37
Gambar 4.3	Hubungan Waktu Pengadukan Dengan Densitas Proudruk Coran	39
Gambar 4.4	Hubungan Waktu Pengadukan Dengan Kebulatan Produk Coran	40

DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul
Lampiran 1	Hasil foto mikro dari waktu pengadukan A) 10 detik B) 20 detik C) 40 detik D) 60 detik
Lampiran 2	Pengolahan Data Visual Uji Kebulatan A) Pengadukan 60s B) Pengadukan 40s C) Pengadukan 20s D) Pengadukan 10s
Lampiran 3	Skema Penelitian
Lampiran 4	Gambar Produk
Lampiran 5	Uji Komposisi
Lampiran 6	GAMBAR PULLEY
Lampiran 7	Perhitungan dimensi pulley dan belt



RINGKASAN

Fadio Romanza Putra, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Agustus 2017, *Pengaruh Waktu Pengadukan Al-Mg-Si Cair Dengan Tungku Induksi Terhadap Densitas dan Geometri Produk Coran*, Dosen Pembimbing: Wahyono Suprpto dan Femiana Gapsari.

Aluminium merupakan logam yang penting dalam dunia engineering, karena ini alasannya menempati posisi kedua setelah baja paduan. Komponen otomotif dengan paduan aluminium pada manufaktur otomotif kapasitas produksi terpasang mencapai 200.000 ton pertahun di Indonesia. Dikarenakan aluminium memiliki sifat tahan korosi, ringan tetapi memiliki kekuatan yang baik serta penghantar panas yang baik.

Aluminium pada produk otomotif sering menggunakan proses manufaktur dengan pengecoran logam. Akan tetapi pengecoran logam konvensional masih sering terjadi adanya cacat, salah satunya cacat geometri dikarenakan mampu tuang yang rendah. Didapatkan suatu metode untuk meningkatkan mampu tuang dengan menurunkan koefisien gesek logam yaitu metode *semisolid rheocasting*.

Dengan metode ini dapat menghasilkan bentuk butir yang globular dan semakin kecil seiring dengan pertambahan waktu pengadukan. Dengan menggunakan parameter kecepatan 2400rpm dan variabel bebas waktu pengadukan sebesar 10, 20, 40, 60detik. Didapatkan hasil seiring dengan meningkatnya waktu pengadukan densitas produk coran cenderung semakin tinggi, geometri semakin baik dan kebulatan benda kerja semakin baik.

Kata Kunci: *Rheocasting*, Aluminium, Al-Mg-Si, Densitas, Geometri, *Semisolid*

SUMMARY

Fadio Romanza Putra, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Brawijaya University, August 2017, *Effect of Time Stirring on Melting Al-Mg-Si Used Induction Furnace to The Density and Geometry of Cast Product*, Acedemic Supervisor: Wahyono Suprpto and Femiana Gapsari

Aluminium is an important metal in the world of engineering, because this is a reason the second position after alloy steel. Automotive components with aluminum alloy at automotive manufactured an installed production capacity of 200,000 tons per year in Indonesia. Because aluminum has properties corrosion-resistant, strenght to weight ratio and good heat conductor.

Aluminium on automotive products often uses a manufacturing process with metal casting. However, conventional metal casting is still often the case of defects, one example of a casting defect is a geometric defects due to low casting flow. Obtained a method to increase the casting capacity by lowering the frictionally coefficient of metal is the method of semisolid rheocasting.

With this method can produce globular grain shape and progressively smaller with the addition of stirring time. Using 2400rpm speed parameters and free variable stirring time of 10, 20, 40, 60seconds. The results obtained along with an increasing stirring density of casting products higher, geometry higher and better workpiece roundness.

Keywords: Rheocasting, Aluminium, Al-Mg-Si, Geometry, Semisolid

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Perkembangan industri manufaktur dari tahun ke tahun berkembang cukup pesat, salah satunya ada pada industri otomotif. Menurut kemenperin produk kendaraan bermotor baru, menandakan perkembangan positif industri dan investasi otomotif dalam beberapa tahun terakhir yang terus meningkat. Dalam perkembangannya, peningkatan terjadi dalam berbagai sektor salah satunya ada pada material. Menurut (Suharno, 2009) komponen otomotif dengan paduan aluminium, kapasitas produksi terpasang mencapai 200.000 ton pertahun diindonesia.

Aluminium merupakan logam yang penting dalam dunia *engineering*, Merupakan unsur logam kedua yang paling banyak di bumi menurut ASM Handbook vol 2. Logam ini tahan korosi, penghantar panas yang baik dan memiliki kekuatan yang baik dengan berat yang kecil. Aluminium terdiri dari banyak paduan untuk meningkatkan sifat mekaniknya, seperti Al-Si-Cu, Al-Si-Mg, Al-Mg dan sebagainya (Grand, 1991). Aluminium sering diproses dengan pengerjaan menggunakan proses pengecoran logam.

Pengecoran logam merupakan proses manufaktur yang paling tua dan sudah ditemukan 4000 SM dalam industri manufaktur yang masih digunakan sampai sekarang (Surdia, 1996). Proses ini diawali dengan mencairkan logam padat ,lalu dituang dan dicetak sehingga membentuk geometri yang sesuai dengan desain lalu logam cair dikeluarkan dalam rongga cetakan. Akan tetapi efisiensi dari proses pengecoran bisa dibilang kurang baik. Fenomena tersebut diakibatkan banyaknya cacat-cacat pengecoran yang dapat membuat efisiensi pengecoran menjadi kurang maksimal. Salah satu cacat pengecoran adalah cacat geometri (bentuk dan dimensi) yang diakibatkan karena mampu tuang yang rendah (Suprpto, 2011).

Untuk meminimalisir terjadinya cacat geometri pada produk coran adalah dengan menurunkan gesekan logam cair dengan rongga cetakan saat mengalir. Dengan merubahan struktur dendrit menjadi globular yang halus (Rusliadi, 2012) diharapkan mampu menurunkan gesekan logam cair pada saat penuangan kedalam rongga cetakan. Merubah bentuk dendrit yang halus salah satu cara yang digunakan adalah metode *rheocasting*. Metode ini memanaskan logam padat sampai titik leburnya sehingga menjadi fase cair,lalu diturunkan temperaturnya 25% dari temperatur titik lebur material untuk membentuk fase

setengah padat (*semisolid*) kemudian dituang kedalam cetakan. Reisi et al (2008) menggunakan metode pengadukan dengan kecepatan pengadukan 100rpm dapat merubah struktur dendrit menjadi non-dendritik (*globular*). Pengadukan digunakan untuk menurunkan suhu logam cair sehingga hasil dari logam cair tersebut menjadi lembut dan gaya gesek yang ditimbulkan lebih sedikit sehingga mampu alir meningkat dan diharapkan dapat membentuk geometri (bentuk dan dimensi) yang sesuai dengan desain (Suprpto, 2011). Metode ini diharapkan menambah kekuatan aluminium menjadi lebih baik dengan ukuran butir, penyebaran butir, dan kesempurnaan bentuk *globular*. Dengan meningkatnya mampu tuang tersebut diharapkan dapat meningkatkan keakuratan geometri produk coran.

Dengan penjelasan diatas menimbulkan sebuah gagasan untuk melakukan penelitian menggunakan metode *rheocasting* dengan memanfaatkan keunggulan dari pengadukan tersebut untuk memperkecil cacat geometri. Dengan menggunakan empat variasi lama pengadukan yaitu tanpa pengadukan 10 detik, 20 detik, 40 detik dan 60 detik. Diharapkan dapat membuat permukaan yang halus dan membentuk dendrit yang berbentuk *globular* atau (non-dendritik) sehingga meminimalisir terjadinya gesekan logam cair dengan cetakan dan dapat menghasilkan geometri produk coran yang semakin akurat.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang dalam penelitian ini adalah bagaimana pengaruh variasi kecepatan pengadukan Al-Mg-Si cair dalam tungku induksi terhadap densitas dan geometri produk coran.

1.3 Batasan Masalah

Agar pembahasan dalam penelitian ini mengarah, tentunya perlu ada batasan masalah. Permasalahan harus dilingkup dan dibatasi agar jelas. Batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Melihat nilai densitas dengan adanya efek putaran Al-Mg-Si.
2. Melihat geometri pada produk coran dengan adanya efek putaran Al-Mg-Si.
3. Melihat kebulatan produk coran dengan adanya efek putaran Al-Mg-Si.
4. Suhu lingkungan diabaikan.
5. Pengaduk terbuat dari *stainless steel*
6. Posisi pengadukan tegak lurus dengan logam cair.
7. Kecepatan penuangan dianggap sama.

1.4 Tujuan penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui bagaimana pengaruh variasi pengadukan Al-Mg-Si terhadap densitas produk coran.
2. Mengetahui bagaimana pengaruh variasi pengadukan Al-Mg-Si terhadap geometri (bentuk dan dimensi)
3. Mengetahui bagaimana pengaruh variasi pengadukan Al-Mg-Si terhadap tingkat kebulatan produk coran.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian yang penulis ajukan adalah:

1. Menambah ilmu dan pengetahuan terhadap penulis dan pembaca khususnya dalam penggunaan metode *semisolid rheocasting*.
2. Diharapkan menjadi alternatif dalam pengecoran mengenai *rheocasting* untuk meningkatkan kepresisian produk dan membentuk dendrit yang globular (non-dendintrik).
3. Dapat digunakan sebagai referensi untuk penelitian selanjutnya mengenai pengecoran terutama tentang variasi lama pengadukan *rheocasting* pada Al-Mg-Si

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



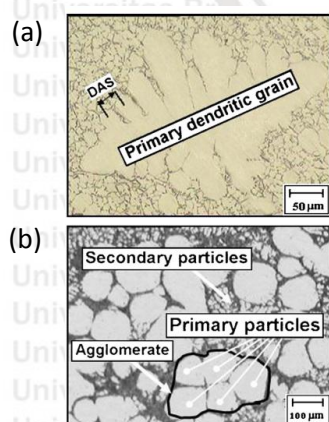
BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Menurut (Yue-long et al, 2009) dengan bertambahnya frekuensi pengadukan primer. Partikel aluminium menjadi lebih bulat dan halus, dan merata secara merata dalam matriks cair. Frekuensi pengadukan yang tinggi lebih mudah untuk mendapatkan struktur mikro semi padat yang bulat secara halus.

Menurut (Poddar et al, 2012) mikrostruktur pada pengecoran *rheocasting* menunjukkan bahwa fasa α -Mg utama adalah non-dendritik. Dan dapat berbentuk bulat dimana paduan *cast* Mg-Sn konvensional bersifat dendritik. Alhasil pengecoran dengan hasil mikrostruktur dari semua paduan *rheocasting* menunjukkan bahwa fase dapat berubah menjadi non-dendritik dan terdistribusi secara merata.

Meningkatnya waktu pengadukan melebihi tahap awal yaitu 0-80 detik dapat menghasilkan faktor bentuk *agglomerate* semakin meningkat menurut (Reisi et al, 2008). Struktur non dendritik atau struktur *globular* dapat dibentuk hanya dengan kecepatan pengadukan (rpm) yang singkat (100rpm) pada Al-Si dengan Si 7.1%. Dapat dilihat pada gambar 2.1 (a) memiliki hasil foto mikro bentuk dendrit dari pengecoran konvensional, dendrit tersebut memiliki lengan yang disebut DAS (*Dendrit Arm Spacing*). Pada gambar 2.1 (b) Hasil foto mikro dari pengecoran *semisolid rheocasting* yang berbentuk non-dendritik sehingga tidak memiliki DAS tetapi *agglomeration* yang tersusun oleh partikel utama dikarenakan adanya efek pengadukan yang membuat DAS akan terpotong.



Gambar 2.1 (a) Hasil foto mikro bentuk dendrit dari pengecoran konvensional (b) Hasil foto mikro dari pengecoran *semisolid rheocasting* yang berbentuk *agglomeration*.

Sumber: Reisi et al (2008, p.2)

Menurut (Shu-lin et al, 2010) non dendritik mikrostruktur dari paduan 5052 dapat diperoleh melalui proses *rheocasting* USV (*Ultrasonic Vibration*), dan *globular* partikel inti didistribusikan secara merata ke seluruh sampel *rheocasting*. Selain itu, diameter partikel α (Al) dalam *rheo-GC* (*Gravity Casting*) dan *rheo-HPDC* (*High-Pressure Die Casting*) masing-masing berukuran sekitar 140 μm dan 80 μm .

Berdasarkan penelitian sebelumnya diatas, dapat diambil kesimpulan bahwa dengan adanya variasi berupa kecepatan dan juga lama pengadukan. Menghasilkan produk yang halus dan lembut yang dapat menurunkan gesekan logam cair dengan cetakan dan menghasilkan mikrostruktur yang *agglomerate*.

2.2 Aluminium

Aluminium adalah logam yang sering digunakan dalam komponen mesin dikarenakan sifatnya yang tahan terhadap karat dan juga penghantar panas yang baik. Aluminium merupakan unsur paduan terbanyak nomer 2 di bumi (Rooy, 1995). Aluminium ditemukan tahun 1827 oleh Federick Wohler seorang ahli kimia dari Jerman. Aluminium terdiri dari *bauxite* [$(\text{AlFe})_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$] atau terbuat dari tanah liat tertentu [$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$] (Grand, 1991).

Pembuatan aluminium didasarkan pada proses Hall-Heroult, alumina halus dari *bauxite* larut pada penampungan *cryolite* dengan variasi pelarut *fluoride* dan ditambahkan dengan mengontrol suhu pada penampungan, massa jenis, resistivitas dan kelarutan alumina. Dan arus listrik dihantarkan pada penampungan untuk *electrolyze* kemudian alumina larut dengan oksigen pada pembentukan terjadi reaksi dengan karbon anode dan aluminium berkumpul pada logam *pad* katoda. Aluminium dapat dikatakan murni jika dalam kandungannya terdiri dari 99% hingga 99,9% serta massa jenis aluminium hanya 2,7 g/cm^3 (Rooy, 1995). Memiliki sifat ketahanan terhadap korosi, memiliki *strength to weight ratio* tinggi sebesar 115 kN.m/kg bahkan melebihi baja yaitu 46,5 kN.m/kg dan konduktivitas termal sebesar 200 $\text{J/m.s.}^\circ\text{C}$ lebih tinggi daripada baja yaitu 40 $\text{J/m.s.}^\circ\text{C}$. Ketahanan terhadap korosi didapatkan karena aluminium termasuk logam yang reaktif sehingga mudah teroksidasi dengan oksigen membentuk lapisan aluminium oksida, alumina (Al_2O_3) yang memiliki ketebalan 10^{-8} meter sehingga tidak tembus oleh air. Selain itu aluminium memiliki sifat mekanik dan sifat fisik. Sifat fisik menjelaskan nilai titik leburnya, warna, struktur mikro dll. Sedangkan sifat mekanik menjelaskan kekuatan benda tersebut. Berikut merupakan tabel 2.1 sifat fisik dan tabel 2.2 sifat mekanik aluminium.

Tabel 2.1
Sifat Fisik Aluminium

Sifat -Sifat	Kemurnian Al (%)	
	99,9	>99,0
Massa Jenis (20°C)	2,6989	2,71
Titik Cair	660,2	653-657
Panas jenis (cal/g°C) (100°C)	0,2226	0,2297
Hantaran listrik (%)	69,94	59 (dianil)
Tahanan listrik koefisien temperatur (/°C)	0,00429	0,0115
Koefisien pemuaian (20-100°C)	$23,86 \times 10^{-6}$	$23,5 \times 10^{-6}$
Jenis Kristal, konstanta kisi	$f_{cc}, a = 4,013kX$	$f_{cc}, a = 4,04kX$

Sumber: Surdia dan Saito (2000, P.134).

Tabel 2.2
Sifat Mekanik Aluminium

Sifat-sifat	Kemurnian Al (%)			
	99,996		>99,0	
	Dainil	75% dirol dingin	Dianil	H18
Kekuatan Tarik (kg/mm ²)	4,9	11,6	9,3	16,9
Kekuatan Mulur	1,3	11,0	3,5	14,8
Perpanjangan (%)	48,8	5,5	35	5
Brinell Kekerasan	17	27	23	44

Sumber: Surdia dan Saito (2000, P.134).

2.3 Paduan dan Klasifikasi Aluminium

Untuk memperbaiki sifat-sifat pada aluminium murni yaitu dengan menambahkan unsur-unsur lain. Contoh pertama adalah aluminium dengan silikon (Al-Si) aluminium menggunakan tambahan silikon sebesar 12% yang memiliki mampu cor yang baik. Kedua adalah aluminium dengan tembaga (Al-Si-Cu) yang memiliki sifat-sifat mekanik dan mampu mesin yang baik. Ketiga aluminium dengan magnesium dimana sifat tahan korosi didapatkan dengan adanya kadar magnesium dalam aluminium. Berikutnya yang keempat aluminium dengan silikon dan magnesium (Al-Si-Mg) jika magnesium sedikit ditambahkan kepada Al, pengerasan dan penuaan sangat jarang terjadi. Tetapi apabila secara simultan mengandung silikon, maka dapat dikeraskan dengan penuaan panas setelah perlakuan pelarutan. (Surdia dan Chijiwa, 1996). Aluminium dapat diklasifikasikan menjadi dua yaitu *Wrought Aluminum Alloys* dan *Cast Aluminum Alloys*.

Perbedaan paduan aluminium serta klasifikasinya tersebut dapat dibedakan melalui nomer seri yang diberikan seperti berikut:

1. Wrought Aluminum Alloys

- a) 1xxx = Aluminium Murni tanpa paduan
- b) 2xxx = Paduan dengan tembaga, tetapi terkadang masih ditemukan unsur lain terutama magnesium
- c) 3xxx = Paduan utamanya dengan mangan
- d) 4xxx = Paduan utamanya dengan silikon
- e) 5xxx = Paduan utamanya dengan magnesium
- f) 6xxx = Paduan utamanya dengan magnesium dan silikon
- g) 7xxx = Paduan utamanya *zinc*, tetapi terkadang masih ditemukan unsur lain seperti tembaga, magnesium, *chromium* dan *zincromium*
- h) 8xxx = Paduan dengan tin dan lithium
- i) 9xxx = Digunakan untuk masa depan (belum ditemukan)

Cara pembacaan:

1. Angka pertama menunjukkan jenis – jenis unsur paduan yang terdapat pada logam aluminium.
2. Angka kedua menunjukkan sifat khusus misalnya angka kedua menunjukkan bilangan nol (0) maka tidak memerlukan perhatian khusus dan jika angka kedua menunjukkan angka satu (1) sampai dengan sembilan (9) memerlukan perhatian khusus.
3. Dua angka terakhir tidak mempunyai pengertian, tetapi hanya menunjukkan modifikasi dari paduan dalam perdagangan.

2. Cast Aluminum Alloys

- a) 1xx.x = Aluminium Murni tanpa paduan digunakan dalam pembuatan rotor
- b) 2xx.x = Paduan dengan tembaga, tetapi terkadang masih ditemukan unsur lain terutama magnesium
- c) 3xx.x = Paduan utamanya dengan mangan
- d) 4xx.x = Paduan utamanya dengan silikon
- e) 5xx.x = Paduan utamanya dengan magnesium
- f) 6xx.x = Paduan utamanya dengan magnesium dan silikon
- g) 7xx.x = Paduan utamanya *zinc*, tetapi terkadang masih ditemukan unsur lain seperti tembaga, magnesium, *chromium* dan *zincromium*

- h) $8xx.x$ = Paduan dengan tin dan lithium
- i) $9xx.x$ = Belum digunakan

Cara pembacaan:

1. Angka pertama menunjukkan jenis – jenis unsur paduan yang terdapat pada logam aluminium.
2. Angka kedua menunjukkan sifat khusus misalnya angka kedua menunjukkan bilangan nol (0) maka tidak memerlukan perhatian khusus dan jika angka kedua menunjukkan angka satu (1) sampai dengan sembilan (9) memerlukan perhatian khusus.
3. Dua angka terakhir tidak mempunyai pengertian, tetapi hanya menunjukkan modifikasi dari paduan dalam perdagangan.

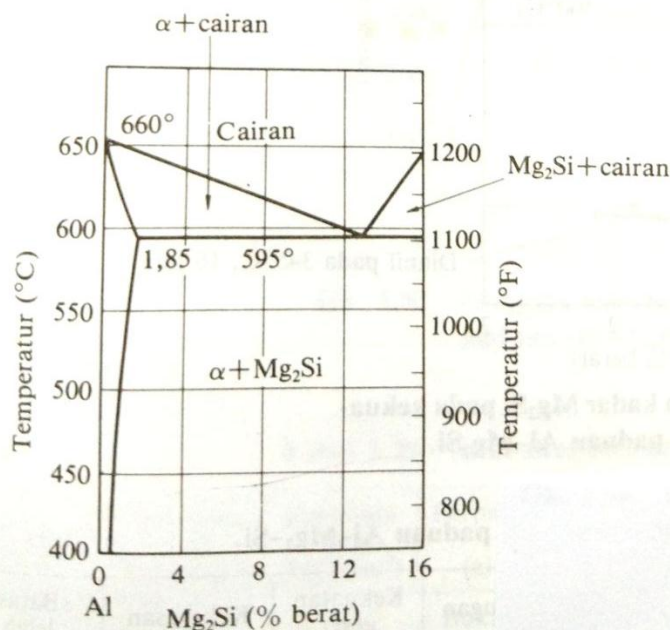
2.3.1 Paduan Aluminium, Magnesium dan Silikon

Paduan aluminium, magnesium dan silikon memiliki sifat liat, memiliki kemampuan bentuk yang baik untuk ekstrusi, dan tahan korosi. Jika 2-3% Mg ditambahkan ke Al maka penguatan dan penuaan sangat jarang terjadi dan apabila secara simultan mengandung Si, maka dapat dikeraskan dengan penuruan panas setelah perlakuan pada pelarutan. Hal ini disebabkan karena senyawa Mg_2Si berkelakuan sebagai komponen yang murni dan membuat keseimbangan dari sistem biner semu dengan Al. Hal tersebut menghasilkan diagram fase biner paduan Al- Mg_2Si yang berasal dari kelarutan yang menurun dari Mg_2Si terhadap larutan padat Al dari temperatur leburnya $660^{\circ}C$ ke temperatur yang lebih rendah dibawah $660^{\circ}C$ dapat dilihat diagram fasenya pada gambar 2.2 (Surdia dan Saito, 2000). Dari pembahasan diatas dapat menghasilkan nilai sifat-sifat mekanik dari paduan Al- Mg_2Si pada tabel 2.3.

Tabel 2.3
Sifat-sifat mekanik paduan Al-Mg₂Si

Paduan	Keadaa n	Kekuatan Tarik (kgf/mm ²)	Kekuatan Mulur (kgf/mm ²)	Perpanjangan (%)	Kekuatan Geser (kgf/mm ²)	Kekerasa n Brinell	Batas lelah (kgf/mm ²)
6061	O	12,6	5,6	30	8,4	31	6,3
	T4	24,6	14,8	28	16,9	65	9,5
	T6	31,6	28,0	15	21,0	95	9,5
6063	T5	19,0	14,8	12	11,9	60	6,7
	T6	24,6	21,8	12	15,5	73	6,7
	T83	26,0	24,6	11	15,5	82	-

Sumber : Surdia dan Saito (2000, p.140)



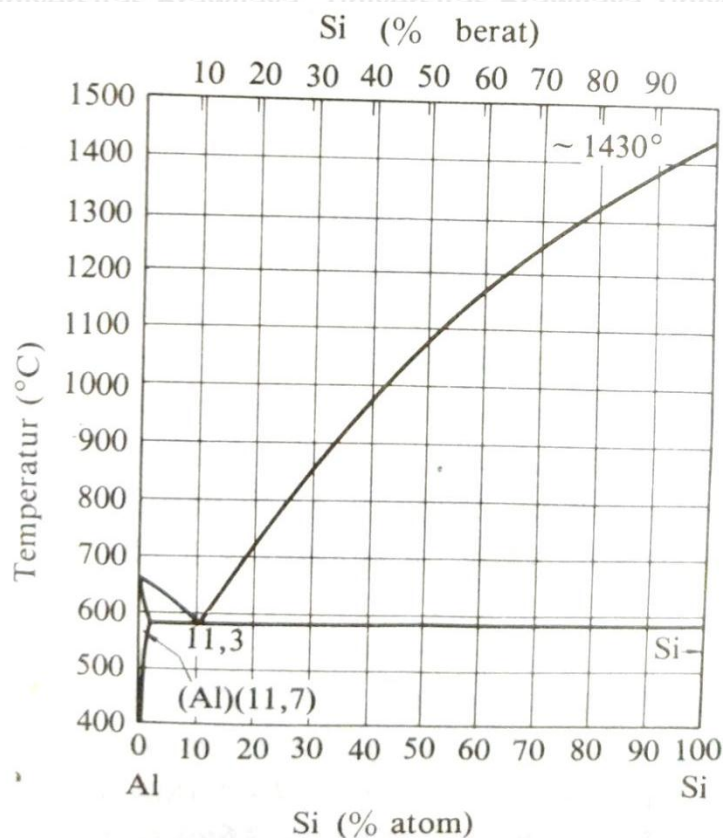
Gambar 2.2 Diagram Fase Al-Mg₂Si

Sumber: Surdia dan Saito. (2000, p.139).

2.3.1.1 Karakteristik Silikon terhadap Aluminium

Silikon merupakan paduan yang sering digunakan pada aluminium. Dikarenakan silikon dapat meningkatkan karakteristik dari pengecoran tersebut, seperti peningkatan pada mampu alir (*fluidity*). Jika aluminium dipadukan dengan silikon dapat menghasilkan paduan yang memiliki mampu cor yang baik ketahanan terhadap retak panas dan *feeding*

characteristic (Kurniawan, 2008). Berikut efek penambahan %Si terhadap diagram fase Al-Si pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Diagram fase Al-Si
Sumber: Surdia dan Saito (2000,p.137)

Dari diagram diatas dapat dilihat memiliki titik eutektik pada 577°C pada persen Si 11,7%. Pada pengaplikasiannya adalah bagian-bagian mesin dengan bentuk yang rumit. Tetapi logam yang memiliki mampu cor yang baik mempunyai sifat mekanis yang buruk karena memiliki butir-butir silikon yang besar (Surdia dan Chijiwa, 1996).

2.3.1.2 Karakteristik Magnesium terhadap Aluminium

Magnesium merupakan unsur yang dapat meningkatkan kekuatan, kekerasan pada paduan dan memiliki ketahanan korosi yang baik. Sebelum adanya paduan aluminium, magnesium dan silikon, Aluminium ini hanya berikatan dengan silikon yang memiliki mampu cor yang baik. Kemudian diperbaiki sifat-sifat mekaniknya dengan menambahkan magnesium, Paduan aluminium dengan Si 7-9% dan Mg 0,3-1,7% dikeraskan dengan cara

partikel-partikel murni aluminium didistribusikan ke seluruh logam dengan metode presipitasi.

Paduan aluminium dengan magnesium dapat disebut hidronalium dan dikenal sebagai paduan tahan korosi. Dengan kadar Mg 2-3% pada paduan 5052 memiliki sifat mudah untuk ditempa dan dirol. Paduan aluminium dengan mangensium ini akan membentuk Al_3Mg_2 , memiliki bentuk kristal yang hexagonal susunan rapat (HCP).

2.4 Sifat Mekanik Material

Sifat mekanik material menggambarkan sifat kemampuan material jika diberi pembebanan hingga terjadinya deformasi plastis. Dalam mencari sifat mekanik yang baik maka dibutuhkan prototype yang sesuai desain dan diberikan pembebanan yang sebenarnya. Berikut merupakan macam-macam sifat mekanik material:

1. Kekuatan (*strenght*) adalah kemampuan material untuk mempertahankan bentuk setelah diberi beban atau tegangan tanpa terdeformasi. Semakin besar beban yang dapat diterima oleh material maka benda tersebut dikatakan memiliki kekuatan yang tinggi.
2. Kekerasan (*hardness*) adalah kekuatan material terhadap goresan karena indentasi, pengikisan dan deformasi plastis terjadi pada saat berkontak dengan indenter yang diberi beban. Bila suatu material diindentasi maka yang akan menerima beban adalah bagian permukaannya saja bukan keseluruhannya.
3. Ketangguhan (*toughness*) adalah kemampuan material atau bahan untuk menyerap energi dalam zona plastis ketika menerima beban sampai terjadinya patah atau rusak.
4. Keuletan (*ductility*) merupakan suatu sifat kemampuan material untuk menerima tegangan hingga terjadi deformasi plastis sebelum patah.

2.5 Proses Manufaktur

Proses manufaktur adalah proses membuat benda yang pada awalnya tidak mempunyai nilai guna atau manfaat dapat diproses menjadi barang yang jadi atau barang setengah jadi yang dapat dilanjutkan oleh proses permesianan. Manufaktur sendiri terdiri dari banyak proses yaitu proses permesinan (*Machining*), proses pengecoran (*Casting*) dan lain-lain.

Proses pengecoran sendiri memiliki keuntungan yang cukup luas. Yaitu dapat membentuk benda dengan tingkat kerumitan yang cukup tinggi, dapat membuat benda dengan volume yang tinggi dan memiliki berat benda yang tinggi pula serta masih banyak

yang lain. Pengecoran sendiri merupakan metode yang sudah lama digunakan bahkan hingga beribu-ribu tahun sebelum masehi (Surdia dan Chijiwa, 1996). Dengan cukup lamanya metode pengecoran ini maka variasi yang dihasilkan semakin banyak, sehingga pengecoran logam itu sendiri dapat diklasifikasikan lagi menjadi pengecoran cair dan pengecoran *semisolid*.

2.5.1 Pengecoran Cair

Adalah proses pembentukan dari padat lalu dipanaskan hingga mencapai temperature *liquidus* dari bahan bahkan lebih lalu dituang kedalam cetakan hingga membeku. Pengecoran cair baik digunakan jika kita memiliki bentuk cetakan yang rumit serta sistem saluran yang rumit juga, dikarenakan mampu alir logam cair tinggi sehingga dapat meminimalisir terjadinya solidifikasi dini didalam rongga cetakan.

Aliran logam cair dapat dipengaruhi oleh kekentalan logam cair, pada temperatur tinggi maka kekentalan menjadi lebih rendah. Kekentalan sendiri tergantung dari jenis logamnya. Beberapa logam memiliki kekentalan yang sama atau sedikit lebih rendah dari kekentalan air contohnya aluminium (Surdia dan Chijiwa, 1996). Berikut merupakan tabel 2.4 koefisien kekentalan dan tegangan permukaan dari logam.

Tabel 2.4

Koefisien kekentalan dan tegangan permukaan dari cairan

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

Sumber: Surdia dan Chijiwa. (1991, p.12).

2.5.2 Pengecoran *Semisolid*

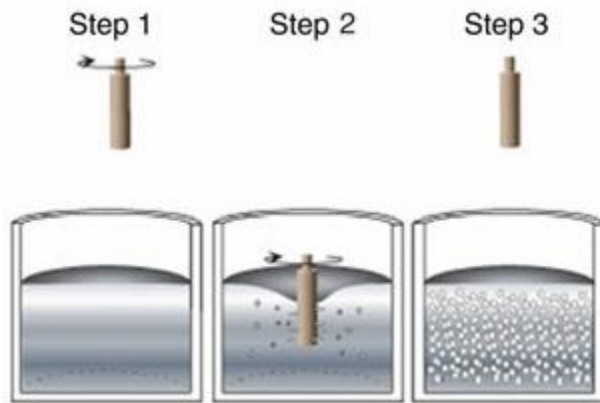
Pengecoran *semisolid* dapat diklasifikasikan menjadi 2 yaitu *rheocasting* dan *thixoforming*. Yang berbeda dari keduanya adalah pada temperatur, dimana pada *rheocasting* temperatur *semisolid* berada pada 75% dari titik leburnya. Sedangkan pada *thixoforming* berada pada 25% dari titik leburnya. Teknik pengecoran tersebut merupakan teknik pembuatan antara teknik pengecoran dan teknik pembentukan logam. Tetapi dapat juga dikatakan sebagai pengembangan pengecoran cetak (*die casting*).

Dalam teknik pengecoran cairan logam kental dipergunakan sifat tiksotropik bahan logam yang berbentuk bubuk/*slurry*, yaitu viskositasnya sangat menurun dengan meningkatnya laju geseran yang juga tergantung pada waktu. *Slurry* logam ini sebagai bahan pengganti logam cair yang diproses benda coran dalam mesin cor cetak. *Slurry* logam itu sendiri dibuat dengan jalan memutar logam cair yang sedang membeku sehingga terjadi geseran yang mengakibatkan agitasi terhadap terjadinya butir-butir dendrit.

2.6 *Semisolid Rheocasting* (SSR)

Semisolid rheocasting (SSR) merupakan pendekatan baru pada pembentukan logam cair berbentuk *slurry*, dengan menggunakan gaya geser dimana munculnya nukleasi disebabkan oleh penyerapan panas intern (pemasukan bahan baku sampai mencair). Hasil dari komponen cor tersebut terutama ditentukan oleh fraksi solid, ukuran partikel, bentuk faktor, kedekatan dan kontinuitas fase.

Semisolid rheocasting (SSR) adalah proses pembentukan dari bahan mentah yang dipanaskan hingga mencapai temperatur titik leburnya lalu dilakukan proses *stirring* terhadap logam cair hingga temperaturnya turun 25% dari titik leburnya dan dituangkan dalam cetakan. Menurut (Rusliadi, 2012) metode pengecoran *semisolid* ini baik digunakan dalam menurunkan tingkat porositas dalam suatu benda dan dapat menyeragamkan bentuk butir sehingga dapat menciptakan bentuk dendrit yang *globular* dan memiliki permukaan yang halus karena berbentuk *slurry* sehingga dapat menurunkan koefisien gesek terhadap cetakan. Metode *rheocasting* memiliki 3 tahap yang pertama logam cair dipanaskan hingga titik leburnya, tahap kedua dilakukan proses pengadukan sampai suhu terdapat pada daerah *semisolid*, tahap ketiga logam cair memiliki bentuk *slurry* lalu dituang pada rongga cetakan. Proses *rheocasting* tersebut dapat dilihat pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Proses rheocasting

Sumber: Nafisi dan Ghomashchi (2016, p.23)

2.6.1 Parameter Pengecoran Rheocasting

Semisolid Rheocasting (SSR) dengan metode menggunakan pengaduk memiliki parameter-parameter yang berpengaruh terhadap hasil produk coran. Parameter tersebut meliputi kecepatan pengadukan, waktu pengadukan dan temperatur tuang logam cair. Seperti variasi yang dilakukan pada para peneliti berikut ini.

Menurut (Reisi et al, 2008) dengan peningkatan parameter sedikit saja sudah dapat merubah struktur dendrit menjadi non dendritik, Jika kecepatan besar dan diimbangi dengan waktu pengadukan yang semakin lama akan menyebabkan faktor bentuk mikrostruktur dari produk berbentuk *agglomerate*. Semakin lama waktu pengadukan faktor bentuk *agglomerate* akan semakin tinggi.

2.7 Macam-Macam tungku

Tungku merupakan alat dari pengecoran logam yang bertujuan untuk merubah bahan baku dari padat menjadi cair dengan menggunakan energi panas hingga titik lebur bahan baku. Energi tersebut dapat diartikan sebagai efisiensi *thermal*, tungku menunjukkan kemampuan melebur aluminium berdasarkan perbandingan antara banyaknya energi yang diperlukan untuk melebur aluminium dengan energi yang dihasilkan tungku dengan mempertimbangkan energi yang hilang. Tungku sangatlah penting pada proses pengecoran logam dikarenakan dapat mempengaruhi efisiensi pengecoran serta bentuk dan dimensi produk kerja nantinya. Berikut merupakan macam-macam tungku untuk pengecoran:

1. Tungku *crucible* berkerja dengan bahan bakar yang dicampur dengan udara dan dimasukan kedalam tungku dengan membentuk tangen sudut sehingga api berbentuk

cone akan berputar mengelilingi *crucible* dan bergerak keatas dari tungku. Tungku ini dapat digunakan untuk pengecoran 2 ton logam.

2. Tungku cupola berkerja dengan menggunakan api digunakan langsung untuk meleburkan logam dengan panas konduksi, konveksi, dan radiasi. Komponen utamanya adalah pipa baja yang tingginya mencapai 7-12m dan berdiameter 30-125 cm. Kelebihan dari alat ini adalah mudah dioperasikan, logam mencair dengan cepat, lebih ekonomis. Kekurangannya adalah pengaturan dan control komposisi kimia dan sifat mekaniknya sangat sulit dilakukan.
3. Tungku listrik berkerja dengan mendapatkan sumber panas dari enegi listrik karena tahanan. Hal ini dapat mengurangi adanya bahan-bahan pengotor dan dapat menjaga kemurnian dari bahan baku.
4. Tungku Tahanan Listrik (TTL) terdiri dari supply daya, resistor, isolator untuk resistor, *shell* luar, dan batu tahan api. TTL langsung digunakan untuk proses peleburan, arus mengalir secara langsung ke material dari elektroda yang ujung-ujung kontak dengan material yang akan dilebur. Tungku ini dapat dibagi menjadi 2 yaitu TTL menggunakan tahanan tidak langsung dan TTL tahanan batang.
5. Tungku Busur Listrik (TBL) berkerja dengan menghasilkan panas dari busur diantaranya elektroda dan material yang akan dilebur. Mempunyai efisiensi termal yang tinggi, pemanasannya cepat, pengaturan temperaturnya tepat (tertutup), dan control atmosfer yang baik.
6. Tungku Induksi prinsip kerjanya adalah merubah energi listrik ke energi panas dengan arus bolak-balik serta arus eddy dalam material magnetik lalu melewati coil atau kumparan yang menghasilkan medan magnet sehingga dapat menghasilkan panas. Tungku induksi adalah salah satu tungku peleburan logam. Tungku ini digunakan untuk meleburkan logam padat menjadi logam cair. Tungku induksi termasuk dalam klasifikasi *melting furnace*.
7. Tungku *Open-Heart* merupakan tungku regeneratif dan pantulan lidah api langsung yang mempunyai kapasitas 350 ton. Logam *ferrous* yang dihasilkan asam atau basa tergantung pada dinding refraktorinya. Api dalam tungku langsung mengarahke logam yang berada dalam tempat penampungan.

Dan berikut merupakan tabel macam-macam tungku dan efisiensinya:

Tabel 2.5
Macam-macam tungku dan efisiensinya

Jenis Tungku	Sumber Energi		Logam Hilang	Efisiensi	
	Gas	Elektrik		Panas	Laju Panas
Crucible (gas)	X		4-6%	7-19	Poor
Cupola	X		3-12%	40-50%	Good
Reverberatory	X		3-7%	30-45%	Fair to Good
Rotary	X		-	35%	Fair
Stack Melter	X		1-2%	40-45%	Good
Direct Arc		X	5-8%	35-45%	Fair to good
Induction		X	0,75(Al)-3%	50-76%	Good Excellent
Reverberatory		X	1-3%	59-76%	Excellent

Sumber: <http://www.mntap.umn.edu> (2011).

2.8 Geometri (Bentuk dan Dimensi)

Geometri (bentuk dan dimensi) merupakan hal yang terpenting pada pengecoran. Hasil dapat terbilang baik ketika hasil produk coran sama dengan cetakannya. Banyak komponen-komponen yang sangat membutuhkan keakurasian dan presisi yang tinggi. Dalam mencapai hal itu banyak faktor yang mempengaruhi seperti temperatur penuangan, fluiditas, soldifikasi dll.

Kesalahan geometri dapat dikategorikan ada 4 yaitu ukuran (*dimention*), bentuk (*form*), posisi (*position*), kehalusan dan kekesaran (*smoothness and roughness*). Geometri dianggap presisi adalah ketika 4 karakteristik diatas dapat terpenuhi. Bannyaknya faktor dalam pengecoran yang membuat produk jauh dari geometri yang sesuai.

2.9 Uji Kebulatan (*Roundness Tester*)

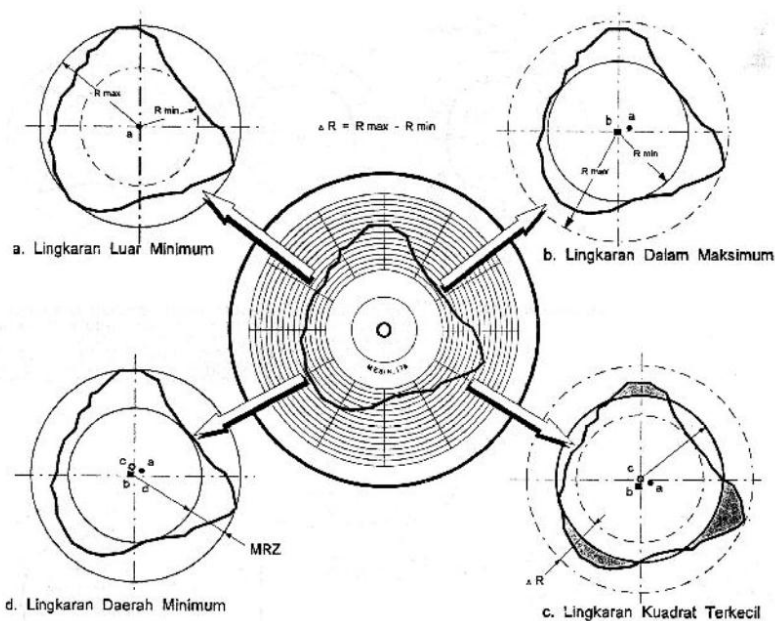
Kebulatan merupakan suatu profil bisa dikatakan bulat sempurna bila jarak titik-titik yang terdapat pada bentuk geometrik tersebut memiliki jarak yang sama terhadap sebuah titik yang disebut dengan titik pusat (Yanis, 2010). Suatu profil kebulatan dikatakan tidak bulat sempurna jika terjadi ketidak bulatan yang ditanda dengan adanya perbedaan jarak antara titik-titik pada bentuk geometrik tersebut terhadap titik pusatnya.

Kebulatan (*roundness*) merupakan kondisi dari suatu permukaan suatu benda dengan penampang yang berbentuk lingkaran (silinder, konis dan bola), dimana semua titik-titik dari permukaan yang dipotong oleh bidang apapun yang tegak lurus terhadap sumbu

(silinder dan konis) atau yang melalui pusat (bola) mempunyai jarak yang sama dari titik pusat. Toleransi kebulatan menunjukkan daerah toleransi yang dibatasi oleh dua lingkaran konsentris, dimana setiap elemen dari lingkaran harus berada pada bagian tersebut (Hill, 1969). Menurut (Rochim, 2001) Kebulatan adalah suatu harga yang dapat dihitung berdasarkan profil kebulatan relatif terhadap lingkaran referensinya. Dengan mengikuti standart terdapat 4 macam lingkaran referensi yaitu

1. Lingkaran luar minimum (*minimum circumscribed circle*) adalah metode yang digunakan untuk menghitung lingkaran standar dengan cara mengetahui jari-jari minimum yang menutupi profil data.
2. Lingkaran dalam maksimum (*maximum inscribed circle*) adalah metode yang digunakan untuk menghitung lingkaran standar dengan cara mengetahui jari-jari maksimum yang ditutupi oleh profil data.
3. Lingkaran daerah minimum (*minimum zone circle*) adalah metode yang digunakan untuk menghitung dua lingkaran konsentrik yang menutupi profil dengan cara mengetahui data seperti pemisah arah minimum.
4. Lingkaran kuadrat terkecil (*least squares circle*) adalah metode yang digunakan untuk menghitung luas daerah yang tertutup oleh profil sama dengan luas daerah yang berada pada luar.

Dari 4 pengertian diatas dapat digambarkan hasil seperti dibawah ini.



Gambar 2.5 Grafik Polar dari empat jenis lingkaran referensi

Sumber: Yanis (2010, p.53)

Dari keempat jenis lingkaran referensi tersebut, merupakan pengukuran tanpa diketahuinya titik tengah pada benda kerja. Penentuan titik tengah dilakukan dengan cara pendekatan pada setiap referensinya. Menurut (Rochim, 2001) nilai kebulatan sendiri dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\Delta R = R_{\max} - R_{\min} \dots\dots\dots (2-1)$$

Dengan:

ΔR = Nilai kebulatan

$R_{\max}$ = Nilai terluar

$R_{\min}$ = Nilai terdalam

2.10 Solidifikasi Pada *Rheocasting*

Solidifikasi adalah proses pembekuan suatu logam dengan melewati tahap atom menjadi inti atom (nukleasi), mulai berikatan terjadi kristalisasi lalu menjadi dendrit sehingga memiliki butir dan batas butir. Pada proses *rheocasting* mengalami perbedaan ketika logam cair mengalami penurunan temperatur proses kristalisasi akan teragalkan, dikarenakan adanya gesekan dari proses stirring. Oleh karena itu proses pembekuan pada *rheocasting* lebih lama dari pengecoran konvensional. Selain itu struktur kristal logam juga dapat berpengaruh perpindahan dari atom, dimana struktur kristal ada tiga yaitu FCC (*Face-Centered Cubic*), BCC (*Body-Centered Cubic*) dan HCP (*Hexagonal Closed Packed*). Struktur FCC memiliki atom-atom yang mudah berpindah dikarenakan terdapat atom pada pusat semua sisi kubus dan sebuah atom pada setiap titik sudut kubus yang berkebalikan dengan struktur BCC dan HCP. Struktur FCC sendiri ada pada aluminium.

Untuk mendapatkan karakteristik yang baik dari logam aluminium yaitu antara kekuatan dan keuletan pada aluminium tuang, Struktur mikro yang harus dimiliki harus halus dan berbentuk *equiaxed*. Penghalusan butir dapat dilakukan dengan berbagai cara yaitu dengan komposisi paduan, kecepatan pembekuan, penambahan penghalus butir dan diaduk (Harion, 2008).

Pembentukan fraksi padat dimulai dari dinding cetakan yaitu zona chill dan akan membentuk zona kolumnar. Selama terjadi pertumbuhan zona kolumnar dapat dibedakan menjadi tiga daerah fase cair, fase cair dengan fase padat dan fase padat, daerah ini disebut juga sebagai *musy zone*. *Musy zone* dapat menentukan karakteristik dari struktur mikro seperti kerapatan, bentuk, ukuran, distribusi konsentrasi persipitat dan pori-pori. Serta zona kolumnar yang terletak pada bagian dalam, mempunyai bentuk butir yang sama.

2.11 Thixotropic (*Shear Thining*)

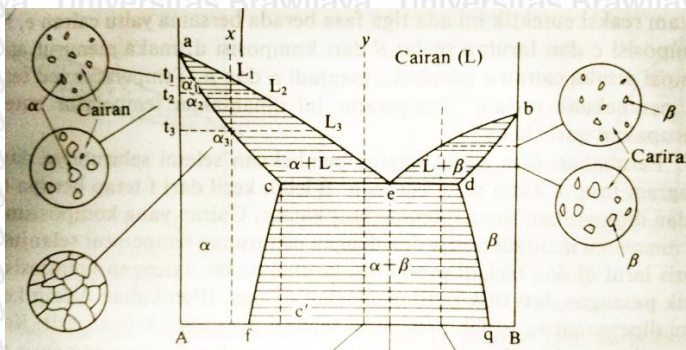
Adalah fenomena apabila fluida cair yang memiliki viskositas diberi gaya akan menurunkan viskositasnya. Fluida cair seolah-olah viskositas semakin lama semakin berkurang walaupun tegangan gesernya tetap. Viskositas yang semakin berkurang akan meningkatkan kemampuan alir suatu fluida. Fenomena thixotropik ini ada pada pengecoran rheocasting, Dimana suhu yang semakin turun akan meningkatkan viskositasnya dikarenakan logam akan menuju ke fase padatnya. Tetapi dengan efek pengadukan pada rheocasting, seiring dengan penurunan suhu peningkatan viskositas pada logam cair tidak terjadi dikarenakan panas yang merata dan proses perbuahan fase menuju padat digagalkan dengan adanya efek stirring.

Dalam produk coran hal tersebut sangatlah baik untuk meningkatkan kualitas dari produk coran. Dari mampu tuang yang semakin baik akan membuat produk coran memiliki geometri yang baik. Dikarenakan mampu mengisi rongga cetakan secara seutuhnya.

2.12 Perubahan Fase Pada Pendinginan

Perubahan fase pada pendinginan paduan logam dapat diartikan dengan $\alpha + \beta$, dimana α adalah logam induknya atau memiliki kadarnya paling besar dan β adalah logam paduan dari logam induknya. L mengartikan fase *liquid* dan α_1 , α_2 dan α_3 menjelaskan perubahan fase pembekuannya dengan suhu yang mengalami penurunan.

Logam cair ada pada titik a, lalu temperaturnya turun hingga t_1 akan mulai terbentuk nukleasi yang terbentuk karena adanya ikatan dengan atom-atom. Ketika temperaturnya turun pada t_2 nukleasi tersebut akan saling berikatan dan membentuk kristal dan pada t_3 akan membentuk batas butir dikarenakan ada ikatan antar kristal. Ketika suhu akan semakin turun lagi akan menjadi butir dan akan mulai membentuk fase padat. Dapat dilihat perubahan bentuk tersebut pada gambar 2.6.



Gambar 2.6 Diagram Fase Pada Pendinginan
Sumber: Surdia dan Saito (2000, p.56)

2.13 Analisis Mikrostruktur Faktor Bentuk Rheocasting

Faktor bentuk (F) pada rheocasting berbeda dengan pengecoran konvensional. Mikrostruktur yang dibentuk berbentuk *agglomerate* atau dapat disebut *the pseudo-particle/pseudo-cluster*. Concept pada masing-masing *pseudo-cluster* menurut (Reisi, 2008) dihitung dengan persamaan berikut:

$$F = \frac{4\pi A}{C^2} \dots\dots\dots (2-2)$$

Dengan :

F = Faktor Bentuk

A = Luas bentuk

C = Keliling bentuk

Dengan menggunakan rumus berikut dimana C dan A adalah keliling dan luas gugus pseudo. F turun dengan meningkatnya fitur lingkaran dan dapat menjadi satu lingkaran sempurna. Ukuran partikel pseudo diukur dengan menggunakan metode standar *intercept length* (Reisi, 2008).

2.14 Pengukuran Densitas

Densitas merupakan hubungan antara massa jenis dengan volume memiliki satuan (gr/cm^3). Menurut ASTM-E B311-93 dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\rho = \frac{m}{v} \dots\dots\dots (2-3)$$

Dengan :

ρ = Massa Jenis (gr/cm^3)

m = Massa (gr)

v = Volume (cm^3)

Untuk mencari massa jenis aktual pada suatu produk dapat menggunakan uji piknometri. Metode ini menggunakan perbandingan massa jenis relatif dari spesimen/ zat dengan fluida. Massa jenis aktual dari spesimen dapat dihitung dengan menggunakan rumus *apparent density*. Pengukuran berat apung dilakukan dengan menggantung sampel menggunakan tali di keranjang kawat dalam wadah yang berisi fluida cair (air). Menurut ASTM-E B311-93 dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\rho_s = \left[\frac{W_s}{W_s - (W_{sb} - W_b)} \right] \times \rho_{liq} \dots\dots\dots (2-4)$$

Dengan :

ρ_s = Apparent density spesimen (gr/cm^3)

ρ_{liq} = Massa jenis air (gr/cm^3)

W_s = Berat spesimen di udara (gr)

W_{sb} = Berat keranjang + tali + spesimen didalam air (gr)

W_b = Berat keranjang + tali di dalam air (gr)

2.15 Hipotesis

Metode *Semisolid Rheocasting* (SSR) merupakan metode pengecoran logam *semisolid* untuk membentuk struktur non dendritik atau globular pada mikrostruktur material. Salah satu variasi penting metode *rheocasting* adalah menggunakan pengadukan dan kecepatan. Dengan variasi waktu pengadukan akan menurunkan gesekan logam cair terhadap cetakan sehingga menghasilkan produk coran yang sesuai dengan geometri bentuk dan dimensi. Serta, struktur butiran yang semakin kecil dan berbentuk globular akan meningkatkan densitas produk coran.



BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Dalam metode ini digunakan metode eksperimental sebenarnya. Dimana secara langsung mengetahui besar pengaruh waktu pengadukan pada pengeceron *semisolid rheocasting* aluminium Al-Mg-Si terhadap densitas dan geometri produk coran.

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan 21 April 2017 hingga 21 Mei 2017 di:

1. Laboraturium $\alpha \beta \gamma$ Landungsari, Malang untuk pengecoran, pembuatan specimen dan pengujian densitas.
2. Laboratorium Metrologi Industri Mesin FT-UB untuk melakukan uji geometri.
3. Laboratorium Pengujian Bahan Mesin FT-UB untuk melakukan foto mikro.

3.3 Variabel Penelitian

Pada penelitian ini menggunakan tiga variabel, yaitu variabel bebas, variabel terikat, variabel terkontrol.

3.3.1 Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang mempengaruhi atau menyebabkan adanya perubahan. Variabel yang digunakan adalah lamanya waktu pengadukan, lamanya waktu pengadukan yang dilakukan 10, 20, 40, 60 detik

3.3.2 Variabel Terikat

Variabel terikat adalah faktor-faktor yang diteliti akibat adanya pengaruh dari variabel bebas. Dalam penelitian ini variabel yang digunakan antara lain :

1. Densitas produk coran semi solid *rheocasting* Aluminium Al-Mg-Si.
2. Geometri (bentuk dan dimensi) semi solid *rheocasting* Aluminium Al-Mg-Si.
3. Tingkat kebulatan semi solid *rheocasting* Aluminium Al-Mg-Si.

3.3.3 Variabel Terkontrol

Variabel terkontrol adalah variabel yang dikendalikan. Variabel terkontrol pada penelitian ini adalah :

1. Massa ingot Al-Mg-Si 550gr
2. Temperatur tungku induksi 700°C
3. Temperatur penuangan 600°C
4. Putaran motor 1400 rpm
5. Putaran pengadukan 2400 rpm dengan dimensi transmisi pulley dan belt pada lampiran 7.

3.4 Alat Dan Bahan Penelitian

3.4.1 Alat

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian kali ini adalah :

1. Timbangan Elektrik

Digunakan untuk mengukur massa bahan yang digunakan dalam penelitian.

Mempunyai ketelitian 0,01gr.



Gambar 3.1 Timbangan Elektrik

Sumber : Laboratorium α β γ Landungsari, Malang

2. *Infrared Thermometer*

Digunakan untuk mengukur suhu pada saat peleburan bahan Al-Mg-Si



Gambar 3.2 *Infrared Thermometer*

Sumber : Laboratorium α β γ Landungsari, Malang

3. *Timer*

Memiliki prinsip kerja dapat menghitung waktu secara mundur dan ketika sudah menunjukkan 0 detik akan mengeluarkan bunyi sebagai penanda waktu habis. Alat ini digunakan untuk membatasi waktu pengadukan pada gambar 3.3.



Gambar 3.3 Timer

Sumber : Laboratorium α β γ Landungsari, Malang

4. *Tungku peleburan*

Spesifikasi tungku peleburan Al-Mg-Si pada gambar 3.4:

Tipe	: Induksi
Kapasitas	: ± 2 kg
Tegangan Listrik	: 220 V
Kuat Arus	: ± 13.2 A



Gambar 3.4 Tungku Peleburan

Sumber : Laboratorium α β γ Landungsari, Malang

5. Alat Pengaduk



Pulley
Motor Listrik
Pengaduk (Stainless Steel)

Motor single fase AC
Putaran Motor Listrik: 1400rpm
Putaran Pengaduk: 2400rpm
Daya: 1Hp
Tegangan: 110/220V
Arus: 13,8/6,9A

Gambar 3.5 alat pengaduk

Sumber : Laboratorium α β γ Landungsari, Malang

6. Cetakan Pengecoran

Dalam penelitian ini menggunakan cetakan permanen seperti tampak pada gambar

3.6



Mold Cavity (Rongga Cetakan)
Sprue (Saluran masuk)
Base

Gambar 3.6 Cetakan Permanen

Sumber : Laboratorium α β γ Landungsari, Malang

7. Hand Gloves

Digunakan untuk perlindungan tangan dari temperature tinggi pada saat penuangan.

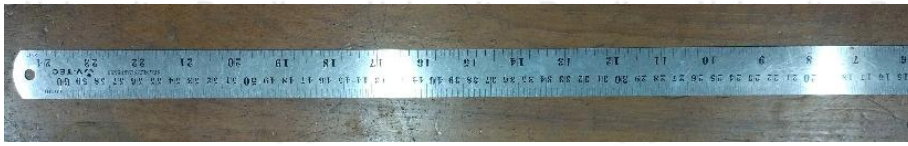


Gambar 3.7 Hand Glove

Sumber : Laboratorium α β γ Landungsari, Malang

8. Penggaris

Digunakan sebagai alat untuk mengukur dimensi



Gambar 3.8 Penggaris

Sumber : Laboratorium Metrologi Industri Mesin FT-UB, Malang

9. Vernier Caliper

Digunakan sebagai alat untuk mengukur dimensi. Memiliki ketelitian 0,01mm



Gambar 3.9 Vernier Caliper

Sumber : Laboratorium Metrologi Industri Mesin FT-UB, Malang

10. Kamera



Spesifikasi Canon EOS 600D:

Ukuran file foto: 5184 x 3456

Image stabilization

ISO Range: 100-3200

Aperture Lensa: f/3.5-5.6

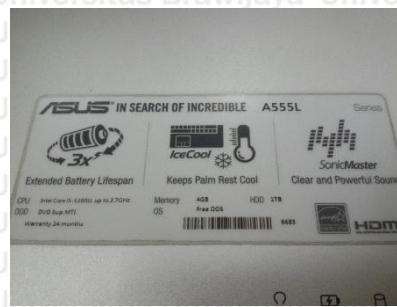
Shutter Speed: 1/4000-1/60 detik

Gambar 3.10 Kamera

Sumber; Laboratorium Pengujian Bahan Mesin FT-UB, Malang

11. Laptop

Digunakan untuk mendapatkan nilai R_{max} dan R_{min}



Spesifikasi Asus A555L:

Intel Core i5-5200U, up to 2.7GHz

Ram: 4gb

Kartu Grafis: Nvidia Gforce 940m

Gambar 3.11 Laptop

Sumber : Dokumentasi pribadi

12. Alat Uji Piknometri



Pemberat

Keranjang

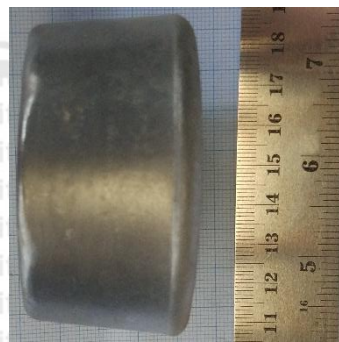
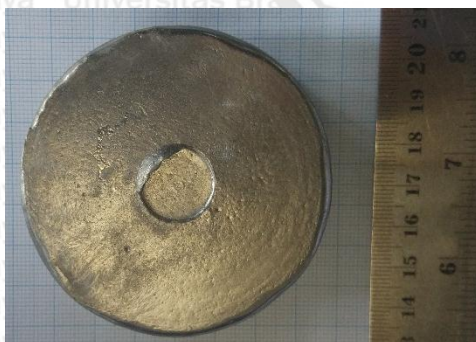
Timbangan Elektrik

Gambar 3.12 Alat Uji Piknometri

Sumber : Laboratorium α β γ Landungsari, Malang

3.4.2 Bahan

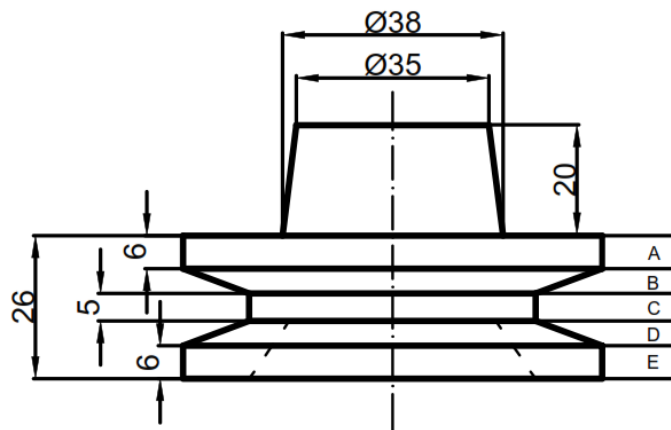
Bahan pengecoran adalah ingot Aluminium Al-Mg-Si dengan berat $\pm 550\text{gr}$



Gambar 3.13 Ingot Aluminium Al-Mg-Si

Sumber : Laboratorium α β γ Landungsari, Malang

3.5. Desain Benda Kerja



Gambar 3.14 Dimensi Pulley
Sumber : Dokumentasi pribadi

3.6 Skema Penelitian (Lampiran)

3.7 Prosedur Penelitian

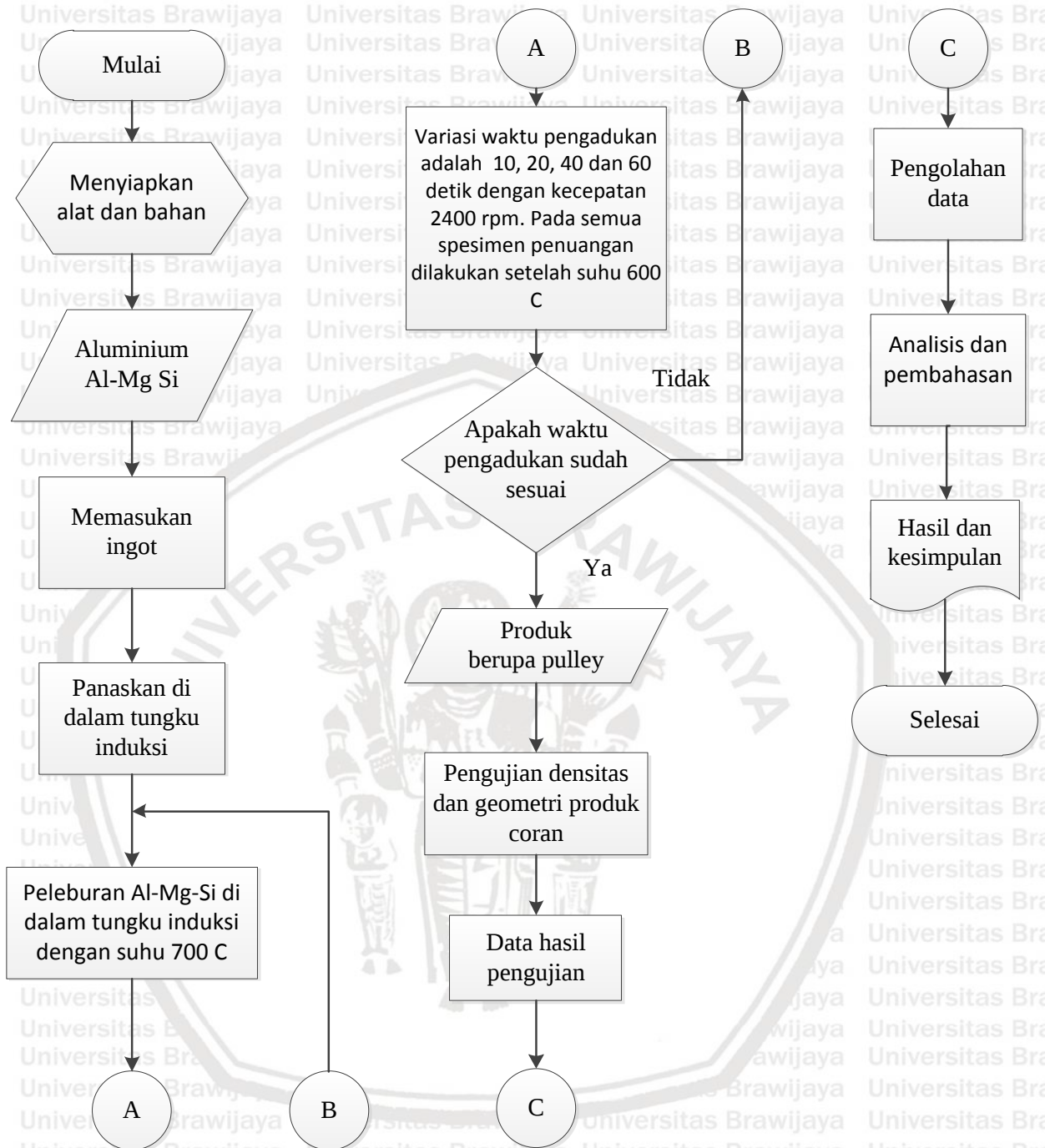
1. Menyiapkan bahan dasar untuk pengecoran semi solid *rheocasting* yaitu aluminium Al Mg-Si dan alat-alat yang dibutuhkan.
2. Sebelum dimasukkan ke dalam tungku, aluminium ditimbang $\pm 550\text{gr}$
3. Timbang massa aluminium Al-Mg-Si
4. Masukkan aluminium Al-Mg-Si kedalam tungku peleburan I.703, kemudian meleburnya sampai suhu 700°C
5. Logam cair diaduk menggunakan batang pengaduk dengan kecepatan 2400 rpm dan variasi waktu sebagai berikut :
 - a. Spesimen B 10 detik
 - b. Spesimen C 20 detik
 - c. Spesimen D 40 detik
 - d. Spesimen E 60 detik
6. Kemudian, tuang logam cair ke dalam cetakan yang telah disiapkan (cetakan pulley)
7. Aluminium yang telah membeku lalu dibongkar dari cetakannya.
8. Dilakukan uji densitas pada spesimen pada masing-masing spesimen.

9. Dilakukan kesesuaian geometri (bentuk dan dimensi) pada masing-masing spesimen.
10. Dilakukan uji *roundness* untuk mengetahui tingkat kebulatan benda kerja.
11. Catat data hasil pengukuran nilai densitas dan porositas pada semua spesimen.

3.7.1 Prosedur Penelitian Pengukuran Geometri dan Uji *Roundness*

1. Siapkan dimensi produk coran yang sesuai dengan desain.
2. Foto benda kerja
3. Masukkan foto kedalam autocad
4. Lakukan penggambaran diagram polar dengan menggunakan spline
5. Buatlah lingkaran dari titik tengah menyentuh bagian dalam digram polar
6. Buatlah lingkaran dari titik tengah menyentuh bagian luar digram polar
7. Lakukan perhitungan nilai kebulatan dan catat hasil data pengukuran
8. Benda dipisah menjadi 10 bagian
9. Melakukan pengukuran tinggi spesimen dari 10 bagian menggunakan jangka sorong
10. Catat dan rata-rata hasil

3.8 Diagram Alir Penelitian



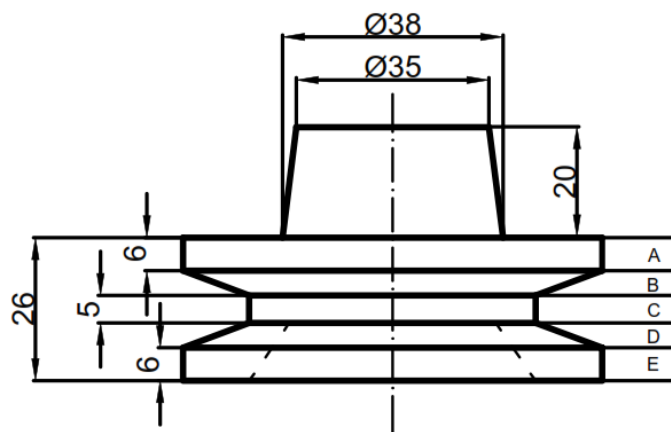


BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Data Geometri

4.2 Hasil Pengukuran Dimensi

Pengukuran dilakukan dengan cara mengambil dari 10 titik yang berbeda untuk mengetahui tingkat kepresisian dimensi dari benda kerja. Dengan pembagian dimensi sesuai dengan gambar berikut ini :



Gambar 4.1 Pembagian Bagian Dimensi Pulley

Sumber : Dokumentasi pribadi

Dari rancangan pengambilan data seperti diatas akan didapatkan hasil pengukuran dimensi pada tabel berikut ini :

Tabel 4.1
Pengukuran Dimensi Pada Setiap Bagian Dengan 10 kali Pengukuran

Waktu pengadukan	A (mm)	B (mm)	C (mm)	D (mm)	E (mm)
60s	5,45	4,35	4,98	3,01	6,09
	5,15	4,76	4,98	3,03	5,97
	4,99	4,76	4,97	3,92	5,63
	6,02	4,37	4,96	3,99	6,96
	5,01	4,71	5,00	3,87	5,53
	5,16	4,03	4,99	3,92	5,29
	5,47	4,37	5,00	3,60	5,50
	5,29	4,35	4,96	3,56	5,36
	5,24	4,38	4,96	3,99	5,73
	5,52	4,35	4,97	9,03	5,57
Rata-rata	5,33	4,44	4,98	4,19	5,76
40s	4,92	5,07	4,92	3,59	5,40
	5,22	4,69	5,00	3,54	5,28
	5,47	4,46	4,96	3,27	5,81
	5,27	4,64	4,96	3,38	5,53
	5,43	4,29	4,94	3,41	5,53
	5,57	4,25	4,94	3,66	5,27
	5,36	4,58	4,98	3,50	5,41
	5,32	4,60	4,96	3,19	5,54
	5,35	4,59	4,99	3,10	5,80
	5,27	4,76	5,01	3,42	5,35
Rata-rata	5,56	4,35	4,96	3,25	5,67
20s	4,89	4,52	4,97	3,44	5,58
	5,10	4,87	4,97	3,41	5,58
	5,77	4,20	4,97	3,49	5,55
	5,70	4,25	4,98	3,47	5,55
	5,14	4,32	4,97	3,61	5,37
	5,05	4,74	4,98	3,77	5,40
	4,92	4,48	4,97	3,60	5,51
	5,66	4,26	4,97	3,52	5,56
	5,02	4,37	4,98	3,92	5,20
	5,37	4,44	4,97	3,52	5,60
Rata-rata	5,26	4,45	4,97	3,58	5,49

Waktu pengadukan	A (mm)	B (mm)	C (mm)	D (mm)	E (mm)
10s	5,09	4,52	4,89	3,01	6,04
	5,44	4,36	4,98	3,31	5,60
	5,97	4,35	4,96	3,13	5,70
	6,97	4,44	4,98	3,09	5,47
	5,30	4,61	4,97	3,41	5,51
	5,43	4,24	4,97	3,16	5,89
	5,56	4,23	4,92	3,42	5,52
	5,53	4,14	4,95	3,27	5,64
	5,16	4,57	4,97	3,26	5,72
	5,11	4,54	4,99	3,42	5,60
Rata-rata	5,32	4,40	4,97	3,41	5,49

Dari tabel diatas dapat disimpulkan bahwa dengan adanya pengadukan maka kepresisan produk coran semakin meningkat. Dapat dilihat hasil berikut



Tabel 4.2

Perbandingan dimensi cetakan dengan dimensi rata-rata dari adanya waktu pengadukan dengan tanpa pengadukan

Waktu pengadukan	Bagian	Dimensi cetakan (C) (mm)	Nilai rata-rata dengan diaduk (A) (mm)	C-A	Rata-rata CA
60s	A	6	5,33	0,67	0,22
	B	4,5	4,44	0,06	
	C	5	4,98	0,02	
	D	4,5	4,19	0,31	
	E	6	5,76	0,04	
40s	A	6	5,56	0,44	0,40
	B	4,5	4,35	0,15	
	C	5	4,96	0,04	
	D	4,5	3,25	1,25	
	E	6	5,67	0,13	
20s	A	6	5,32	0,68	0,40
	B	4,5	4,40	0,10	
	C	5	4,97	0,03	
	D	4,5	3,41	1,09	
	E	6	5,49	0,31	
10s	A	6	5,26	0,74	0,44
	B	4,5	4,45	0,06	
	C	5	4,97	0,03	
	D	4,5	3,58	0,93	
	E	6	5,56	0,24	

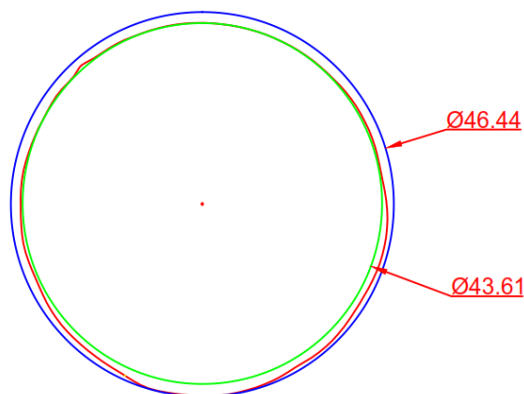
Dari tabel 4.2 diatas kita dapat mengetahui dimensi kecenderungan produk coran dari 10 pengukuran pada titik yang berbeda. Jika nilai c-a dan c-b mendekati 0 menunjukan hasil yang baik, dimana mendekati dengan nilai dimensi cetakannya. Dari tabel diatas dapat mengetahui bahwa dengan adanya variasi waktu pengadukan akan membuat dimensi dari produk coran semakin lebih baik.

4.3 Hasil Pengukuran Uji kebulatan

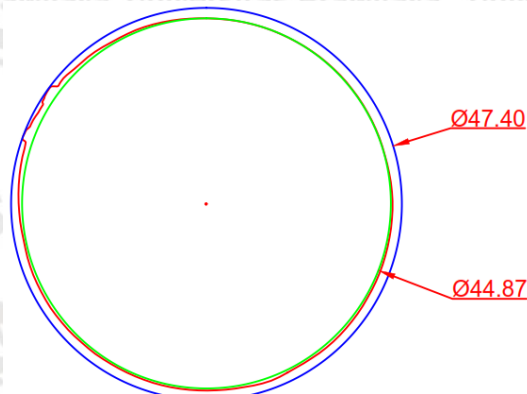
Dengan mengetahui diameter produk coran dengan membuat digram polar menggunakan autocad dan didapatkan nilai Rmin, Rmax dan nilai kebulatan ($\Delta R = R_{\max} - R_{\min}$). Nilai tersebut dapat dihasilkan melalui grafik polar dan menghasilkan nilai kebulatan pada tabel 4.3

Perbandingan gambar 1:1,6

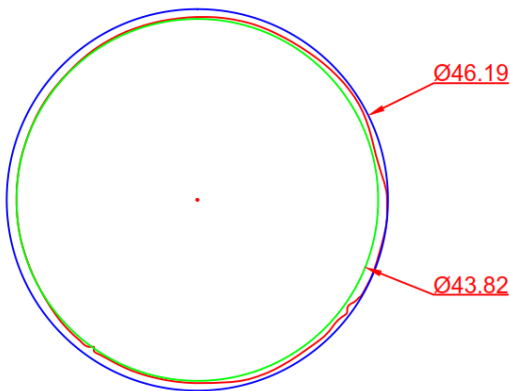
Pengadukan 10s



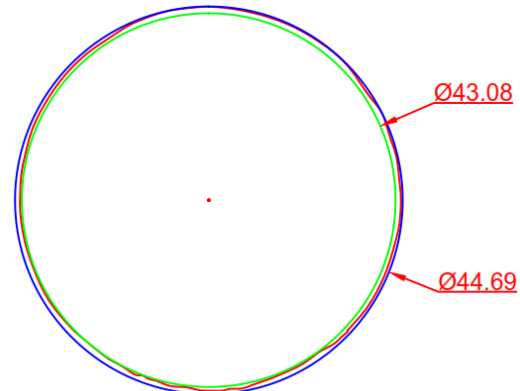
Pengadukan 20s



Pengadukan 40s



Pengadukan 60s



Gambar 4.2 Grafik Polar Uji Kebulatan

Sumber : Dokumentasi pribadi

Tabel 4.3

Hasil pengukuran diameter dalam maksimum dan diameter dalam minimum

Waktu pengadukan	Rmax (mm)	Rmin (mm)	ΔR
10s	43,61	46,44	2,83
20s	44,87	47,4	2,53
40s	43,82	46,19	2,37
60s	43,08	44,69	1,61

Hasil dari pengukuran diatas dapat disimpulkan bahwa seiring dengan bertambahnya waktu pengadukan maka nilai kebulatan ΔR akan semakin kecil dan mendekati dari geometri produk corannya. Hal ini sesuai dengan teoritisnya, dimana dengan menggunakan proses pengecoran rheocasting logam cair akan meningkatkan mampu alirnya sehingga seiring bertambahnya waktu pengadukan maka nilai kebulatannya semakin kecil. Sedangkan pada waktu pengadukan 10s memiliki mampu alir yang baik pula tetapi memiliki dendrit yang tebal pada permukaanya sehingga menyebabkan cepatnya terjadi solidifikasi. Berikut merupakan hasil dari grafil polar dari hasil diatas.

4.4 Data Hasil Perhitungan Densitas

Pengujian densitas digunakan untuk mengetahui hasil kualitas dari produk corannya dengan parameter berat dan volume

Tabel 4.4
Hasil Pengujian Piknometri

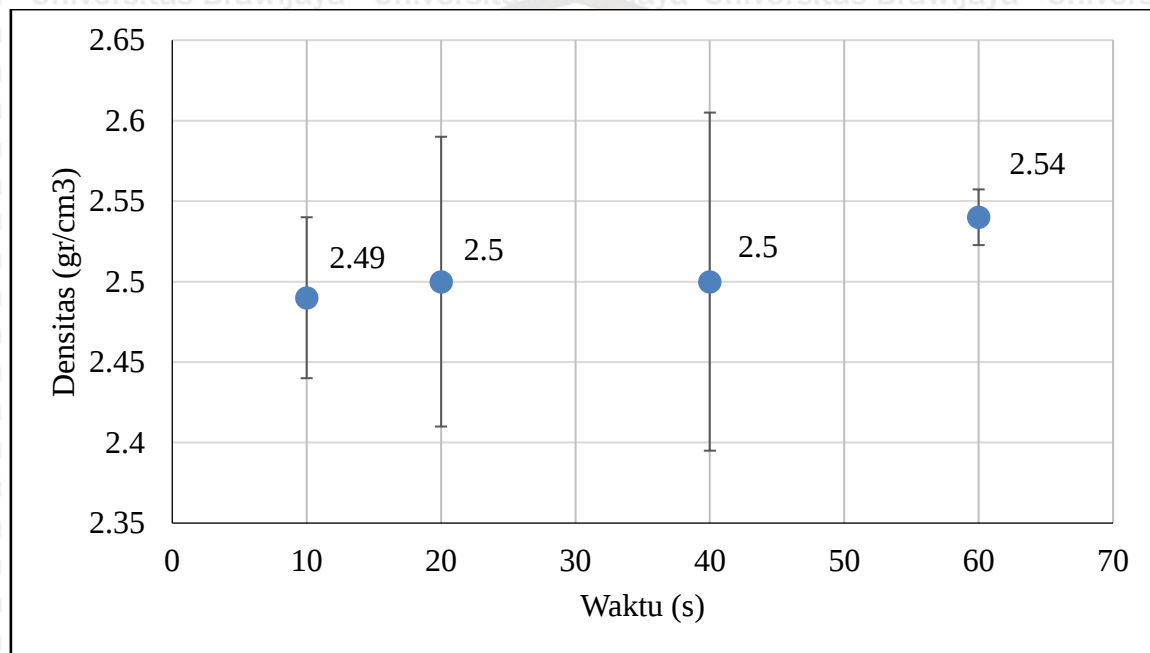
Kecepatan Pengadukan (rpm)	Waktu Pengadukan (detik)	W_s (gr)	W_b (gr)	W_{sb} (gr)	Pemberat (gr)	$W_{sb} - W_b$ (gr)	$W_s - (W_{sb} - W_b)$ (gr)	ρ_s (gr/cm ³)	ρ_s rata-rata (gr/cm ³)
2400	10	232,88	14,17	154,15	299,81	139,98	92,90	2,506781485	2,499522383
		232,88	14,17	151,91		137,74	95,14	2,447761194	
		232,88	14,17	155,51		141,34	91,54	2,54402447	
	20	235,10	14,17	151,18		137,01	98,09	2,396778469	2,501481846
		235,10	14,17	156,28		142,11	92,99	2,528228842	
		235,09	14,17	158,12		143,95	91,14	2,579438227	
	40	235,71	14,17	159,25		145,08	90,63	2,600794439	2,500791691
		235,71	14,17	155,93		141,76	93,96	2,508727118	
		235,72	14,17	151,38		137,21	98,51	2,392853517	
	60	239,93	14,17	160,26		146,09	93,84	2,556798806	2,547981954
		239,94	14,17	160,32		146,15	93,79	2,558268472	
		239,94	14,17	159,23		145,06	94,88	2,528878583	

Pada tabel didapatkan dari uji piknometri, dapat dilihat seiring dengan bertambahnya waktu pengadukan dengan kecepatan yang sama yaitu 2400rpm densitas dari produk coran dengan melakukan 3 kali percobaan pada setiap variasi. Didapatkan pada waktu pengadukan 10 memiliki nilai dari 3 kali pengujian densitas sebesar 2,50(gr/cm³), 2,44(gr/cm³), 2,54(gr/cm³) dan hasil rata-rata 2,49(gr/cm³). Pada waktu pengadukan 20 detik memiliki nilai dari 3 kali pengujian densitas sebesar 2,39(gr/cm³), 2,52(gr/cm³),

2,57(gr/cm^3) dan hasil rata-rata 2,501(gr/cm^3). Pada waktu pengadukan 40 detik memiliki nilai dari 3 kali pengujian densitas sebesar 2,6(gr/cm^3), 2,5(gr/cm^3), 2,39(gr/cm^3) dan hasil rata-rata 2,50(gr/cm^3). Pada waktu pengadukan 60 detik memiliki nilai dari 3 kali pengujian densitas sebesar 2,55(gr/cm^3), 2,55(gr/cm^3), 2,52(gr/cm^3) dan hasil rata-rata 2,54(gr/cm^3).

4.5 Analisa Grafik

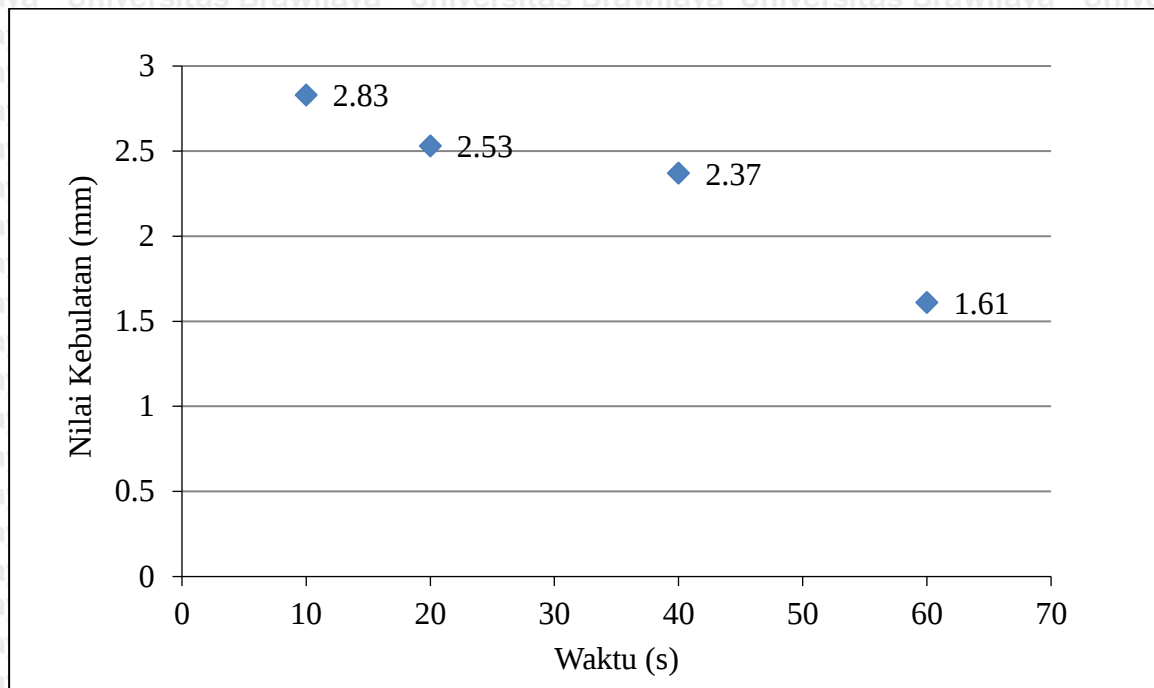
4.5.1 Grafik Hubungan Waktu Pengadukan Dengan Densitas Prouduk Coran



Gambar 4.3 Hubungan Waktu Pengadukan Dengan Densitas Prouduk Coran

Dari gambar 4.3 didapatkan hasil 10 detik pengadukan 2,5(gr/cm^3), 20 detik pengadukan 2,501(gr/cm^3), 40 detik pengadukan 2,501(gr/cm^3) dan 60 detik pengadukan 2,548 (gr/cm^3). Jika dilihat secara kecenderungan didapatkan hasil densitas yang terus meningkat, hal ini dikarenakan produk memiliki struktur non dendritik dapat dilihat pada lampiran 1. Struktur non dendritik tersebut berbentuk globular memiliki struktur yang bulat dan semakin kecil seiring bertambahnya waktu pengadukan sehingga struktur saling berhimpitan dan menyebabkan jarang ditemukan adanya rongga didalam cetakan, oleh karna itu densitas produk coran memiliki kecenderungan yang terus naik. Dengan semakin besarnya densitas pada produk coran, akan membuat sifat mekanis dari material tersebut akan meningkat

4.5.2 Grafik Hubungan Waktu Pengadukan Dengan Kebulatan Produk Coran



Gambar 4.4 Hubungan Waktu Pengadukan Dengan Kebulatan Produk Coran

Dari gambar 4.4 menunjukkan bahwa semakin meningkatnya waktu pengadukan menunjukkan nilai kebulatan yang semakin baik. Hal ini dikarenakan dengan menggunakan proses pengadukan dapat memperlambat laju solidifikasi logam cair. Jika tanpa menggunakan pengadukan proses terbentuknya dendrit bisa dibilang begitu cepat, dikarenakan begitu cepat terjadi pembentukan kristal pada proses pendinginan. Kristal tersebut lalu saling berikatan satu dengan yang lain membentuk struktur dendrit. Terbentuknya struktur dendrit adalah wujud dari solidifikasi logam cair. Jika menggunakan variasi pengadukan proses terbentuknya kristal yang diikuti dengan penurunan suhu akan terganggu. Proses pembentukan kristal tersebut akan terjadi pada saat logam setelah diaduk atau pada kondisi diam. Setelah itu logam tidak membentuk dendrit lagi melainkan struktur non dendritik. Dari struktur tersebut dapat membuat logam cair memiliki permukaan yang halus sehingga menurunkan koefisien gesekan yang terjadi dengan cetakan dan memiliki kelebihan daripada struktur dendrit biasa yaitu dengan bentuknya yang bulat dan memiliki ukuran yang kecil sehingga dapat dengan mudah menembus rongga-rongga yang ada pada cetakan.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian diatas dapat disimpulkan yaitu:

1. Densitas

Bertambahnya variasi waktu pengadukan akan menghasilkan densitas yang cenderung semakin naik. Hal ini dikarenakan seiring bertambahnya waktu pengadukan, menghasilkan bentuk yang non-dendritik dan ukurannya semakin kecil. Sehingga semakin sedikit rongga udara yang terjebak

2. Geometri (Bentuk dan Dimensi)

Geometri mewakili bentuk dan dimensi dari produk coran. Dalam produk coran pulley bentuk dapat di nilai berdasarkan nilai kebulatan benda dan dimensi dapat ditentukan dari rata-rata 10 pengukuran di 5 bagian. Data dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Dimensi

Seiring dengan bertambahnya waktu pengadukan akan membuat dimensi keakuratan pada 5 bagian akan mendekati dari ukuran cetakan dengan nilai rata-rata keakuratan semakin mendekati 0 maka semakin akurat. Dari waktu pengadukan 10detik, 20detik, 40detik, 60detik didapatkan nilai rata-rata 0,44mm, 0,40mm, 0,40mm, 0,22mm

- Tingkat kebulatan

Semakin besar waktu pengadukan yang diberikan 10detik, 20detik, 40detik, 60detik dan kecepatan yang sama yaitu 2400rpm dapat menghasilkan nilai kebulatan produk coran yang semakin tinggi. Dikarenakan logam cair memiliki permukaan yang semakin halus sehingga dapat menurunkan koefisien gesek dari logam cair terhadap cetakan dan dengan adanya pengadukan dapat menurunkan laju solidifikasi.

5.2 Saran

1. Pengukuran suhu menggunakan *thermocouple* agar hasil yang didapatkan lebih akurat
2. Pastikan suhu ruangan pada saat melakukan pengecoran dalam kondisi yang sama.
3. Ditambahkan tekanan pada penuangan agar membentuk dimensi yang akurat.



DAFTAR PUSTAKA

- ASM Handbook. Vol. 2. (1990). *Properties and Selection: Nonferrous Alloys Special-Purpose Materials*. ASM
- ASTM B311. 2002. *Test Method for Density Determination for Powder Metallurgy (P/M) Materials Containing Less Than Two Percent Porosity*. ASTM International.
- Chambali, M. Purwanto, H. Respati. S.M.B. 2013. *Pengaruh Temperatur Bahan terhadap Struktur Mikro dan Kekerasan pada Proses Semi Solid Casting Paduan Aluminium Daur Ulang*. Semarang: Universitas Wahid Hasyim Semarang.
- GRAND, C. 1920. *Aluminium and its alloys*. Warrington: CONSTABLE and COMPANY LTD
- Harion, M.H. 2008. *Pengaruh Penambahan 0.019 wt % Ti dan 0.029 wt % Ti Terhadap Karakteristik Material Paduan Aluminium Ac4b Dengan Proses Low Pressure Die Casting*
- Kurniawan, F.H. 2008. *Pengaruh Penambahan 0,067, 0,081 dan 0,115 wt % Ti Terhadap Karakteristik Paduan AC4B Hasil Low Pressure Die Casting (LPDC)*. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Nafisi, Shahrooz. Ghomashchi, Reza. (2016). *Semi-Solid Processing of Aluminum Alloys*. Switzerland: Springer International Publishing.
- Poddar, P. Sahoo, K.L. 2012. *Microstructure and mechanical properties of conventional cast and rheocast Mg-Sn based alloys*. *Materials Science & Engineering A* 556 (2012) 891–905
- Reisi, M. Niroumand, B. 2008. *Effect of stirring parameters on rheocast structure of Al-7,1 wt.%Si alloy*. *Journal of Alloys and Compounds* 470 (2009) 413–419
- Rusliadi, A.P. 2012. *Pembentukan Paduan AC9A Setengah Padat (Semi Solid)*. Depok: Universitas Gunadarma
- Surojo, E. Sukanto, H. Triyono, T. Susilo, J. 2010. *Studi Pengaruh Temperatur Pemasukan Batang Pengaduk dan Pengeluaran Batang Pengaduk Terhadap Pembentukan Struktur Globular Pada Proses Rheocasting*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- Shu-lin, L. Shu-sen, W. Ze-ming, Z. Ping, A. You-wu, M. 2010. *Effect of semi-solid processing on microstructure and mechanical properties of 5052 aluminium alloy*. *Trans. Nonferrous Met. Soc. China* 20(2010) s758-s762
- Suprpto, W. 2011. *Porositas Gas pada Material Duralumin Dalam Pengecoran Sistem Vakum*. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Surida, T. Saito, S. 2000. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Jakarta: PT Pradnya Paramita

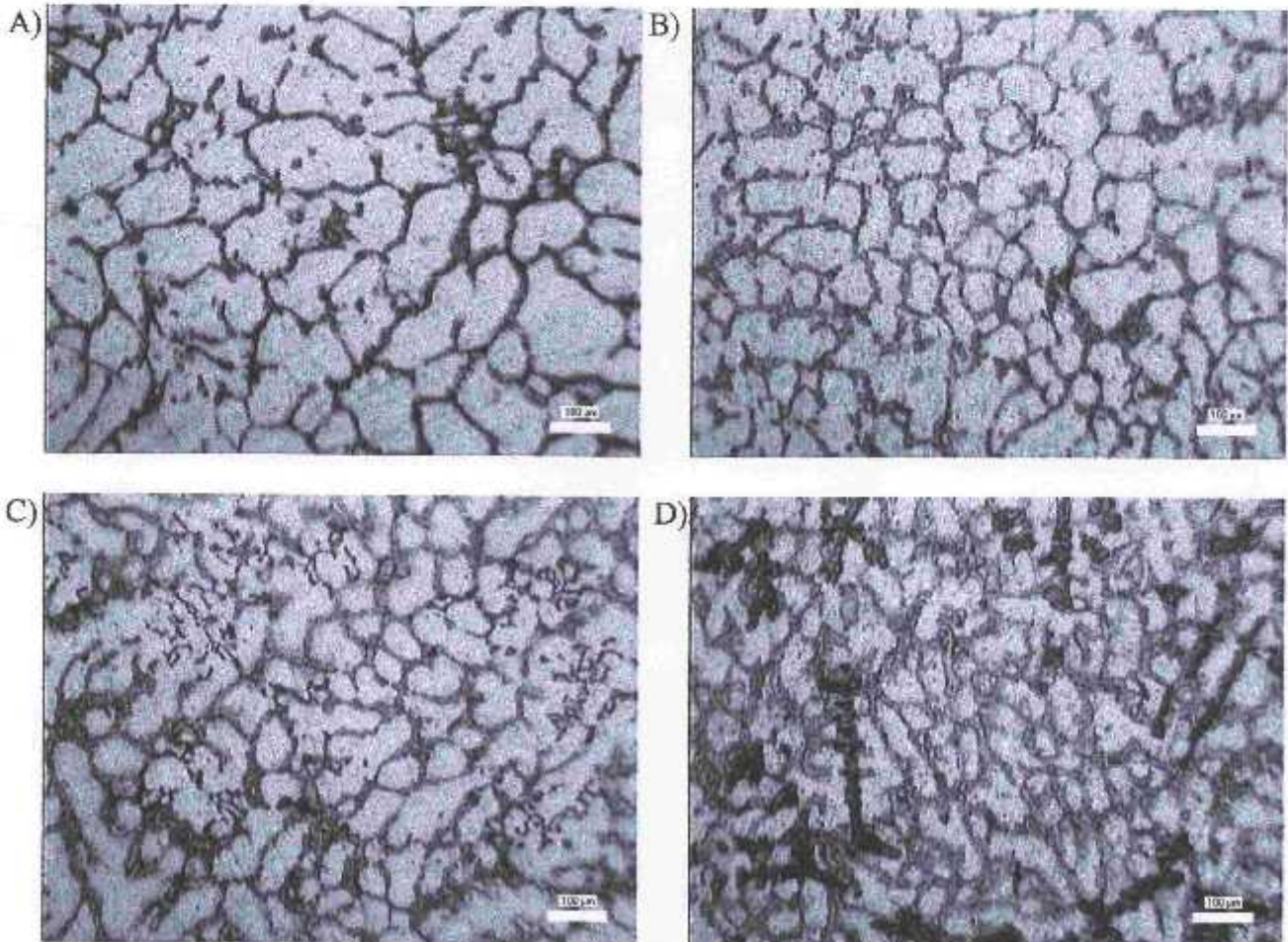
- Surida, T. Chijiwa, K. 1996. *Teknik Pengecoran Logam*. Jakarta: PT Pradnya Paramita
- Yue-Long, BAI. Jun, X. Zhi-feng, Z. Li-Kai, S. 2009. *Preparation of semi-solid slury at power frequency by annulus electromagnetic stirring method*. Beijing: General Research Institute for Non ferrous Metals, Beijing 100088.
- Yanis, M. 2010. *Analisis profil kebulatan untuk menentukan kesalahan geometrik pada pembuatan komponen menggunakan mesin bubut cnc*. Palembang: Universitas Sriwijaya
- Rochim, T. 2001. *Spesifikasi, Metrologi dan Kontrol Kualitas*. Bandung: Institut Teknologi Bnadung



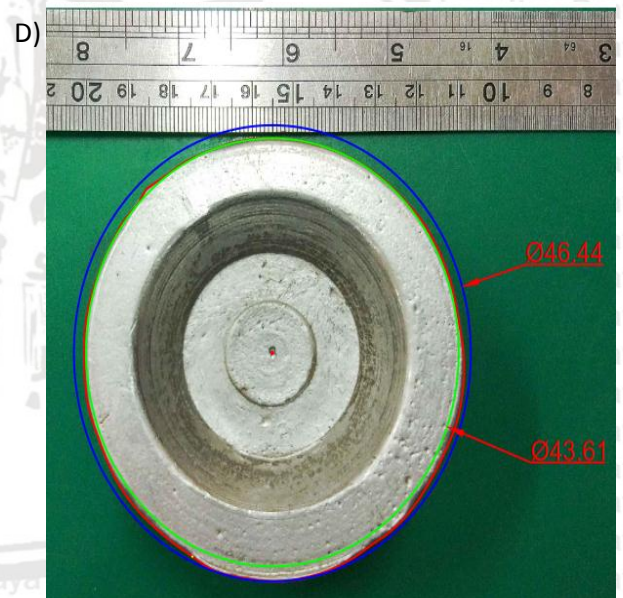
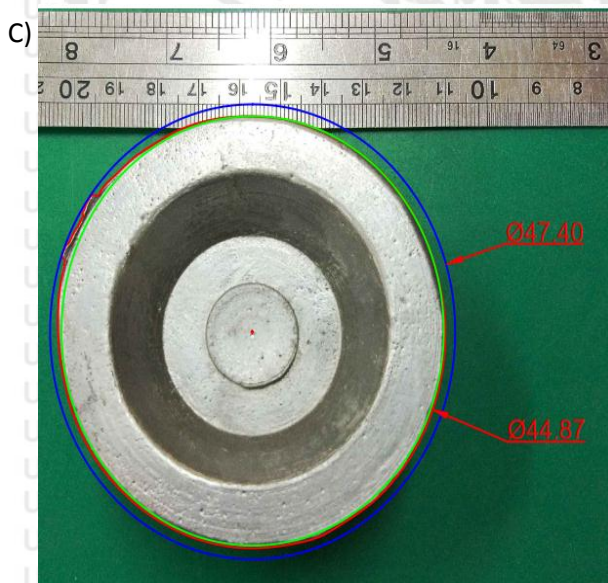
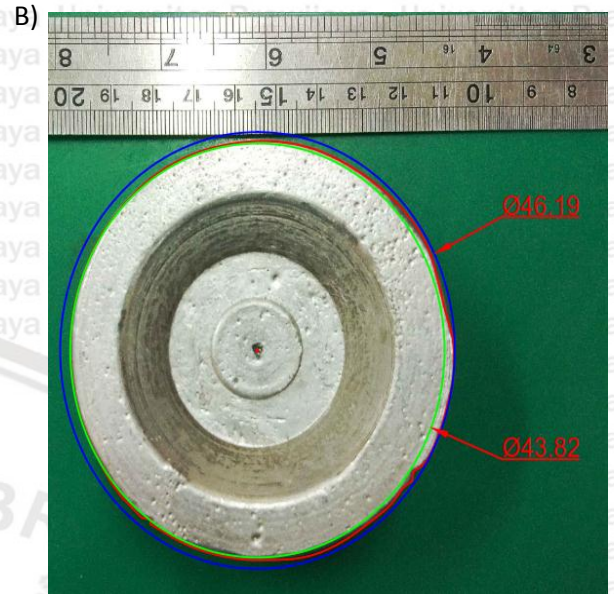
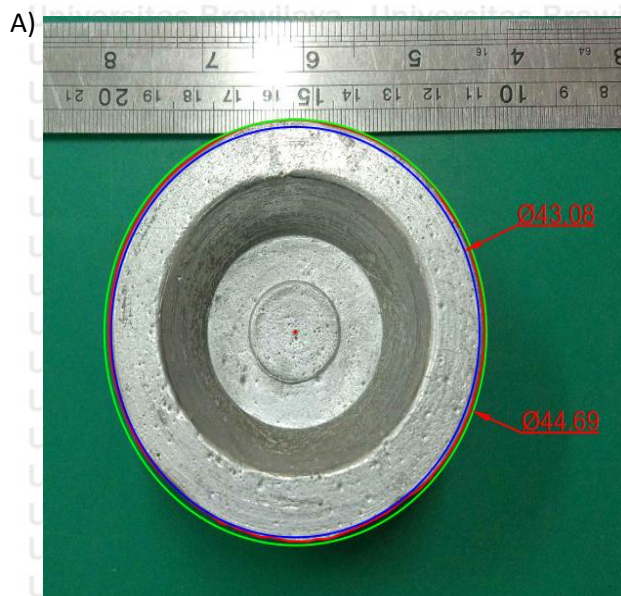


Lampiran 1

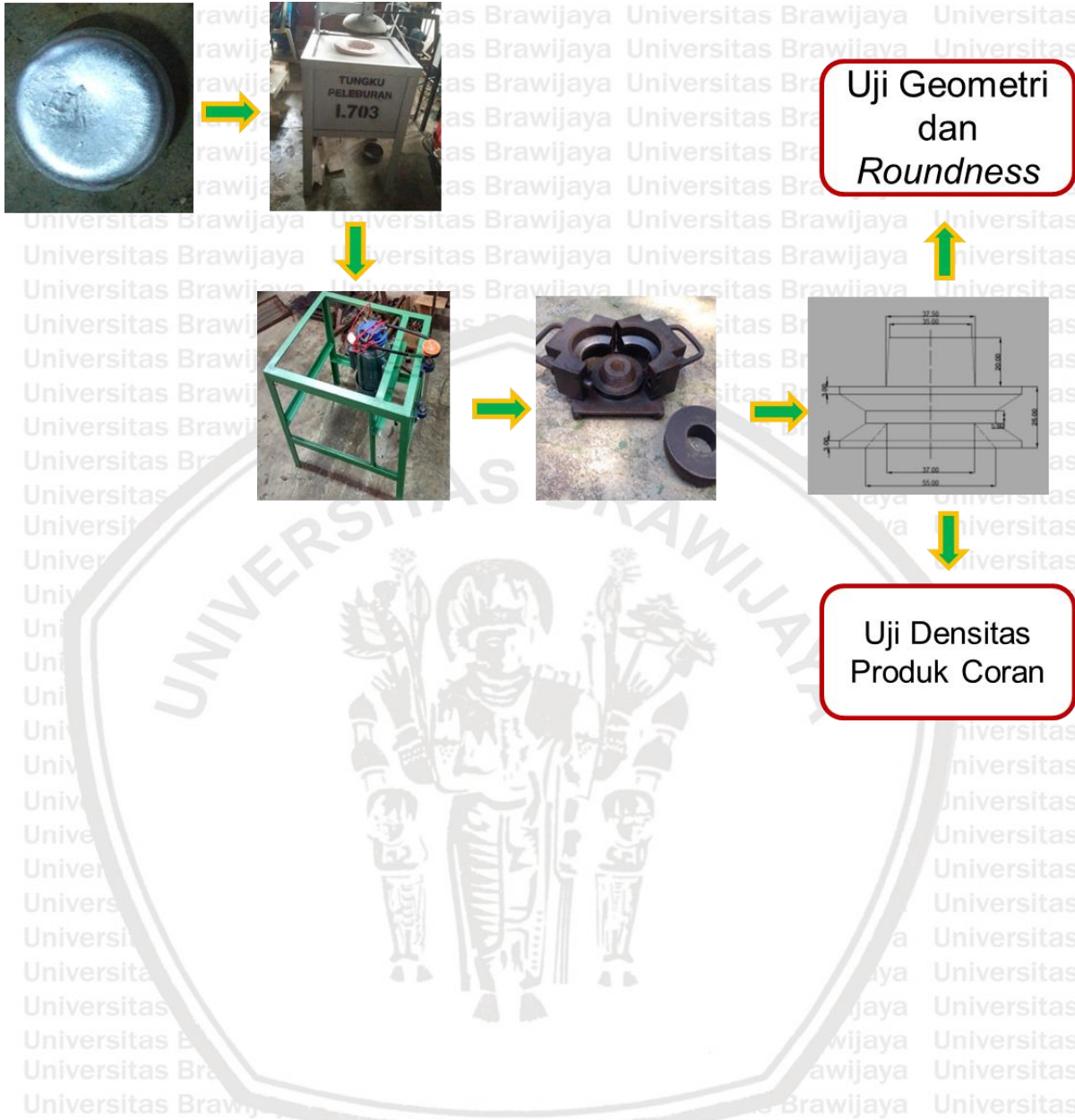
Hasil foto mikro dari waktu pengadukan A) 10 detik B) 20 detik C) 40 detik D) 60 Detik



Lampiran 2. Pengolahan Data Visual Uji Kebulatan A) Pengadukan 60s B) Pengadukan 40s C) Pengadukan 20s D) Pengadukan 10s



Lampiran 3. Skema Penelitian



Lampiran 4. Gambar Produk

Produk coran dengan pengadukan 10 detik



Produk coran dengan pengadukan 20 detik



Produk coran dengan pengadukan 40 detik



Produk coran dengan pengadukan 60 detik



Lampiran 5. Uji Komposisi



PT.H.P.METALS INDONESIA

122804

Method: AI-ADC-12
 Comment: AI-Base ADC-12
 Sample No.: 1
 Element Concentration
 Sample ID:

11/10/2015 10:45:10 AM

	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti
	%	%	%	%	%	%	%	%
1	0.459	0.369	0.0899	0.0534	9.77	0.0113	0.0687	0.0109
2	0.457	0.365	0.0875	0.0532	9.57	0.0112	0.0683	0.0120
3	0.424	0.361	0.0829	0.0531	9.30	0.0112	0.0696	0.0120

	Na	Ca	Ni	Pb	P	Sn	Sb	Sr
	%	%	%	%	%	%	%	%
1	< 0.00005	0.00087	0.0066	0.0088	< 0.00050	0.0035	< 0.00040	< 0.00010
2	< 0.00005	0.0013	0.0065	0.0082	< 0.00050	0.0032	< 0.00040	< 0.00010
3	< 0.00005	0.0010	0.0060	0.0073	< 0.00050	0.0026	< 0.00040	< 0.00010

	Be	Zr	Bi	Cd	Al			
	%	%	%	%	%			
1	0.00006	0.0012	0.00048	0.00057	89.1			
2	0.00006	0.0012	< 0.00030	0.00054	89.4			
3	0.00006	0.0011	0.00033	0.00056	89.7			



PT.H.P.METALS INDONESIA

122804

Method: AI-ADC-12
 Comment: AI-Base ADC-12
 Sample No.: 1
 Element Concentration
 Sample ID:

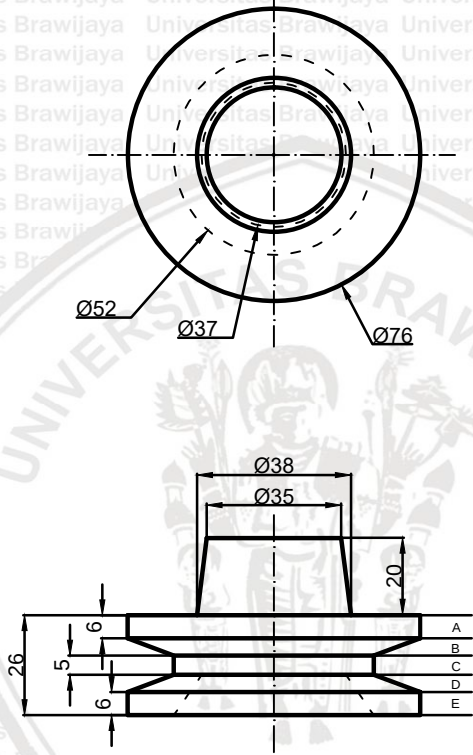
11/10/2015 10:45:10 AM

	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti
	%	%	%	%	%	%	%	%
Q (3)	0.450	0.365	0.0868	0.0532	9.55	0.0112	0.0649	0.0116

	Na	Ca	Ni	Pb	P	Sn	Sb	Sr
	%	%	%	%	%	%	%	%
Q (3)	< 0.00005	0.0011	0.0064	0.0081	< 0.00050	0.0031	< 0.00040	< 0.00010

	Be	Zr	Bi	Cd	Al			
	%	%	%	%	%			
Q (3)	0.00006	0.0011	0.00037	0.00056	89.4			

10/11/2015



	SKALA : 1 : 2	DIGAMBAR : FADIO R. P.	PERINGATAN	
	SATUAN : milimeter	DEPARTEMEN : TEKNIK MESIN		
	TANGGAL : 19/7/2017			
TEKNIK MESIN UNIVERSITAS BRAWIJAYA		PULLEY	A4	001

Lampiran 7. Perhitungan dimensi pulley dan belt

Diketahui:

$$D2 = 100\text{mm}$$

$$N1 = 1400\text{rpm}$$

$$N2 = 2450\text{rpm}$$

Ditanya:

$D1$?

Panjang belt (L) ?

Perhitungan:

$$\frac{N1}{N2} = \frac{D2}{D1}$$

$$D1 = \frac{D2 \times N2}{N1}$$

$$D1 = 175,43/176 \text{ mm}$$

Center of distance

$$C = 2.D1$$

$$C = 352\text{mm}$$

Maka

$$L = \frac{\pi}{2} \times (D1 + D2) + 2C + \frac{(D1 - D2)^2}{4C}$$

$$L = 1141,8\text{mm}/120\text{cm}$$

Keterangan gambar:

$D1$ = Diameter pulley pada motor listrik

$D2$ = Diameter pulley pada pengaduk

$N1$ = Putaran pada motor listrik

$N2$ = Putaran pada pengadukan

