

**PENGARUH DIMENSI SALURAN CETAKAN DAN KECEPATAN
PUTAR TERHADAP KEKERASAN DAN POROSITAS ALUMINIUM
PADUAN (Al-Mg-Si) PADA PENGECORAN SENTRIFUGAL**

SKRIPSI

Konsentrasi Teknik Produksi

Diajukan untuk memenuhi persyaratan

Memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh :

SURYO FEBRIYANTO
NIM. 0810620092-62

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2013**

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji dan syukur hanya kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat serta karunia-Nya sehingga skripsi yang judul “**Pengaruh Dimensi Saluran Cetakan dan Kecepatan Putar terhadap Kekerasan dan Porositas Aluminium Paduan (Al-Mg-Si) pada Pengecoran Sentrifugal**” dapat terselesaikan. Tidak lupa Shalawat dan Salam kami haturkan kepada Rasulullah, Nabi Muhammad SAW.

Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dari berbagai pihak, penulisan skripsi ini tidak akan tersusun dengan baik. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu penyelesaian skripsi ini:

1. Bapak Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT., selaku Ketua Jurusan dan Dr.Eng Anindito Purnowidodo, ST., M.Eng. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
2. Bapak Ir. Tjuk Oerbandono, MSc., CSE, selaku Ketua Konsentrasi Produksi Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
3. Bapak Dr.Eng Yudy Surya Irawan, ST., M.Eng. selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan bimbingan, masukan, dan arahan yang membangun dan sistematis bagi penulis. Selalu memberikan contoh yang disiplin dan teladan bagi penulis.
4. Ibu Francisca Gayuh U.D., ST., MT. selaku dosen wali yang banyak memberikan masukan dan dukungan.
5. Bapak dan Ibuku, Ngamin dan Pujiati yang tercinta, serta kakakku Joko Purwanto, Bambang Mulyawan, Tri Wulandari, Sigit Wahyudi dan Susilowati yang paling aku sayangi dan kangen, terima kasih telah memberikan semua kebutuhan mulai dari doa yang luar biasa dan motivasi yang diberikan.
6. Bapak Gatot Siswanto, selaku laboran pengecoran logam yang telah banyak membantu dalam penelitian.
7. Bapak Suhastomo yang telah banyak membantu dalam pelaksanaan penelitian.
8. Asisten Laboratorium Pengecoran Logam Universitas Brawijaya : Arief Bachtiar “Abe”, Bagas, Dimas ‘Cipenk’, May Vendra “Lembotho”, Dadang, Harun, Peter, Herdi, Hilmi, Kelik, Shandy “Pak Ndut”, Faisol, dan Odi.

9. Dulur-dulur M'08 EMPEROR, terimakasih atas dukungan, kritik, motivasi dan saran.

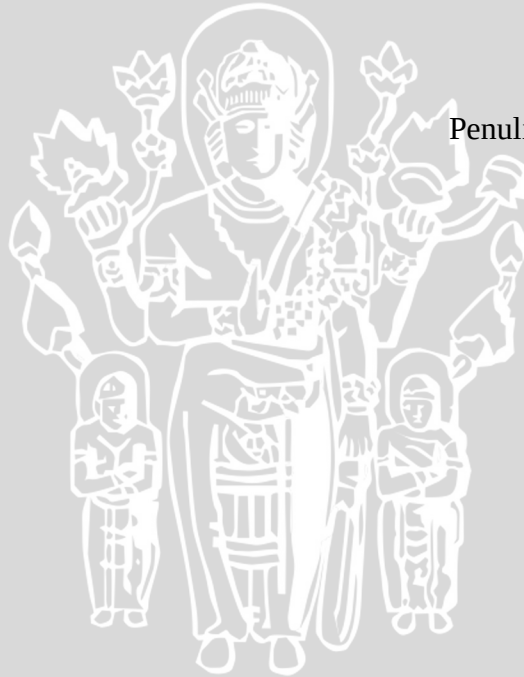
10. Devi Indra Kusumawardani yang telah senantiasa mendukung dan penyemangat dalam terselesainya skripsi ini.

11. Segenap pihak yang telah mendukung terselesaikannya skripsi ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Saran dan kritik yang bersifat membangun penulis harapkan dari pembaca dan semua pihak. Semoga skripsi ini bermanfaat bagi para pembacanya.

Malang, Juli 2013

Penulis



DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
RINGKASAN	viii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Penelitian Sebelumnya.....	4
2.2 Pengertian Pengecoran Logam	5
2.3 Pengecoran Sentrifugal	6
2.3.1 Pengecoran Sentrifugal Sejati.....	7
2.3.2 Pengecoran Semisentrifugal	7
2.3.3 Sentrifuging	8
2.4 Sifat-sifat Logam Cair	8
2.4.1 Perbedaan Logam Cair dengan Air	8
2.4.2 Kekentalan Logam Cair.....	9
2.5 Proses Pembekuan Logam	9
2.6 Kecepatan Putar Cetakan	10
2.7 Aluminium.....	11
2.7.1 Pengolahan Aluminium	11
2.7.2 Sifat-sifat Bahan Aluminium Paduan	12
2.7.3 Klasifikasi Paduan Aluminium.....	12
2.7.4 Pengaruh Unsur-unsur Paduan	14
2.8 Pengujian Kekerasan.....	15

2.8.1	Pengujian Kekerasan <i>Brinell</i>	16
2.8.2	Pengujian Kekerasan <i>Vickers</i>	16
2.8.3	Pengujian Kekerasan <i>Rockwell</i>	17
2.9	Pengujian Porositas	17
2.9.1	Porositas Pada Pengecoran Logam	17
2.9.2	Jenis-jenis Porositas Pada Pengecoran logam	18
2.9.3	Densitas	19
2.9.3.1	Macam Densitas	19
2.9.3.2	Pengukuran Densitas dengan Menggunakan Metode Piknometri... ..	20
2.9.4	Perhitungan Porositas	21
2.10	Hipotesa	21

BAB III METODE PENELITIAN

3.1	Tempat dan Waktu Penelitian	22
3.2	Variabel Penelitian	22
3.3	Peralatan dan Bahan yang Digunakan	23
3.3.1	Peralatan yang Digunakan	23
3.3.2	Bahan yang Digunakan	23
3.4	Instalasi Penelitian	24
3.5	Dimensi Cetakan	24
3.6	Dimensi coran Setelah <i>Finishing</i>	25
3.7	Prosedur Penelitian	26
3.7.1	Langkah-langkah Penelitian	26
3.7.2	Prosedur Pengambilan dan Pengolahan Data Uji Porositas	26
3.7.3	Prosedur Pengambilan dan Pengolahan Data Uji Kekerasan	27
3.8	Diagram Alir Penelitian	28

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1	Data dan Perhitungan Hasil Pengujian	30
4.1.1	Data dan Prosentase Perhitungan Porositas	30
4.1.1.1	Perhitungan <i>True Density</i>	30
4.1.1.2	Perhitungan <i>Apparent Density</i>	32
4.1.1.3	Perhitungan Prosentase Porositas	33

4.1.1.4	Data Hasil Pengujian Kekerasan	35
4.2	Pembahasan	35
4.2.1	Analisis Pengaruh Dimensi Saluran Cetakan dan Kecepatan Putar Cetakan Terhadap Porositas Hasil Pengecoran Sentrifugal.....	36
4.2.2	Analisis Pengaruh Dimensi Saluran Cetakan dan Kecepatan Putar Cetakan Terhadap Kekerasan Hasil Pengecoran Sentrifugal	37

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1	Kesimpulan	40
5.2	Saran	40

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



DAFTAR TABEL

No	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Koefisien Kekentalan dan Tegangan Permukaan Dari Logam.....	9
Tabel 2.2	Sifat-sifat fisik aluminium	12
Tabel 2.3	Klasifikasi paduan aluminium tempa.....	13
Tabel 2.4	Klasifikasi paduan aluminium coran.....	13
Tabel 4.1	Perhitungan densitas unsur dan prosentase berat.....	31
Tabel 4.2	Data hasil penimbangan.....	32
Tabel 4.3	Data <i>apparent density</i>	33
Tabel 4.4	Data prosentase porositas (%).....	34
Tabel 4.5	Data kekerasan (VHN).....	35



DAFTAR GAMBAR

No	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Grafik Kekerasan Terhadap Ketebalan Cetakan dengan Kecepatan Putar yang Berbeda	4
Gambar 2.2	Grafik Ukuran Butir Terhadap Ketebalan Cetakan dengan Kecepatan Putar yang Berbeda	5
Gambar 2.3	Pengecoran Sentrifugal Horizontal	7
Gambar 2.4	Pengecoran Semisentrifugal.....	8
Gambar 2.5	Sentrifuging.....	8
Gambar 2.6	Ilustrasi Skematis dari Pembekuan Logam	10
Gambar 2.7	Diagram Fasa Paduan Al-Mg ₂ Si	15
Gambar 2.8	Pengujian Kekerasan <i>Brinell</i>	16
Gambar 2.9	Pengujian Kekerasan <i>Vickers</i>	17
Gambar 2.10	Skema Piknometri	20
Gambar 3.1	Instalasi Penelitian	24
Gambar 3.2	Dimensi Saluran Cetakan D.....	24
Gambar 3.3	Dimensi Saluran Cetakan 3/4 D.....	24
Gambar 3.4	Dimensi Saluran Cetakan 1/2 D.....	25
Gambar 3.5	Dimensi Coran Setelah <i>Finishing</i>	25
Gambar 3.6	Lokasi Titik Uji Kekerasan.....	25
Gambar 4.1	Grafik Pengaruh Kecepatan Putar Cetakan terhadap Porositas Sebelum Permesinan Hasil Pengecoran Sentrifugal.....	36
Gambar 4.2	Grafik Pengaruh Kecepatan Putar Cetakan terhadap Kekerasan Hasil Pengecoran Sentrifugal	37
Gambar 4.3	Foto Mikrostruktur Kecepatan 1500 rpm.....	38
Gambar 4.4	Foto Mikrostruktur Kecepatan 1000 rpm.....	38
Gambar 4.5	Foto Mikrostruktur Kecepatan 500 rpm.....	39

RINGKASAN

Surjo Febriyanto, Jurusan Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Juli 2013, *Pengaruh Dimensi Saluran Cetakan dan Kecepatan Putar terhadap Kekerasan dan Porositas Aluminium Paduan Al-Mg-Si pada Pengecoran Sentrifugal*. Dosen pembimbing: Dr. Eng Yudy Surya Irawan, ST., M. Eng

Berbagai metode dikembangkan untuk mendapatkan produk pengecoran yang lebih baik dari yang sudah ada salah satunya pengecoran sentrifugal. Banyak faktor-faktor yang mempengaruhi kualitas benda hasil pengecoran sentrifugal, terutama adalah cacat porositas yang seringkali kita temukan hampir di setiap bagian hasil coran dan sifat mekanik yang dapat mengalami perubahan setelah proses pengecoran.

Pada penelitian ini akan melihat pengaruh dimensi saluran cetakan dan kecepatan putar terhadap kekerasan dan porositas aluminium paduan Al-Mg-Si pada pengecoran sentrifugal dengan variasi dimensi saluran cetakan D, $\frac{3}{4}$ D dan $\frac{1}{2}$ D, dan kecepatan putar 500 rpm, 1000 rpm dan 1500 rpm. Pengujian porositas menggunakan metode piknometri dan pengujian kekerasan menggunakan metode *vickers*.

Dengan variasi dimensi saluran cetakan dan kecepatan putar maka dapat berpengaruh terhadap cacat porositas pada hasil coran. Prosentase porositas terendah terjadi pada kecepatan putar 1500 rpm dengan dimensi saluran cetakan $\frac{1}{2}$ D rata-rata prosentase porositasnya sebesar 0.8766%, sedangkan rata-rata prosentase porositas paling tinggi terjadi pada kecepatan 500 rpm dengan dimensi saluran cetakan D. Hal ini disebabkan semakin tinggi gaya sentrifugal akibat peningkatan kecepatan putar cetakan, menyebabkan terlemparnya logam cair ke dinding cetakan sehingga logam cair akan tertekan ke dinding cetakan, maka struktur butiran menjadi lebih rapat dan padat akibat mendapat tekanan dari gaya sentrifugal tersebut, sehingga udara yang ada dalam logam cair akan terdorong keluar melalui permukaan pisah cetakan dan bebas keluar dari logam cair. Selain itu dengan semakin kecil dimensi saluran cetakan maka volume logam cair yang masuk kedalam cetakan saat penuangan akan semakin sedikit sehingga prosentase porositasnya akan semakin menurun. Dari hasil pengujian *microvickers hardness* tester, nilai kekerasan paling tinggi terjadi pada dimensi saluran cetakan D dan kecepatan 1500 rpm rata-rata nilai kekerasan sebesar 79.36 VHN sedangkan nilai kekerasan terendah terjadi pada kecepatan putar 500 rpm dengan dimensi saluran cetakan $\frac{1}{2}$ D rata-rata nilai kekerasannya sebesar 56.93VHN. Hal ini disebabkan pada kecepatan putar 1500 rpm gaya sentrifugal yang menekan logam dan melempar logam ke dinding cetakan lebih tinggi, maka struktur butiran menjadi lebih rapat dan padat akibat mendapat tekanan dari gaya sentrifugal tersebut sehingga nilai kekerasannya meningkat.

Kata kunci: aluminium paduan Al-Si-Mg, dimensi saluran cetakan, kecepatan putar, porositas, kekerasan, pengecoran sentrifugal.

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan industri dan teknologi saat ini khususnya industri logam dan konstruksi, semakin hari semakin maju, salah satunya adalah industri pengecoran logam. Teknik pengecoran logam sendiri merupakan salah satu cara untuk pembuatan suatu produk dalam industri manufaktur saat ini. Pengecoran logam merupakan salah satu teknik pengolahan logam yang banyak digunakan karena dapat menghasilkan produk dengan berbagai bentuk.

Dalam pengembangan teknologi pengecoran logam telah dilakukan berbagai metode, salah satu metode pengecoran logam adalah pengecoran sentrifugal. Pengecoran sentrifugal adalah suatu cara dimana cetakan diputar dan logam cair dituangkan didalamnya, sehingga logam cair tertekan oleh gaya sentrifugal dan kemudian membeku (Surdia, 1986: 3). Dalam pengecoran sentrifugal terdapat tiga jenis, antara lain pengecoran sentrifugal sejati, pengecoran semi-sentrifugal dan sentrifuging (P.L Jain, 1979:122). Kelebihan dari pengecoran sentrifugal sejati antara lain digunakan untuk pembuatan coran berbentuk silinder dengan produktivitas yang tinggi, serta kualitas hasil coran yang baik (Surdia 1986: 239). Selain itu pengecoran sentrifugal juga dapat menghasilkan benda dengan porositas rendah karena dengan pengaruh gaya sentrifugal mengakibatkan gas-gas yang terkandung pada logam cair bisa keluar seluruhnya sehingga memperkecil terjadinya cacat porositas. Metode yang akan digunakan pada penelitian ini adalah dengan metode sentrifugal sejati dan untuk metode semi sentrifugal tidak dipakai dalam penelitian ini karena dilihat dari segi rotasi kecepatan lebih rendah dibandingkan dengan metode sentrifugal sejati yang bisa diputar sampai 3000 rpm.

Pada pengecoran logam bahan yang sering digunakan salah satunya adalah aluminium. Aluminium digunakan karena memiliki sifat tahan terhadap karat dan konduktor listrik yang cukup baik (Wiryosumarto dan Okumura, 113:1996). Namun, untuk menghasilkan produk pengecoran dengan logam aluminium yang baik, logam aluminium perlu ditambahkan unsur-unsur tambahan seperti silikon, tembaga, mangan, ferro, magnesium serta unsur-unsur lain yang dapat memperbaiki sifat mekanik aluminium. Paduan Al-Si-Mg merupakan logam paduan pengecoran yang banyak digunakan pada pengecoran logam, dikarenakan paduan ini

memiliki kemampuan mudah dibentuk, ringan, dan ketahanan korosi yang baik. Penggunaan aluminium hasil pengecoran sentrifugal banyak digunakan sebagai selubung silinder, poros, cincin torak, roda gigi, dan lain sebagainya. Dalam pengaplikasian logam aluminium hasil pengecoran sentrifugal sifat dari logam sangat penting, salah satu sifatnya adalah kekerasan. Kekerasan sangat penting karena mampu memberikan informasi penting mengenai kemampuan suatu bahan untuk menahan penetrasi, indentasi, pengikisan dengan kata lain kemampuan untuk menahan deformasi plastis. Pengujian ini umumnya dilakukan pada komponen-komponen hasil fabrikasi seperti poros, as roda dan lain sebagainya.

Berdasarkan uraian di atas maka penulis akan meneliti pengaruh dimensi saluran cetakan dan kecepatan putar terhadap kekerasan dan porositas aluminium Al-Mg-Si pada pengecoran sentrifugal.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, permasalahan yang akan diungkap dalam dalam penelitian kali ini adalah “Bagaimana pengaruh dimensi saluran cetakan dan kecepatan putar terhadap kekerasan dan porositas aluminium paduan Al-Mg-Si pada pengecoran sentrifugal?”

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sejauh mana *pengaruh dimensi saluran cetakan dan kecepatan putar terhadap kekerasan dan porositas aluminium Al-Si-Mg produk pengecoran sentrifugal.*

1.4 Batasan Masalah

Agar dalam penelitian ini lebih terarah maka diperlukan batasan-batasan masalah yang meliputi hal-hal di bawah ini:

1. Temperatur peleburan aluminium paduan Al-Mg-Si hingga 900°C .
2. Waktu putar cetakan selama 120 detik.
3. Sudut putar cetakan sebesar 45° .
4. Temperatur pemanasan awal cetakan 300°C
5. Proses penuangan aluminium paduan Al-Mg-Si cair kedalam cetakan akan dilakukan dengan variasi putaran 500rpm; 1000rpm dan 1500rpm.

6. Proses penuangan alumunium paduan Al-Mg-Si cair kedalam cetakan akan dilakukan dengan variasi dimensi saluran cetakan dimensi saluran cetakan D, $3/4$ D dan $1/2$ D (dengan D = 18 mm).

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat sebagai berikut :

1. Mampu menerapkan teori yang didapatkan selama perkuliahan terutama berkenaan dengan teknologi pengecoran logam.
2. Memberikan masukan yang bermanfaat bagi industri pengecoran logam dalam peningkatan kualitas hasil coran.
3. Memberikan referensi tambahan bagi penelitian lebih lanjut mengenai pengecoran logam.

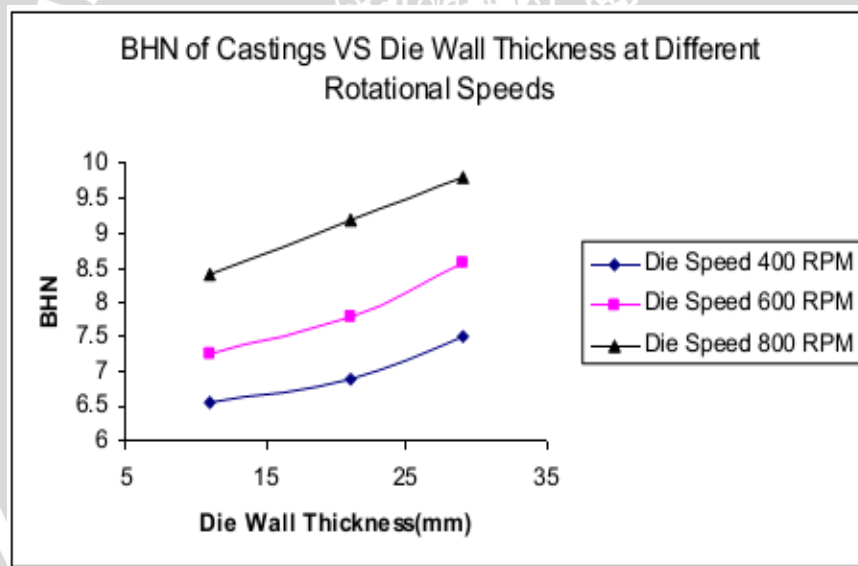


BAB II

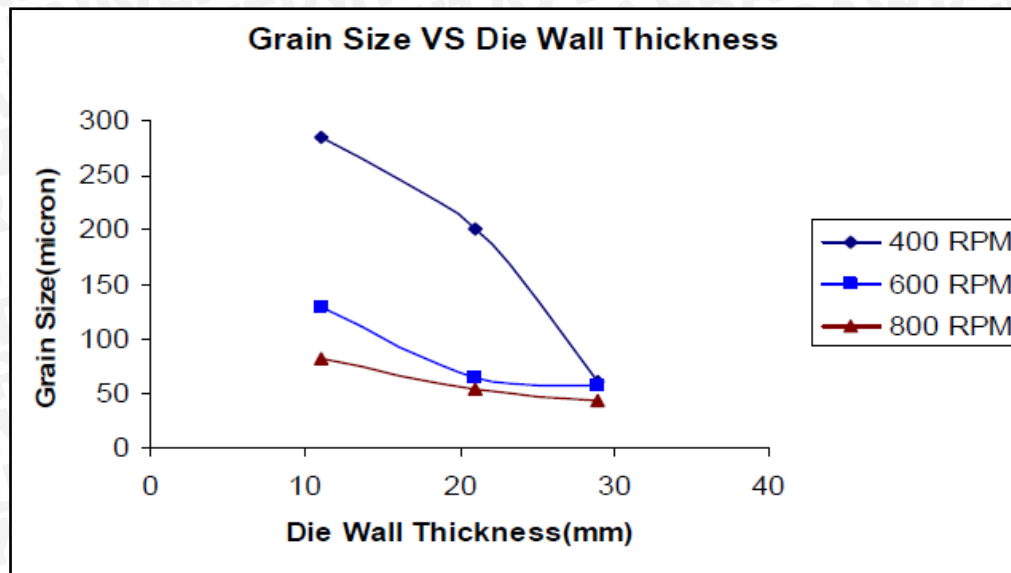
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Pengecoran sentrifugal merupakan salah satu metode dalam teknik pengecoran logam. Banyak faktor yang dapat mempengaruhi produk dari pengecoran sentrifugal salah satunya kecepatan putaran cetakan yang dapat berpengaruh pada hasil pengecoran sentrifugal. **Madhusudhan (2010)**, meneliti tentang *effect of mould wall thickness on microstructure of centrifugal casting* menyimpulkan bahwa ketebalan cetakan mempengaruhi laju dari pembekuan logam semakin tebal dinding cetakan maka pembekuan logam semakin cepat. Selain itu dengan kecepatan yang semakin meningkat laju pembekuan logam juga semakin cepat. Dengan laju pembekuan yang cepat maka struktur butiran yang terbentuk semakin kecil dan nilai kekerasannya juga semakin meningkat seperti yang terlihat pada gambar 2.1 dan 2.2.



Gambar 2.1 Grafik kekerasan terhadap ketebalan cetakan dengan kecepatan putar yang berbeda



Gambar 2.2 Grafik Ukuran butir terhadap ketebalan cetakan dengan kecepatan putar yang berbeda

Bagas (2013), meneliti tentang pengaruh kecepatan putar cetakan terhadap porositas dan *fatigue* terhadap produk silinder pejal berbahan Al-Mg-Si hasil pengecoran sentrifugal menyimpulkan bahwa semakin besar gaya sentrifugal akibat peningkatan kecepatan putar cetakan akan menyebabkan logam cair memiliki tekanan yang tinggi mengakibatkan udara akan terdorong ke tekanan yang lebih rendah sehingga prosentase porositasnya akan menurun.

2.2 Pengertian Pengecoran Logam

Pengecoran logam yaitu suatu proses mencairkan logam dalam dapur kemudian menuangkan logam cair tersebut kedalam cetakan, yang mana cetakan tersebut memiliki kemampuan untuk tahan terhadap temperatur tinggi dengan bentuk rongga cetakan (*cavity*) sesuai bentuk logam yang di buat, kemudian dibiarkan dingin hingga membeku. Dalam melakukan pengecoran logam terdapat beberapa urutan kegiatan yang harus dilakukan diantaranya membuat cetakan, pencairan logam, pembersihan logam, dan pemeriksaan hasil pengecoran.

Proses pengecoran logam merupakan salah satu dari metode pembentukan, yang mana metode pembentukan lainnya antara lain permesinan, penempaan, pengelasan, dan lain sebagainya. Proses pengecoran logam memiliki kelebihan dibandingkan dengan proses pembentukan yang lain. Kelebihannya antara lain :

1. Konstruksi dapat lebih sederhana.
2. Dapat digunakan untuk produksi massal.

3. Dengan proses ini kita dapat memperoleh sifat-sifat yang diinginkan.
4. Ukuran bervariasi, baik besar maupun kecil.

Secara umum proses pengecoran logam dikelompokkan berdasarkan cetakan menjadi dua, yaitu :

1. *Expendable Mold Casting*
2. *Permanent Mold Casting*

Expendable Mold Casting adalah cetakan yang mana hanya bisa digunakan pada sekali pengecoran saja. Bahan cetakan umumnya adalah pasir, gips, keramik, dan material sejenis yang dicampur dengan bahan pengikat.

Permanent Mold Casting adalah cetakan tetap yang secara umum terbuat dari material seperti baja, tembaga dan grafit. Pelapisan cetakan juga penting dalam mengatur laju pembekuan dari beberapa material coran. Pelapisan dengan menggunakan keramik sudah banyak diterapkan.

2.3 Pengecoran Sentrifugal

Pengecoran sentrifugal adalah suatu proses pengecoran yang mana cetakan diputar dan logam cair dituangkan ke dalamnya, sehingga didapatkan gaya sentrifugal akibat pemutaran cetakan hingga logam cair tersebut mengisi cetakan hingga membeku (Surdia, 1986). Pengecoran sentrifugal cocok digunakan untuk produk coran yang bersilinder. Cetakan yang digunakan dalam pengecoran sentrifugal yaitu cetakan permanen yang biasanya dibuat dari logam seperti besi atau baja dan grafit.

Dengan adanya pengaruh gaya sentrifugal ini, benda coran akan mengalami pemadatan dan membeku. Pemadatan ini akan semakin mengecil pada radius yang semakin kecil, karena gaya sentrifugal yang bekerja juga semakin kecil. Pada pengecoran sentrifugal logam cair bergerak rotasi sepanjang sumbu horizontal maupun vertikal. Pada pengecoran sentrifugal gaya sentrifugal pada logam cair yang berputar adalah sebanding dengan radius dan kuadrat dari kecepatan putarnya (Zemansky, 1985: 135).

$$F_c = m \cdot \omega^2 \cdot r \quad (2-1)$$

dengan :

F_c = Gaya sentrifugal (N)

m = Massa benda cor (kg)

r = Radius cetakan (m)

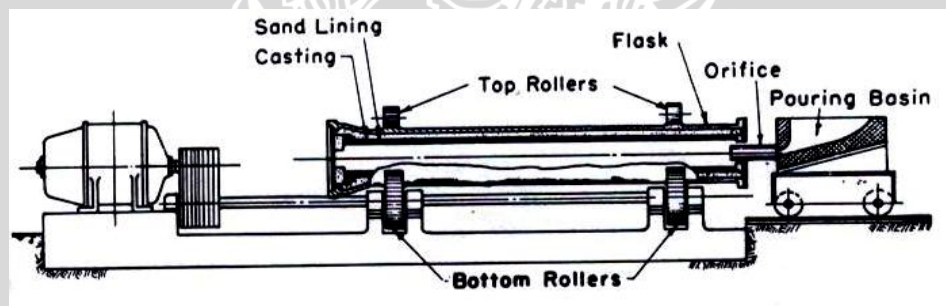
ω = Kecepatan putar (rad/s)

Pengecoran sentrifugal dikelompokkan menjadi tiga metode, yaitu :

1. Pengecoran sentrifugal sejati
2. Pengecoran semisentrifugal
3. Sentrifuging

2.3.1 Pengecoran Sentrifugal Sejati

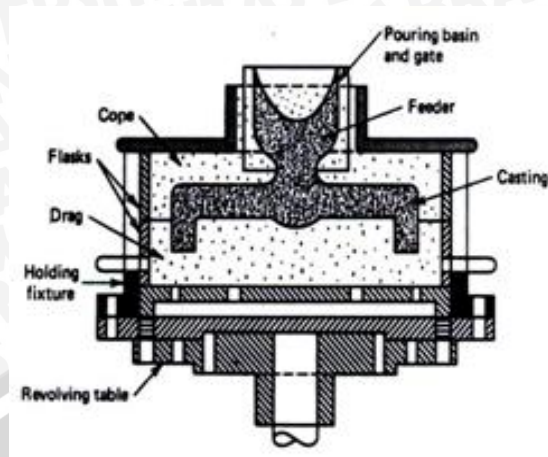
Cara ini digunakan untuk membuat lapisan pipa, lapisan (linear) mesin dan objek simetris lainnya. Cetakan diputar mengelilingi sumbu horizontal atau vertikal dan logam cair dituang melalui salah satu ujungnya. Akibat adanya gaya sentrifugal, logam cor diputar keluar dan menekan pada permukaan sehingga terbentuk rongga silindris. Besar putaran yang dikenakan bervariasi antara 600-3000 rpm (Jain, 1979: 51). Pengecoran sentrifugal sumbu horizontal metodenya mirip dengan proses pembuatan pipa.



Gambar 2.3 Pengecoran Sentrifugal Horizontal
Sumber : De Garmo, 1997 : 408

2.3.2 Pengecoran Semisentrifugal

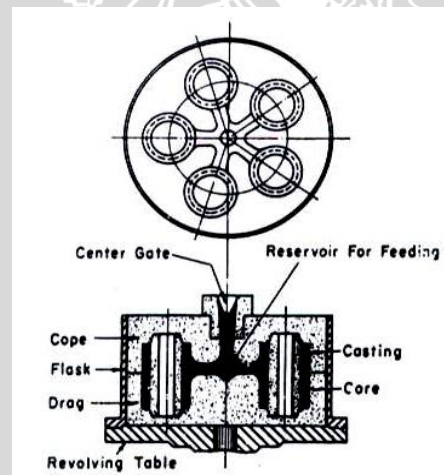
Pada proses ini cetakan diisi penuh dan berputar pada sumbu vertikal. Bila diperlukan dapat diberikan penambah atau inti. Bagian tengah dari cetakan biasanya padat, akan tetapi karena cetakan ditengahnya kurang, strukturnya kurang padat dan mungkin mengandung inklusi atau gelembung udara. Cara ini digunakan untuk membuat benda dengan lubang ditengah seperti roda. Bagian tengah nantinya diselesaikan dengan permesinan. Kecepatan putar lebih kecil dari kecepatan putar pada pengecoran cetakan susun.



Gambar 2.4 Pengecoran Semisentrifugal
Sumber: De Garmo, 1997 : 410

2.3.3 Sentrifuging

Logam cair dituangkan ke bagian tengah cetakan. Di sekelilingnya terdapat beberapa rongga cetakan dan dihubungkan secara radial dengan bagian tengah. Gaya sentrifugal yang bekerja pada logam cair ketika cetakan berputar menghasilkan benda cor yang padat.



Gambar 2.5 sentrifuging
Sumber : De Garmo, 1997 : 411

2.4 Sifat-sifat Logam Cair

2.4.1 Perbedaan Logam Cair dengan Air

Surdia dan Saito (1999: 1) menyebutkan bahwa logam cair adalah cairan seperti air tetapi berbeda dalam beberapa hal, yaitu:

1. Kecairan logam sangat tergantung pada temperatur dan logam cair akan cair seluruhnya pada temperatur tinggi sedangkan pada temperatur rendah berbeda dengan air dimana pada logam terdapat inti-inti kristal.
2. Berat jenis logam cair lebih besar dari berat jenis air.
3. Air menyebabkan permukaan dinding basah sedangkan logam tidak.

2.4.2 Kekentalan Logam Cair

Kekentalan logam cair tergantung pada temperatur, dimana pada temperatur tinggi kekentalan logam cair rendah sebaliknya pada temperatur rendah kekentalan logam cair menjadi tinggi. Proses pengentalan logam cair akan semakin bertambah cepat apabila logam cair didinginkan pada saat logam cair terbentuk inti-inti kristal. Juga dapat dikatakan kekentalan logam cair akan bertambah sebanding dengan penambahan inti kristal (Surdia dan Saito, 1999: 11).

Tabel 2.1 Koefisien kekentalan dan tegangan permukaan dari logam

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

Sumber : Surdia, T.1980 : 12

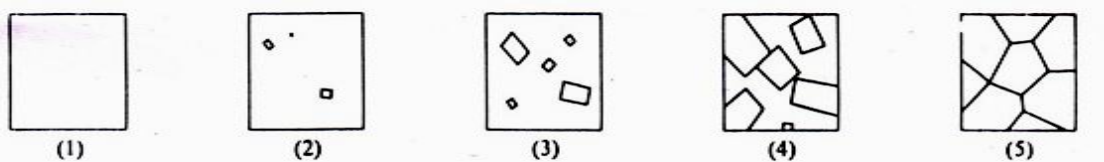
2.5 Proses Pembekuan Logam

Logam paduan membeku pada range temperatur, bukan pada titik temperatur tertentu. Pembekuan dimulai ketika temperatur turun dibawah fasa liquid dan selesai ketika mencapai fasa solid. Pada range temperatur ini logam dalam keadaan pasta (Kalpakjian, 1990:280).

Semua logam pada proses pengecoran, solidifikasi terjadi saat logam cair bersentuhan dengan cetakan, dimana terjadi *gradient temperature* yang tinggi, sehingga temperatur bagian luar logam cair lebih rendah daripada bagian dalam, sehingga inti kristal mulai terbentuk dari bagian dekat dengan cetakan, lalu berkembang ke bagian dalam, dari bentuk kecil lalu membesar sepanjang arah logam cair. Inti tersebut kemudian membentuk butir sepanjang luasan logam cair dan berbentuk kolom-kolom dan pada akhirnya memadat seluruhnya.

Secara detail pada proses pengintian akan timbul banyak inti sehingga banyak pula timbul dendrit, yang masing-masing memiliki arah/orientasi yang berbeda-beda. Dendrit akan berkembang lebih besar sehingga nantinya akan menyinggung dendrite-dendrit lain yang juga berkembang. Permukaan singgung ini disebut batas butir (*grain boundary*), sedangkan kristal yang dibatasi oleh batas butir, dalam arti bahwa inti-inti dari butir-butir lain (yang kurang stabil) akan mengikuti orientasi butir tersebut.

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



(1) Keadaan cair.

(2) Inti timbul.

(3) Kristal tumbuh sekeliling inti. Inti baru timbul.

(4) Kristal menyentuh tetangganya menghentikan pertumbuhannya.

(5) Pembekuan lengkap menjadi struktur berkristal banyak.

Gambar 2.6 Ilustrasi skematis dari pembekuan logam
Sumber: Surdia, T. 1980 : 14

2.6 Kecepatan Putar Cetakan

Kecepatan putar cetakan pada proses pengecoran sentrifugal merupakan banyaknya putaran yang dilakukan cetakan tiap satuan waktu. Kecepatan putar cetakan ini berkaitan langsung dengan proses solidifikasi dari logam ketika logam cair dituangkan kedalam cetakan. Hal ini dikarenakan kecepatan putar berhubungan dengan gaya sentrifugal, dari persamaan (2-

1) dapat diketahui bahwa kecepatan putar berbanding lurus dengan gaya sentrifugal, semakin besar kecepatan putar maka gaya sentrifugal juga semakin besar. Adanya gaya sentrifugal dimana arahnya meninggalkan pusat putaran akan menekan logam cair ke dinding cetakan sehingga didapatkan struktur butiran yang rapat dan padat. Selain itu menyebabkan terjadinya struktur *columnar* pada bagian dasar dan struktur *equaxed* pada bagian tengah serta mengakibatkan putusnya cabang dendrit yang berfungsi sebagai *grain refiner*, begitu juga akibat *solute enrichment*. Putusnya cabang dendrit adalah akibat dari *viscous force* (Rusli, 1995: 81).

Adanya kecepatan putar maka logam cair akan cepat menumbuk cetakan, maka akan didapatkan struktur butiran yang lebih rapat dan padat serta waktu untuk proses solidifikasi lebih lama sehingga struktur butiran lebih homogen.

2.7 Aluminium

2.7.1 Pengolahan Aluminium

Aluminium berasal dari bijih aluminium yang disebut bauksit. Untuk mendapatkan aluminium murni dilakukan proses pemurnian (biasanya digunakan proses Bayer) pada bauksit yang menghasilkan oksida aluminium atau alumina. Kemudian alumina ini dielektrolisa sehingga berubah menjadi oksigen dan aluminium.

Aluminium adalah logam terpenting dari logam non-fero. Penggunaan aluminium sebagai logam setiap tahunnya adalah yang kedua setelah besi dan baja (Surdia dan Saito, 1992: 129). Keutaman logam aluminium dalam bidang teknik adalah beberapa sifat-sifatnya yang baik, yaitu beratnya ringan, ketahanan aus, ketahanan korosi yang baik, konduktifitas listrik dan panas yang baik (De Garmo, 1998:157).

2.7.2 Sifat-sifat Bahan Aluminium Paduan

Aluminium mempunyai beberapa sifat-sifat fisik yang ditunjukkan pada tabel 2.2 sebagai berikut:

Tabel 2.2 Sifat-sifat fisik aluminium

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

Sumber: T.Surdia dan S.Saito, 1999:134

2.7.3 Klasifikasi Paduan Aluminium

Aluminium merupakan logam ringan yang mempunyai ketahanan korosi dan ahntaran listrik serta sifat-sifat yang baik lainnya sebagai logam. Adanya penambahan Cu, Mg, Si, Zn, Ni dan sebagainya akan meningkatkan kekuatan mekanik aluminium (Surdia dan Saito, 1999). Salah satu contoh dari aluminium paduan adalah paduan aluminium tempa (*Aluminium Wrought Alloy*). Paduan ini dibuat untuk dikerjakan dengan proses *forming* untuk menghasilkan bentuk ynag diinginkan seperti pelat, lembaran atau kawat.

Paduan yang dapat diperlaku-panaskan adalah paduan dimana kekuaannya dapat diperbaiki dengan pengerasan dan penempaaan, sedangkan paduan yang tidak dapat diperlaku-panaskan kekuatannya hanya dapat dilakukan dengan pengerjaan dingin (Wirjosumarto, 1987: 133).

1. Paduan Aluminium Tempa (*Aluminium Wrought Alloy*)

Paduan ini dibuat untuk dikerjakan dengan proses *forming* untuk menghasilkan bentuk yang diinginkan seperti pelat, lembaran atau kawat.

Tabel 2.3 Klasifikasi paduan aluminium tempa

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

Sumber : Surdia, T. 1999 : 134

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

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

Tabel 2.4 Klasifikasi paduan aluminium coran

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

Sumber : De Garmo, 1997 : 176

2.7.4 Pengaruh Unsur-unsur Paduan

Unsur-unsur pemadu aluminium antara lain:

1. Paduan Al-Cu

Jenis paduan Al-Cu adalah jenis yang dapat diperlaku-panaskan. Dengan melalui pengerasan endapan/penyepuhan sifat mekanis paduan ini dapat menyamai sifat dari baja lunak tetapi daya tahan korosinya lebih rendah bila dibandingkan jenis paduan lainnya (R.W. Heine, 1976:294). *Copper* adalah salah satu unsur paduan penting yang digunakan pada Al karena dengan paduan ini akan membentuk *solid-solution strengthening* dan dengan *heat treatment* yang sesuai dapat meningkatkan kekuatannya dengan membentuk *precipitate*. Kelarutan maksimal Cu didalam Al adalah pada kandungan 5,65 % Cu dengan temperatur berkisar 550°C. Kelarutan Cu akan turun sesuai dengan penurunan temperatur. Pada temperatur ruang batas kelarutan Cu didalam Al adalah kurang dari 0,1 %.

2. Paduan AL-Zn

Paduan ini lebih banyak mengandung Aluminium dan merupakan paduan yang memiliki ketahanan korosi yang baik. Dalam penggunaannya biasa di aplikasikan untuk konstruksi tempat duduk pesawat terbang, perkantoran dan konstruksi lainnya yang membutuhkan perbandingan antara ketahanan korosi dan berat yang tidak terlalu besar. Titik lebur dari aluminium paduan Al-Zn 476-657 °C.

3. Paduan Al-Mn

Mn merupakan unsur yang meperkuat aluminium tanpa mengurangi ketahanan korosinya dan dipakai untuk membuat paduan yang tahan korosi. Jumlah paduan yang terkandung dalam paduan ini adalah 25,3% (Surdia Tata, 1986 :136).

4. Paduan Al-Si

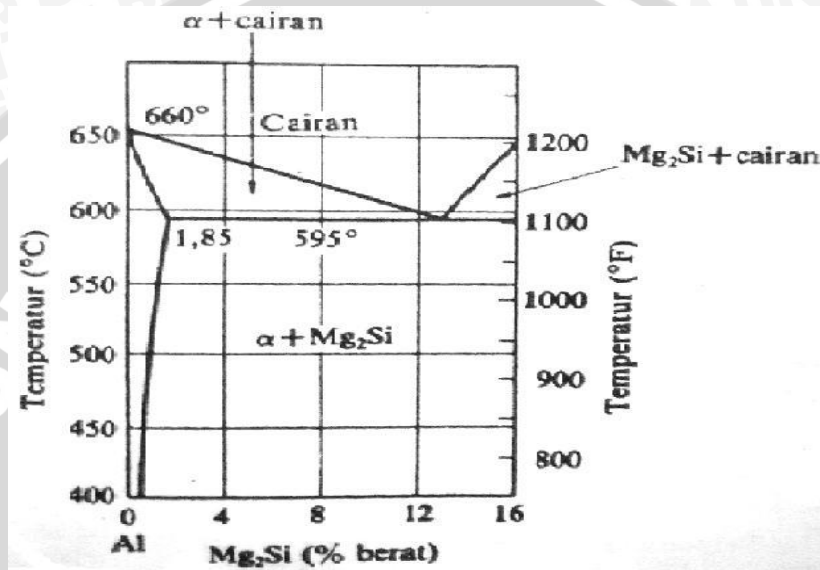
Paduan Al-Si adalah paduan yang sangat baik kecairannya yang memiliki permukaan coran yang sangat baik tanpa kegetasan panas. Sebagai tambahan, Si memiliki ketahanan korosi yang baik, koefisien muai yang kecil, penghantar panas yang baik, dan ringan.

5. Paduan Al-Mg

Paduan Al-Mg mempunyai ketahanan korosi yang sangat baik. Biasanya disebut *hidronalium* dan dikenal sebagai paduan yang tahan korosi. Cu dan Fe sangat berbahaya bagi ketahanan korosi, sehingga diperlukan perhatian khusus terhadap unsur pengotor tersebut.

6. Paduan Al-Mg-Si

Paduan Al-Mg-Si merupakan jenis paduan aluminium seri 6xxx, sebagai paduan praktis dapat diperoleh paduan 6053, 6063 dan 6061. Paduan dalam system ini mempunyai kekuatan yang kurang sebagai bahan tempaan dibandingkan dengan paduan-paduan lainnya, sangat liat, sangat baik untuk ekstrusi, dan sangat baik pula untuk diperkuat dengan perlakuan panas setelah pengerjaan.



Gambar 2.7 Diagram Fasa Paduan Al-Mg₂Si

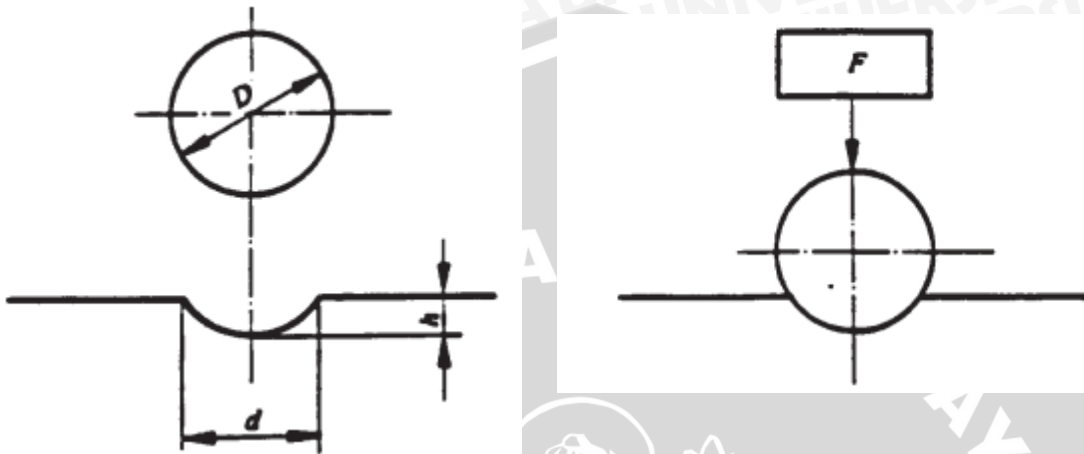
Sumber : Tata Surdia, pengetahuan bahan teknik (2005:139)

2.8 Pengujian Kekerasan

Kekerasan sebenarnya merupakan salah satu istilah yang sulit didefinisikan secara tepat, karena setiap bidang ilmu memberikan definisinya sendiri yang sesuai dengan persepsi dan keperluannya. Karena juga cara pengujian ada bermacam-macam tergantung konsep yang dianut. Dalam *engineer* yang menyangkut logam, kekerasan sering dinyatakan sebagai kemampuan untuk menahan indentasi/penetrasi/abrasi. Karena kekerasan mudah ditentukan dan tidak merusak contoh, cara pengujian ini sering dimanfaatkan untuk pengendalian mutu pada proses-proses perlakuan panas, pembentukan dingin maupun pembentukan panas. Bila nilai kekerasan merata, dapat ditarik kesimpulan umum bahwa sifat-sifat mekanisnya pun seragam. Ada perbedaan cara pengujian kekerasan yang berstandar yang digunakan untuk menguji kekerasan logam, antara lain pengujian *Brinell*, *Rockwell*, *Vickers*, *Shore* dan *Meyer*.

2.8.1 Pengujian Kekerasan *Brinell*

Kekerasan ini diukur dengan menggunakan alat pengukur kekerasan *brinell*. Cara pengukurannya yaitu dengan bola baja keras berdiameter D (mm) ditekan ke permukaan bagian yang diukur dengan beban F (kgf) (Surdia, 1996 : 204).



Gambar 2.8 Pengujian Kekerasan *Brinell*
Sumber : ASTM E 10-00, 2003.

2.8.2 Pengujian Kekerasan *Vickers*

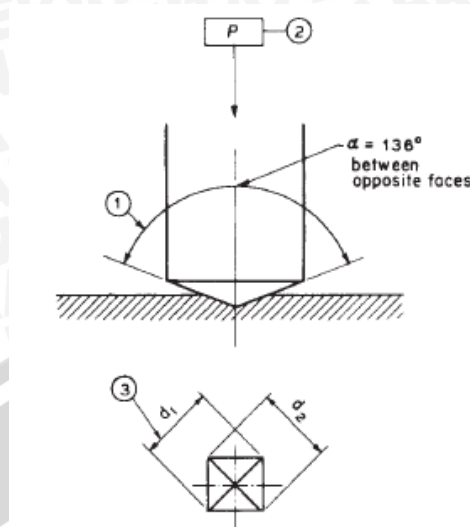
Pada metode pengujian Vickers digunakan indenter berbentuk piramida dengan sudut sebesar 136° seperti diperlihatkan pada gambar. Prinsip pengujian adalah sama dengan metode Brinell dimana pengujiannya menggunakan bola baja yang diperkeras dengan beban dan waktu indentasi tertentu hingga menghasilkan jejak berupa lingkaran. Namun pada pengujian Vickers, karena indenter yang digunakan berbentuk piramida, maka jejak yang dihasilkan berbentuk bujur sangkar berdiagonal. Panjang diagonal diukur dengan skala pada mikroskop pengukur jejak. Nilai kekerasan suatu material yang diuji dengan metode Vickers satuannya adalah VHN yang dinyatakan dengan :

$$VHN = \frac{1,8544 P}{d^2} \quad (2-2)$$

Dimana :

P = beban yang ditetapkan (kgf)

d = panjang diagonal jarak berlian (mm)



Gambar 2.9 Pengujian Kekerasan *Vickers*
Sumber : ASTM E 92-82, 2003.

2.8.2 Pengujian Kekerasan *Rockwell*

Kekerasan ini diukur dengan alat penguji kekerasan *rockwell*. Pengujian ini menggunakan bola baja seperti *brinell* hanya saja ukuran indentornya lebih kecil dibandingkan *brinell*, selain bola baja pengujian *rockwell* juga menggunakan kerucut intan dengan sudut puncak 120°.

2.9 Pengujian Porositas

2.9.1 Porositas Pada Pengecoran Logam

Porositas dapat terjadi karena terjebakny gelembung-gelembung gas pada logam cair ketika dituangkan kedalam cetakan (Budinski, 1996: 460). Porositas pada produk cor dapat menurunkan kualitas benda tuang. Salah satu penyebab terjadinya porositas pada penuangan logam adalah gas hydrogen. Porositas oleh gas hydrogen dalam benda cetak paduan aluminium akan memberikan pengaruh yang buruk pada kekuatan, serta kesempurnaan dari benda tuang tersebut. Penyebabnya antara lain control yang kurang sempurna terhadap absorpsi gas dengan logam selama peleburan dan penuangan.

Factor-faktor penting yang berhubungan dengan pembentukan porositas gas antara lain ialah:

- Unsur-unsur gas atau sumber yang terkandung dalam paduan
- Teknik dan kondisi peleburan

- Teknik atau cara pengeluaran gas dari logam
- Temperatur logam cair
- Uap air dalam udara
- Permeabilitas cetakan
- Uap air yang terkandung dalam cetakan
- Sumber-sumber gas yang terkandung dalam cetakan
- Bentuk saluran penuangan ataupun kecepatan penuangan

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

2.9.2 Jenis-jenis Porositas Pada Pengecoran Logam

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

- *Cavity Porosity* (Porositas Rongga)

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

- *Microporosity* (Porositas Mikro)

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

Dua jenis karakteristik porositas mikro yang pertama porositas mikro yang disebarkan dengan seragam keseluruh bagian, disebut dengan porositas mikro yang tersebar (*dispersed microporosity*). Didalam jenis yang kedua yang disebarkan dalam lapisan-lapisan pertemuan bagian, disebut dengan porositas mikro lapisan (*layer microporosity*). Dikarenakan pori-pori ini dimulai dari lokasi interdendritik mungkin diharapkan menjadi sungguh kecil. Ukuran 5-10

µm untuk pori-pori didalam butir equaxed. Ukuran ini sangat kecil bahkan pori-pori kadang-kadang sulit untuk dideteksi.

2.9.3 Densitas

Densitas (simbol: ρ) adalah sebuah ukuran massa per volum. Rata-rata kepadatan adri suatu obyek yang massa totalnya dibagi oleh volum totalnya.

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

Keterangan :

ρ = kepadatan sebuah benda (gr/cm^3)

m = massa total benda (gr)

v = volum benda (cm^3)

2.9.3.1 Macam Densitas

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

- *True density*

Kepadatan dari sebuah benda padat tanpa porositas yang terdapat didalamnya. Didefinisikan sebagai perbandingan massanya terhadap volum sebenarnya (gr/cm^3). Persamaan yang ada pada standar ASTM E252-84 yaitu:

$$\rho_{th} = \frac{100}{\left\{ \frac{\%Al}{\rho_{Al}} + \frac{\%Cu}{\rho_{Cu}} + \frac{\%Fe}{\rho_{Fe}} + etc. \right\}} \quad (2-4)$$

Dengan :

ρ_{th} = densitas teoritis atau *True density* (gr/cm^3)

$\rho_{Al}, \rho_{Cu}, \rho_{Fe}$ etc = densitas unsur (gr/cm^3)

%Al, %Cu, %Fe, etc = Prosentase berat unsure (%)

- *Apparent density*

Berat setiap unit volum material termasuk cacat (void) yang terdapat dalam material yang diuji (gr/cm^3). Standar ASTM B311-93 sebagaimana berikut:

$$\rho_s = \rho_w \frac{w_s}{w_s - (w_{sb} - w_b)} \quad (2-5)$$

Dengan :

ρ_s = densitas sampel atau *Apparent density* (gr/cm^3)

ρ_w = densitas air (gr/cm^3)

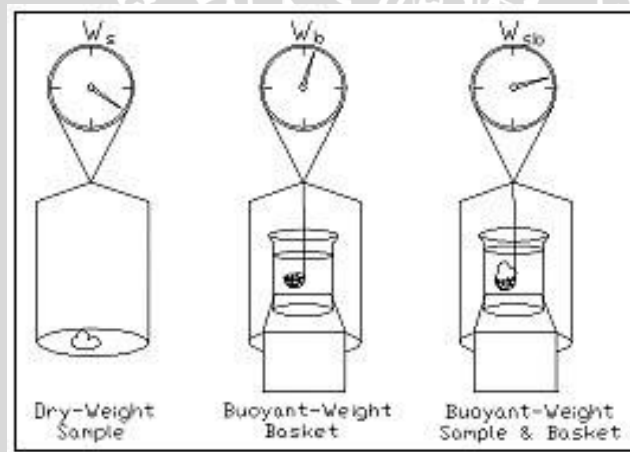
w_s = berat sampel diluar air (gr)

w_{sb} = berat sampel dan keranjang didalam air (gr)

w_b = berat keranjang didalam air (gr)

2.9.3.2 Pengukuran Densitas Menggunakan Metode Piknometri

Piknometri adalah sebuah proses membandingkan densitas relatif dari sebuah padatan dan sebuah cairan. Jika dari cairan diketahui, densitas dari padatan dapat dihitung. Proses dapat digambarkan secara skematik dalam gambar 2.10.



Gambar 2.10 Skema Piknometri
Sumber: Taylor, 2000

Tipe pengukuran berat yang dibuat adalah w_s = pengukuran berat kering (*dry weight*). W_{sb} = pengukuran berat apung keranjang dan sampel, dan w_b = pengukuran berat apung keranjang. Pada gambar, pengukuran berat apung dibuat dengan menggantungkan sampel menggunakan suatu keranjang kawat dalam sebuah bejana berisi cairan yang disangga oleh sebuah penyeimbang yang menggunakan kawat.

2.9.4 Perhitungan Porositas

Perhitungan prosentase porositas yang terjadi dapat diketahui dengan membandingkan densitas sampel atau *apparent density* dengan densitas teoritis atau *true density* (Taylor, 1999), yaitu:

$$\%P = \left(1 - \frac{\rho_s}{\rho_{th}}\right) \times 100 \quad (2-6)$$

Dengan :

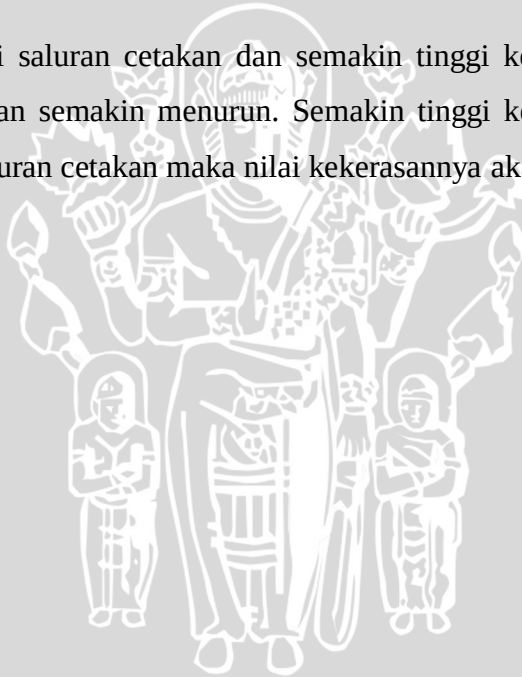
$\%P$ = prosentase porositas (%)

ρ_s = densitas sampel atau *Apparent density* (gr/cm³)

ρ_{th} = densitas teoritis atau *True density* (gr/cm³)

2.10 Hipotesa

Semakin kecil dimensi saluran cetakan dan semakin tinggi kecepatan putar cetakan maka prosentase porositas akan semakin menurun. Semakin tinggi kecepatan putar cetakan dan semakin besar dimensi saluran cetakan maka nilai kekerasannya akan semakin meningkat.



BAB III

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian eksperimental nyata (*true experimental research*) yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh kecepatan putar terhadap distridusi kekerasan dan cacat porositas silinder alumunium paduan Al-Mg-Si hasil pengecoran sentrifugal. Dengan asumsi variabel yang lain konstan. Kajian literatur dari berbagai sumber baik dari buku, jurnal yang ada di perpustakaan maupun dari internet juga dilakukan untuk menambah informasi yang diperlukan.

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Pengecoran Logam Teknik Mesin Universitas Brawijaya, Laboratorium Proses Produksi I Teknik Mesin Universitas Brawijaya, Laboratorium Pengujian Bahan Teknik Mesin Universitas Brawijaya. Adapun waktu penelitian dimulai pada bulan Oktober 2012.

3.2 Variabel Penelitian

Variabel penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Variabel bebas

Variabel bebas adalah variabel yang besarnya ditentukan sebelum penelitian. Variabel bebas yang digunakan dalam penelitian ini yaitu :

- Kecepatan putar sebesar 500rpm; 1000rpm dan 1500rpm.
- Dimensi saluran cetakan D, 3/4 D dan 1/2 D (D=18 mm)

2. Variabel terikat

Variabel terikat adalah variabel yang besarnya bergantung dari variabel bebas. Variabel terikatnya yaitu :

- a. Kekerasan benda hasil coran setelah di *finishing*.
- b. Besar porositas benda hasil coran sebelum di *finishing*.

3. Variabel terkontrol

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

- a. Temperatur peleburan : 900° C

- b. Waktu putar cetakan : 120 detik
- c. Sudut putar cetakan : 45°
- d. Pemanasan awal cetakan : 300°C

3.3 Peralatan dan Bahan yang Digunakan

3.3.1 Peralatan yang Digunakan

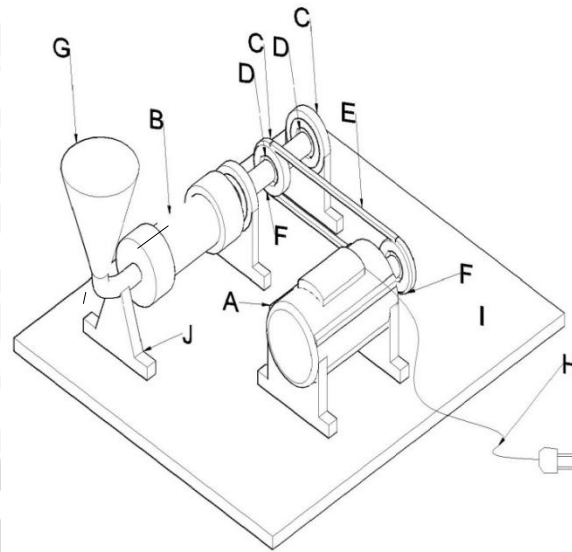
Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Dapur listrik digunakan untuk proses peleburan Al-Si-Mg.
2. Cetakan logam.
3. Mesin pemutar cetakan.
4. *Tachometer* untuk mengukur kecepatan putar cetakan.
5. Cawan tuang (ladel).
6. Peralatan *safety* (standart laboratorium).
7. Infrared digital termometer.
8. *Stop watch*.
9. Kamera digital.
10. Timbangan digital.
11. *Micro Vickers Hardness Tester*
12. *Power Hacksaw*.

3.3.2 Bahan yang digunakan

Aluminium paduan Al-Mg-Si seri 6061.

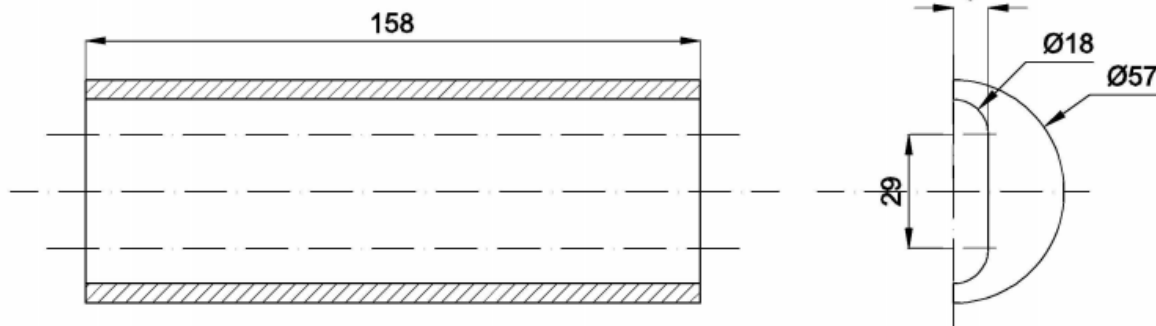
3.4 Instalasi Penelitian



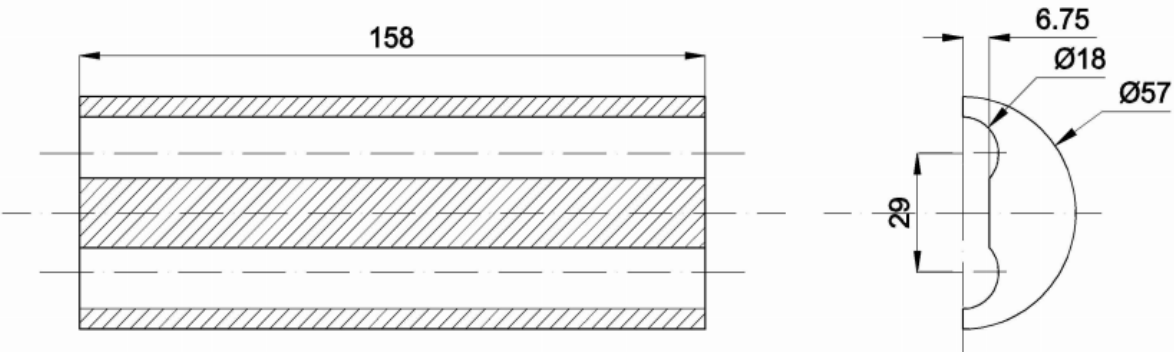
- Keterangan :
- A. Motor Listrik
 - B. Tabung Cetakan
 - C. Rumah Bearing
 - D. Bearing
 - E. Belt
 - F. Pulley
 - G. Corong
 - H. Kabel Ac (*Alternating Current*)
 - I. Dudukan Cetakan
 - J. Dudukan Corong

Gambar 3.1 Instalasi Penelitian

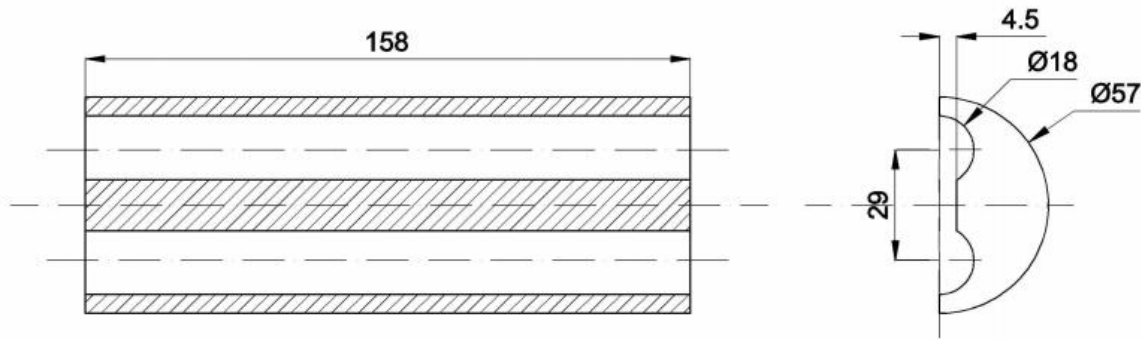
3.5 Dimensi Cetakan



Gambar 3.2 Dimensi Saluran Cetakan D

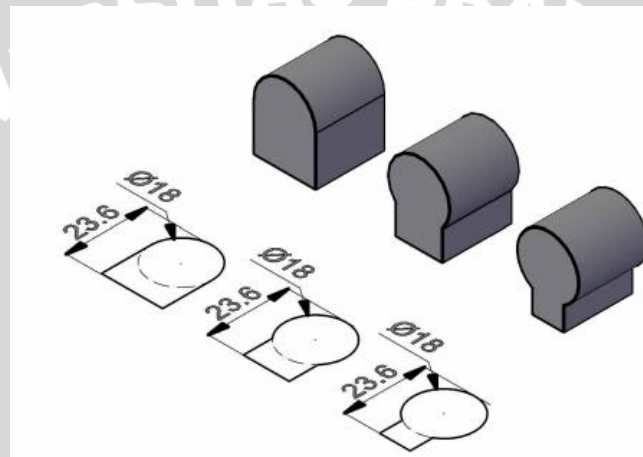


Gambar 3.3 Dimensi Saluran Cetakan 3/4 D

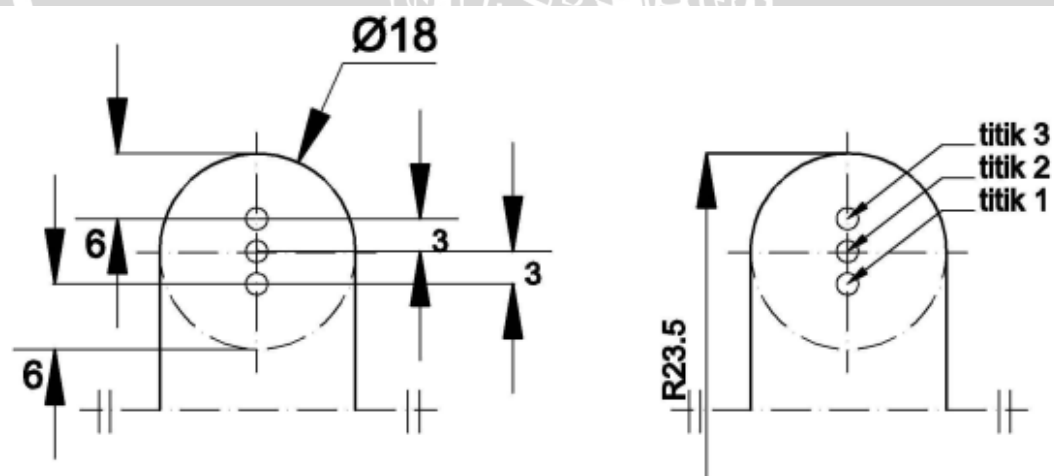


Gambar 3.4 Dimensi Saluran Cetakan 1/2 D

3.6 Dimensi Coran Setelah *Finishing*



Gambar 3.5 Dimensi Coran Setelah *Finishing*



Gambar 3.6 Lokasi titik uji kekerasan

3.7 Prosedur Penelitian

3.7.1 Langkah-langkah penelitian

Langkah-langkah yang diambil dalam penelitian ini :

1. Persiapan percobaan yaitu menyiapkan dapur peleburan, menyiapkan alat mesin pemutar cetakan, kemudian memasang cetakan.
2. Meleburkan material sampai temperatur 900°C dalam dapur listrik.
3. Penuangan logam cair kedalam cetakan yang berputar dengan mengatur variasi kecepatan putar yaitu (1500, 1000, 500 rpm) dan dimensi saluran cetakan D, 3/4 D dan 1/2 D pada temperatur penuangan dan temperatur cetakan.
 - Pengecoran pertama dilakukan dengan menuangkan logam cair kedalam cetakan dengan kecepatan putar cetakan 1500 rpm dan diameter saluran cetakan D, 3/4 D dan 1/2 D.
 - Pengecoran kedua dilakukan dengan menuangkan logam cair kedalam cetakan dengan kecepatan putar cetakan 1000 rpm dan diameter saluran cetakan D, 3/4 D dan 1/2 D.
 - Pengecoran ketiga dilakukan dengan menuangkan logam cair kedalam cetakan dengan kecepatan putar cetakan 500 rpm dan diameter saluran cetakan D, 3/4 D dan 1/2 D.

3.7.2 Prosedur pengambilan dan pengolahan data uji porositas

Dari hasil pengecoran sentrifugal kemudian dilakukan pengujian untuk mengetahui besar kekerasan dan cacat porositasnya.

1. Mengambil spesimen hasil coran dari dimensi saluran cetakan D dan kecepatan putar 1500 rpm.
2. Mengambil data dan menganalisa besar cacat porositas pada spesimen.
3. Melakukan pengulangan langkah 1 dan 2 pada spesimen lainnya yang di dapat dari dimensi saluran D dan kecepatan putar 1500 rpm.
4. Melakukan pengulangan 1 sampai 3 untuk spesimen hasil dari dimensi saluran 3/4 D dan 1/2 D pada kecepatan putar cetakan 1500 rpm.
5. Melakukan pengulangan 1 sampai 4 untuk spesimen hasil dari dimensi saluran D, 3/4 D dan 1/2 D pada kecepatan putar cetakan 1000 rpm dan 500 rpm.

6. Melakukan analisa dan pembahasan dari data-data tersebut.
7. Kesimpulan.

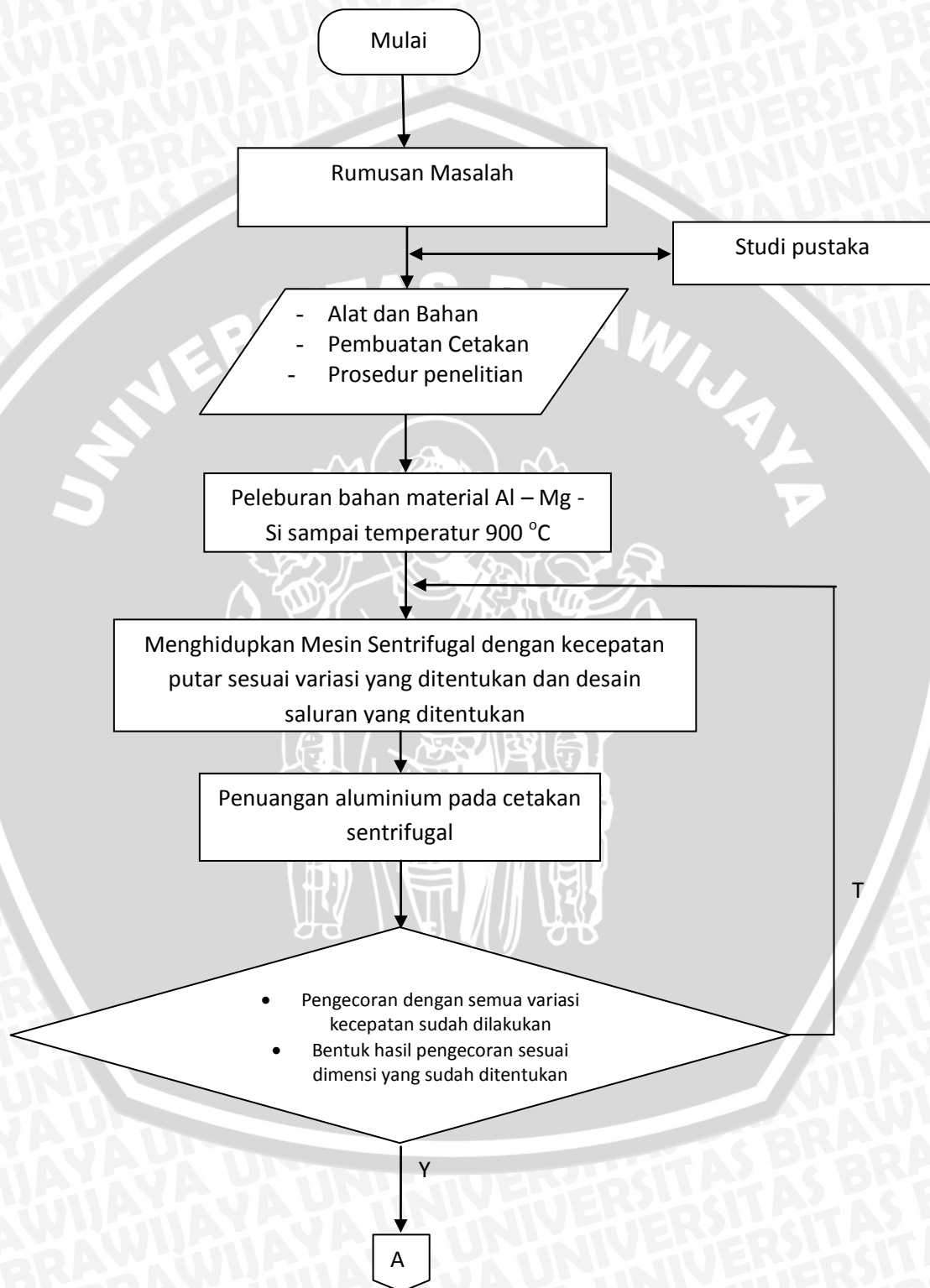
3.7.3 Prosedur pengambilan dan pengolahan data kekerasan

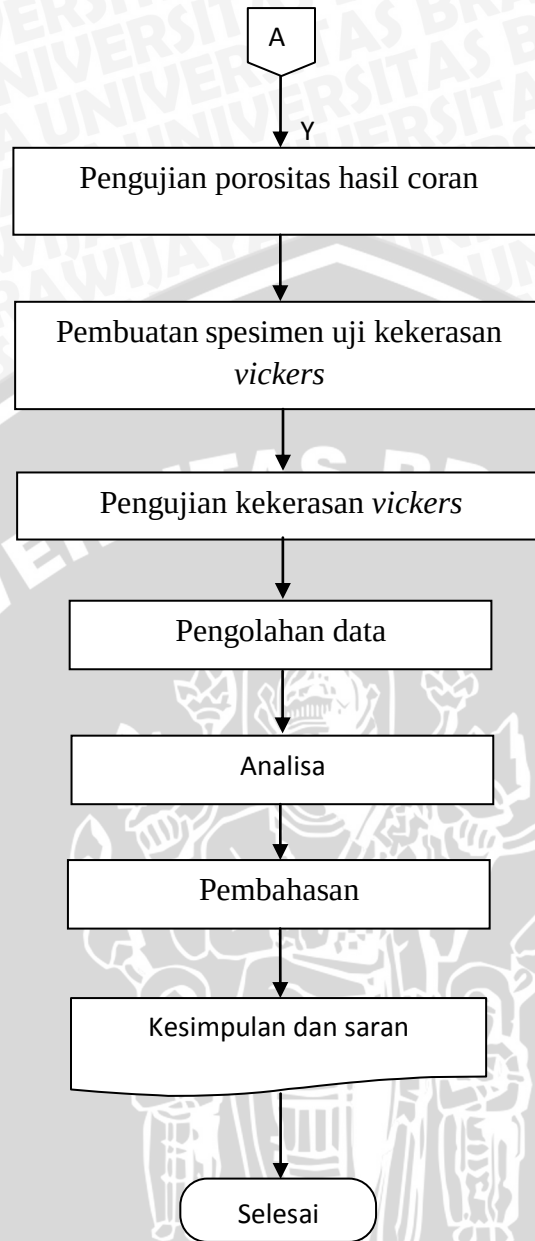
Dari hasil coran dilakukan pengujian untuk mengetahui besarnya kekerasan sebagai berikut :

1. Mengambil benda kerja hasil coran dengan variasi dimensi saluran cetakan D dan kecepatan putar 1500 rpm.
2. Melakukan *finishing* benda kerja.
3. Pengambilan data:
 - a. Menyiapkan alat uji kekerasan.
 - b. Menyiapkan spesimen yang akan diuji.
 - c. Melakukan pengujian kekerasan pada titik yang sudah ditentukan.
4. Melakukan pengulangan langkah 1 sampai 3 pada tiga spesimen lainnya dengan variasi dimensi saluran $3/4 D$ dan $1/2 D$ pada kecepatan putar 1500 rpm..
5. Melakukan pengulangan 1 sampai 4 untuk spesimen dengan variasi dimensi saluran D, $3/4 D$ dan $1/2 D$ pada kecepatan putar 1000rpm dan 500rpm.
6. Pengolahan data hasil pengujian.
7. Melakukan analisa dan pembahasan dari data-data yang diperoleh.
8. Mengambil kesimpulan.

3.8 Diagram Alir Penelitian

Berikut adalah flowchart penelitian mulai dari persiapan hingga akhir





BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data dan Perhitungan Hasil Pengujian

4.1.1 Data dan Prosentase Perhitungan Porositas

Untuk mengetahui jumlah prosentase cacat porositas pada hasil coran yaitu dengan membandingkan densitas sampel atau *apparent density* dengan densitas teoritis atau *true density* (Taylor, 2000) dengan rumus (2-5) di bawah ini:

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

dengan:

$\%P$ = Prosentasi porositas (%)

ρ_s = Densitas sampel atau *Apparent Density* (gr/cm³).

ρ_{th} = Densitas teoritis atau *True Density* (gr/cm³).

4.1.1.1 Perhitungan *True Density*

Perhitungan true density menggunakan standar ASTM E252-84 rumus (2-4) di bawah ini:

$$\rho_{th} = \frac{100}{\left\{ \left(\frac{\%Al}{\rho_{Al}} \right) + \left(\frac{\%Cu}{\rho_{Cu}} \right) + \left(\frac{\%Fe}{\rho_{Fe}} \right) + etc \right\}}$$

dengan:

ρ_{th} = Densitas teoritis atau *True Density* (gr/cm³).

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

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

dengan tahapan:

- a. Data densitas unsure diperoleh dari tabel unsure
- b. Data prosentase berat unsur diperoleh dari hasil uji komposisi menggunakan *Spark Spectromete*

Tabel 4.1 Perhitungan densitas unsur dan prosentase berat

Unsur	Densitas 1/(g/cm ³)	Prosentase Berat (%)	Densitas x Prosentase Berat
Si	0.4292	0.661	0.2837012
Fe	0.1271	0.248	0.0315208
Cu	0.1116	0.187	0.0208692
Mn	0.1346	0.034	0.0045764
Mg	0.5522	1.023	0.5649006
Zn	0.1401	0.055	0.0077055
Ti	0.2219	0.010	0.002219
Cr	0.1391	0.107	0.0148837
Ni	0.1123	0.017	0.0019091
Pb	0.0882	0.008	0.0007056
Sn	0.1371	0.004	0.0005484
V	0.1639	0.010	0.001639
Cd	0.1156	0.002	0.0002312
Total A		2.366	0.9354097
Al	0.3705	97.634	36.173397
		Total B	37.1088067

Contoh perhitungan:

$$\begin{aligned}
 \rho_{th} &= \frac{100}{\left\{ \left(\frac{\%Al}{\rho_{Al}} \right) + \left(\frac{\%Cu}{\rho_{Cu}} \right) + \left(\frac{\%Fe}{\rho_{Fe}} \right) + etc \right\}} \\
 &= \frac{100}{TotalB} \\
 &= \frac{100}{37.1088067} \\
 &= 2.695 \text{ gr/cm}^3
 \end{aligned}$$

4.1.1.2 Perhitungan *Apparent Density*

Data hasil penimbangan menggunakan metode piknometri dan standar ASTM B311-93 dihitung menggunakan rumus (2-5) dibawah ini:

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

dengan:

ρ_s = Densitas sampel atau *Apparent Density* (gr/cm³).

ρ_w = Densitas air (gr/cm³).

W_s = Berat sampel di udara (gr)

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

W_b = Berat keranjang di dalam air (gr)

Setelah dilakukan penimbangan hasil coran perpotongan dengan menggunakan metode piknometri maka dapat disajikan data penimbangan dengan Table 4.2 di bawah ini:

Tabel 4.2 Data hasil penimbangan

Kecepatan Putar Cetakan (rpm)	Dimensi Saluran Cetakan (D = 18mm)	Pengulangan	$W_{s(qr)}$	$W_{b(qr)}$	$W_{sb(qr)}$
500	1/2D	1	249.58	1.88	157.6
		2	251.27	1.88	158.23
		3	252.73	1.88	160.53
	3/4D	1	270.2	1.88	170.17
		2	271.09	1.88	170.34
		3	276.63	1.88	173.68
	D	1	307.09	1.88	191.68
		2	307.3	1.88	190.51
		3	308.33	1.88	191.15
	1/2D	1	244.88	1.88	155.6
		2	250.7	1.88	159.64
		3	258.83	1.88	164.74
1000	3/4D	1	272.15	1.88	173.3
		2	278.48	1.88	175.15
		3	280.42	1.88	177.82
	D	1	316.57	1.88	197.96
		2	319.76	1.88	200.47
		3	321.6	1.88	201.73
	1/2D	1	254.85	1.88	163.31
		2	261.46	1.88	166.93
		3	262.62	1.88	168.22
	3/4D	1	277.99	1.88	175.03
		2	280.07	1.88	176.19
		3	289.51	1.88	182.45
1500	D	1	320.52	1.88	203.05
		2	324.91	1.88	204.52
		3	326.93	1.88	206.02

Sehingga diperoleh perhitungan *Apparent Density* sebagai berikut:

Tabel 4.3 Data *Apparent Density*

Dimensi Saluran Cetakan	Kecepatan Putar Cetakan (rpm)		
(D =18mm)	500	1000	1500
1/2D	2.60588	2.63254	2.67344
	2.59423	2.64349	2.65772
	2.63260	2.64304	2.67311
Jumlah Nilai rata-rata	2.6109	2.63969	2.66809
3/4D	2.59833	2.64774	2.64598
	2.58860	2.59395	2.64216
	2.58606	2.630279	2.65010
Jumlah Nilai rata-rata	2.591	2.62399	2.64608
D	2.56584	2.57480	2.63183
	2.53774	2.58615	2.60416
	2.53790	2.58864	2.60926
Jumlah Nilai rata-rata	2.54716	2.58320	2.61508

Contoh perhitungan menggunakan data kecepatan putar cetakan 500 rpm dengan dimensi saluran 1/2 D:

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

$$= 0.98 \frac{249.58}{249.58 - (157.6 - 1.88)}$$

$$= 2.60588 \text{ gr/cm}^3$$

4.1.1.3 Perhitungan Prosentase Porositas

Perhitungan prosentase porositas menggunakan rumus (2-6) sebagaimana berikut ini:

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

dengan:

$\%P$ = Prosentasi porositas (%)

ρ_s = Densitas sampel atau *Apparent Density* (gr/cm³).

ρ_{th} = Densitas teoritis atau *True Density* (gr/cm³).

Tabel 4.4 Data Prosentase Porositas (%)

Dimensi Saluran Cetakan (D=18mm)	Kecepatan Putar Cetakan		
	500	1000	1500
1/2D	3.1269	2.1360	0.6155
	3.5601	1.7289	1.1999
	2.9402	1.7453	0.8143
Jumlah Nilai rata-rata	3.2090	1.8701	0.8766
3/4D	3.4077	1.5709	1.6363
	3.7694	3.5703	1.7780
	3.8636	2.2201	1.4832
Jumlah Nilai rata-rata	3.6802	2.4537	1.6325
D	4.6153	4.2822	2.1622
	5.6601	3.8602	3.1907
	5.6539	3.7677	3.0013
Jumlah Nilai rata-rata	5.3098	3.9701	2.7847

Contoh perhitungan menggunakan data kecepatan putar 500 rpm dengan dimensi saluran 1/2 D:

$$\begin{aligned}
 \%P &= \left(1 - \frac{\rho_s}{\rho_{th}}\right) \times 100\% \\
 &= \left(1 - \frac{2.60588}{2.69}\right) \times 100\% \\
 &= 3.1269\%
 \end{aligned}$$

4.1.1.4 Data Hasil Pengujian Kekerasan

Tabel 4.5 Data Kekerasan (VHN)

Dimensi saluran Cetakan	Titik Uji Kekerasan	Kecepatan Putaran Cetakan		
		500	1000	1500
1/2D	1	58.48	67.3	74.96
	2	56.83	66.7	74.28
	3	55.48	65.28	73.81
Jumlah nilai rata-rata		56.93	66.43	74.35
3/4D	1	62.01	70.9	77.63
	2	61.16	70.28	76.78
	3	59.14	69.92	76.45
Jumlah nilai rata-rata		60.77	70.37	76.95
D	1	65.71	72.3	80.21
	2	64.64	71.8	79.36
	3	63.6	71.12	78.51
Jumlah nilai rata-rata		64.65	71.74	79.36

4.2 Pembahasan

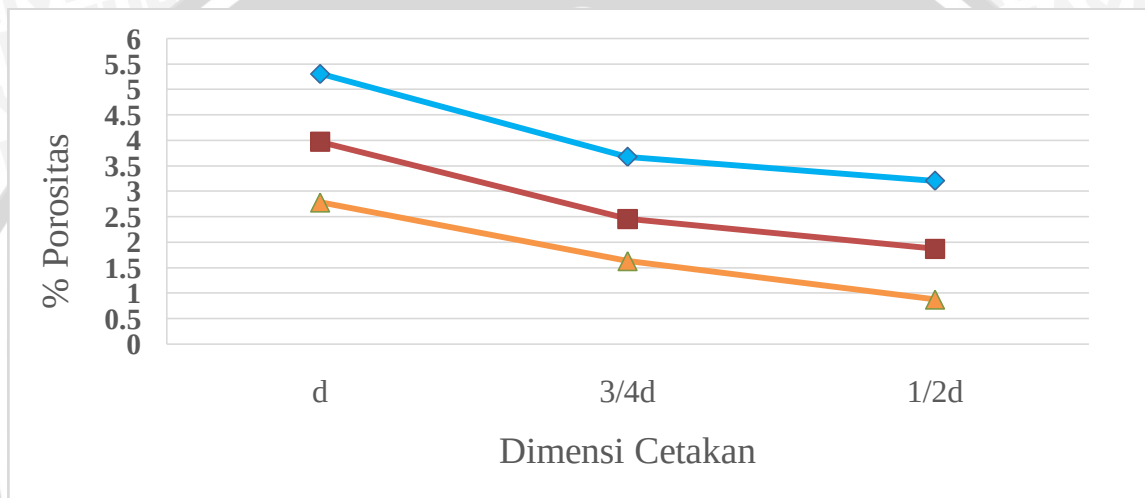
Prinsip dasar dari proses pengecoran sentrifugal adalah menuangkan logam cair kedalam cetakan yang berputar. Dengan adanya gaya sentrifugal, logam cair terlempar dari sumbu putarnya ke dinding cetakan dan tertekan pada permukaan cetakan. Besarnya gaya sentrifugal dipengaruhi oleh massa benda cor, kecepatan putar dan jari-jari cetakan seperti pada rumus (2-1).

Seringkali terjadi berbagai macam cacat yang tersebar pada hasil coran dan salah satunya adalah cacat porositas. Kecepatan putar cetakan dan dimensi saluran cetakan pada pengecoran sentrifugal merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi cacat porositas dan kekerasan hasil coran. Berbagai macam kondisi pada saat proses penuangan dapat

mempengaruhi letak dari cacat porositas dan perubahan nilai kekerasan hasil coran. Hal ini bisa terjadi karena beberapa faktor antara lain, temperatur cetakan, temperatur penuangan, oksidasi di dalam cetakan, dan saluran udara.

4.2.1 Analisis Pengaruh Dimensi Saluran Cetakan dan Kecepatan Putar Cetakan Terhadap Porositas Hasil Pengecoran Sentrifugal

Hubungan antara kecepatan putar cetakan terhadap cacat porositas diperlihatkan pada Gambar 4.1 di bawah ini:

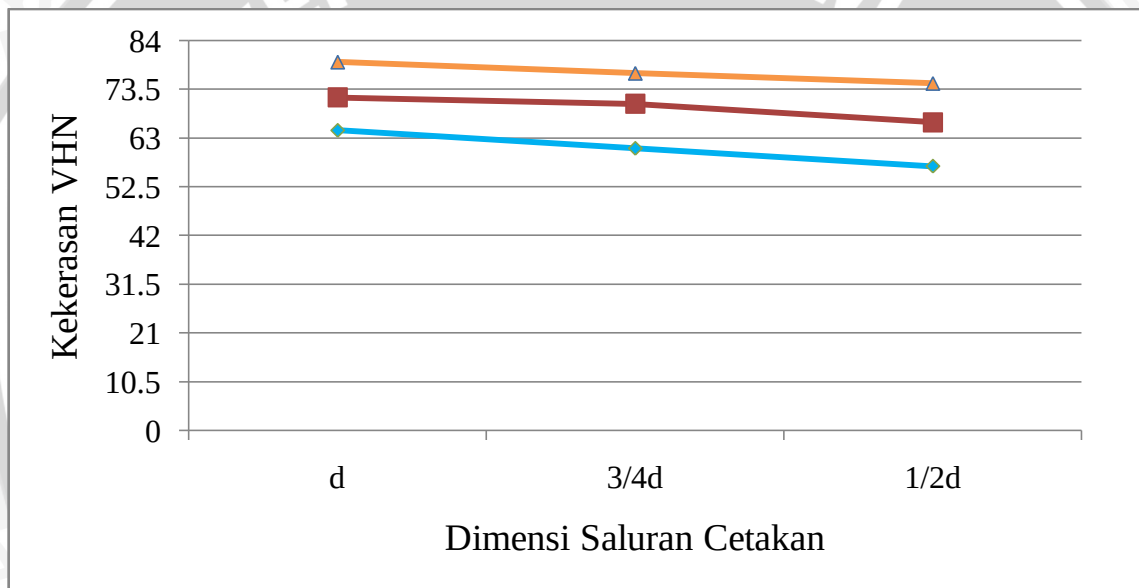


Gambar 4.1 Grafik Pengaruh Kecepatan Putar Cetakan terhadap Porositas Sebelum Permesinan Hasil Pengecoran Sentrifugal

Pada grafik dapat dilihat bahwa rata-rata prosentase porositas akan semakin menurun pada kecepatan yang semakin rendah dan dimensi saluran cetakan yang semakin besar. Prosentase porositas terendah terjadi pada kecepatan putar 1500 rpm dengan dimensi saluran cetakan $\frac{1}{2}$ D rata-rata prosentase porositasnya sebesar 0.8766%, pada kecepatan yang sama pada dimensi saluran $\frac{3}{4}$ D dan D rata-rata prosentase porositasnya sebesar 1.6325% dan 2.7847%. Sedangkan prosentase porositas paling tinggi terjadi pada kecepatan putar 500 rpm dengan dimensi saluran cetakan $\frac{1}{2}$ D rata-rata prosentase porositasnya sebesar 3.2090%, pada kecepatan yang sama pada dimensi saluran $\frac{3}{4}$ D dan D rata-rata prosentase porositasnya sebesar 3.6802% dan 5.3098%. Hal ini disebabkan karena gaya sentrifugal yang dipengaruhi oleh kecepatan putar seperti yang dijelaskan pada persamaan (2-1), dengan semakin meningkatnya kecepatan putar (ω) maka gaya sentrifugal (F) juga akan semakin meningkat. Adanya gaya sentrifugal yang meninggalkan pusat putaran menyebabkan logam cair terlempar

ke dinding cetakan sehingga logam cair akan tertekan ke dinding cetakan, maka struktur butiran menjadi lebih rapat dan padat akibat mendapat tekanan dari gaya sentrifugal, sehingga udara yang ada dalam logam cair akan terdorong keluar melalui permukaan pisah cetakan dan bebas keluar dari logam cair. Selain itu dengan semakin kecil dimensi saluran cetakan maka volume logam cair yang masuk kedalam cetakan saat penuangan akan semakin sedikit sehingga prosentase porositasnya akan semakin menurun.

4.2.2 Analisis Pengaruh Dimensi Saluran Cetakan dan Kecepatan Putar Cetakan Terhadap Kekerasan Hasil Pengecoran Sentrifugal

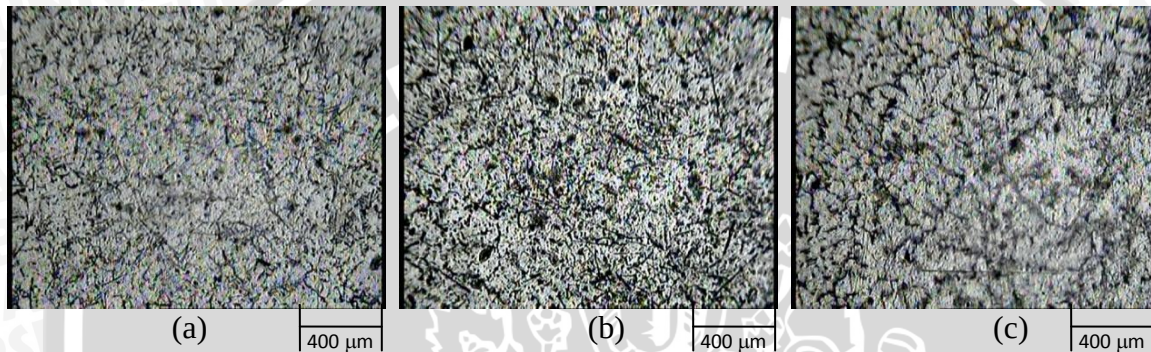


Gambar 4.2 Grafik Pengaruh Dimensi Saluran dan Kecepatan Putar Cetakan terhadap Kekerasan Hasil Pengecoran Sentrifugal

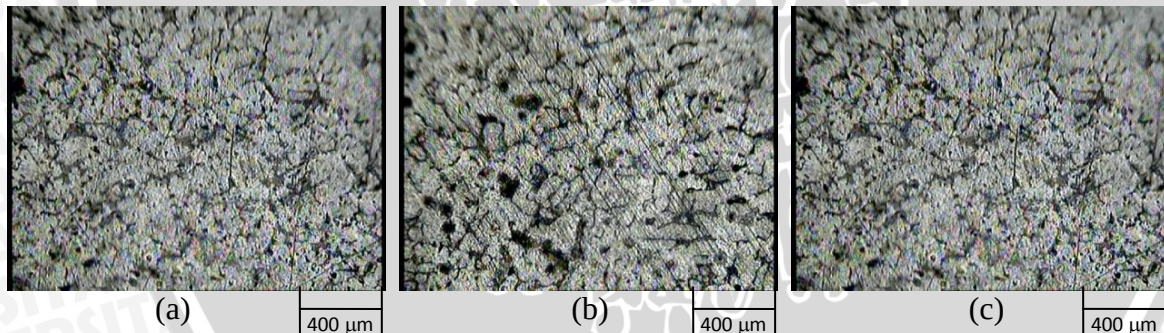
Pada grafik di atas memperlihatkan bahwa terjadi *trend* nilai kekerasan yang dipengaruhi oleh dimensi saluran dan kecepatan putar cetakan. Nilai kekerasan paling tinggi terjadi pada dimensi saluran cetakan D dan kecepatan 1500 rpm rata-rata nilai kekerasan sebesar 79.36 VHN sedangkan nilai kekerasan terendah terjadi pada kecepatan putar 500 rpm dengan dimensi saluran cetakan $\frac{1}{2}$ D rata-rata nilai kekerasannya sebesar 56.93VHN. Hal ini disebabkan pada kecepatan putar 1500 rpm gaya sentrifugal yang menekan logam dan melempar logam ke dinding cetakan lebih tinggi, maka struktur butiran menjadi lebih rapat

dan padat akibat mendapat tekanan dari gaya sentrifugal tersebut sehingga nilai kekerasannya meningkat.

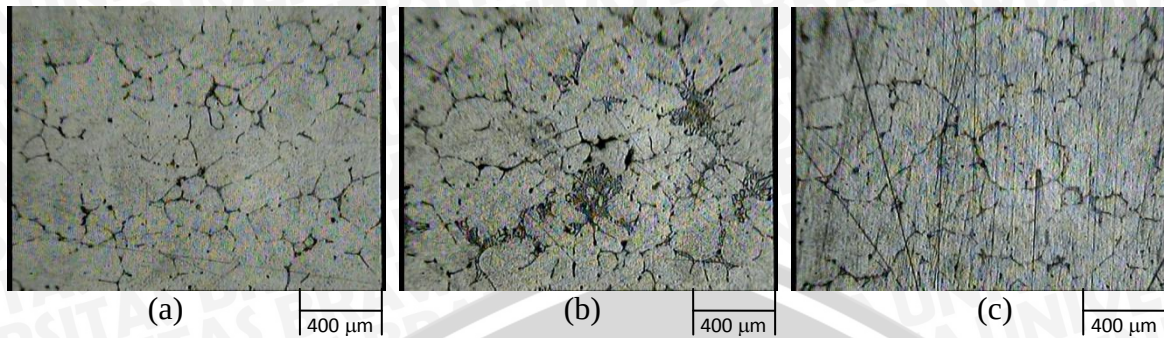
Dari gambar 4.4 hasil foto mikro dapat dilihat pada kecepatan 1500 rpm dengan dimensi saluran D struktur butiran yang terbentuk lebih kecil dibandingkan dengan dimensi saluran $3/4$ D dan $1/2$ D. hal ini membuktikan bahwa semakin tinggi kecepatan putar maka nilai kekerasan akan meningkat dan semakin rapat dimensi saluran cetakan maka nilai kekerasan akan semakin menurun.



Gambar 4.3 Foto Mikrostruktur Kecepatan 1500 rpm (a) dimensi saluran D, (b) dimensi saluran $3/4$ D, (c) dimensi saluran $1/2$ D dengan pembesaran 100 kali



Gambar 4.4 Foto Mikrostruktur Kecepatan 1000 rpm (a) dimensi saluran D, (b) dimensi saluran $3/4$ D, (c) dimensi saluran $1/2$ D dengan pembesaran 100 kali



Gambar 4.5 Foto Mikrostruktur Kecepatan 500 rpm (a) dimensi saluran D, (b) dimensi saluran $3/4$ D, (c) dimensi saluran $1/2$ D dengan pembesaran 100 kali

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

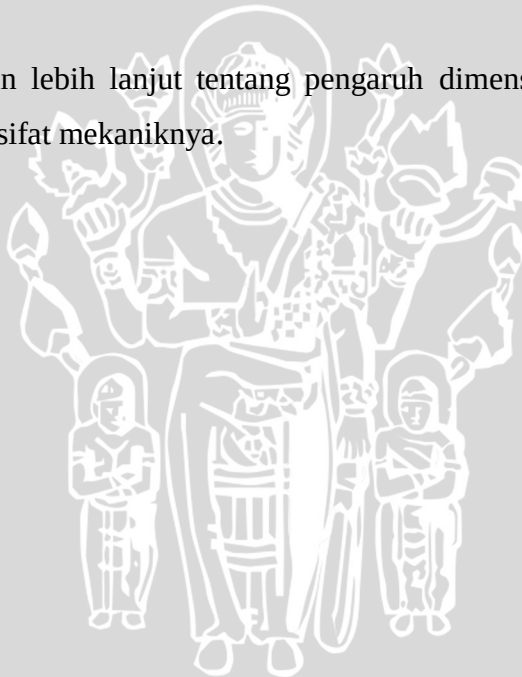
5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian maka dapat di ambil kesimpulan bahwa :

Rata-rata prosentase porositas meningkat dengan semakin rendah kecepatan putar dan semakin kecil dimensi saluran cetakan dan rata-rata nilai kekerasan meningkat dengan semakin tinggi kecepatan putar dan semakin besar dimensi saluran cetakan.

5.2 Saran

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang pengaruh dimensi saluran cetakan dan kecepatan putar terhadap porositas dengan menggunakan bahan aluminium paduan yang berbeda.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang pengaruh dimensi saluran cetakan dan kecepatan putar terhadap sifat mekaniknya.



DAFTAR PUSTAKA

- ASTM B 311. 2002. *Test Method for Density Determination for Powder Metallurgy (P/M) Materials Containing Less Than Two Percent Porosity*. ASTM International
- ASTM E 10– 00. 2003. *Standard Test Method for Brinell Hardness of Metallic Materials*¹. ASTM International.
- ASTM E 92 – 82. 2003. *Standard Test Method for Vickers Hardness of Metallic Materials*. ASTM International.
- DeGarmo, E.P.1997. *Materials and Processes in Manufacturing*. United States of America: Macmillan publishing company.
- Jain, P. L. 1987. *Principles of Foundry Technology*. New Delhi: Tata McGraw Hill Publishing Company Ltd.
- Kalpakjian, S. 1990. *Manufacturing Engineering and Technology*. Massachusetts: Adison-Wesley Publish Company.
- Madhusudhan, 2010. *Effect Of Mould Wall Thickness On Microstructure Of Centrifugal Casting*. Yelahanka : Bangalore. Department of Mechanical Engineering Nitte Meenakshi Institute of Technology
- Rusli, R. H. 1995. *Dasar Teori Solidifikasi Metal*. Jakarta: Penerbit Universitas Indonesia (UI-Press).
- R.W.Heine.1967.*Principle of Metal Casting*. New Delhi: Tata McGraw_Hill Publishing Company.
- Setya W., Bagas, 2014. *Pengaruh Kecepatan Putar Cetakan dan Fatigue pada Produk Silinder Pejal Berbahan Al-Mg-Si Hasil Pengecoran Sentrifugal*. Skripsi tidak diterbitkan. Malang: Jurusan Mesin Fakultas Teknik Unibraw.
- Surdia, T. & Saito, S. 1985. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Jakarta: PT. PradnyaParamita.
- Surdia, T. & Chijiwa, K. 1986. *Teknik Pengecoran Logam*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Taylor, R. P., McClain, S. T. & Berry, J. T., *Uncertainly Analisis of Metal Casting Porosity Measurement Using Archimedes Principle*. International Journal of Cast Metal Research, 1999, Vol. 11, 247-254
- Wiryosumarto, H & Okumura, T. 1996. *Teknologi Pengelasan Logam*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.

Lampiran 1.

Uji Komposisi Paduan Aluminium 6061



LEMBAGA ILMU PENGETAHUAN INDONESIA PUSAT PENELITIAN METALURGI

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

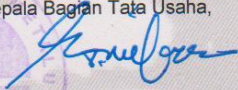
378-00.0017/1

LAPORAN ANALISIS *Report of Analysis*

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

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

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


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

* Laporan ini hanya berlaku untuk sampel yang diuji

This report refers to the tested sample only

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

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

Lampiran 2

Hasil Pengecoran Sentrifugal



Hasil Coran dengan Dimensi Saluran D
Kecepatan 1500 rpm



Hasil Coran dengan Dimensi Saluran $\frac{3}{4}D$
Kecepatan 1500 rpm



Hasil Coran dengan Dimensi Saluran $\frac{1}{2} D$
Kecepatan 1500 rpm



Hasil Coran dengan Dimensi Saluran D
Kecepatan 1000 rpm



Hasil Coran dengan Dimensi Saluran $\frac{3}{4}D$
Kecepatan 1000 rpm



Hasil Coran dengan Dimensi Saluran $\frac{1}{2}$ D
Kecepatan 1000 rpm



Hasil Coran dengan Dimensi Saluran D
Kecepatan 500 rpm

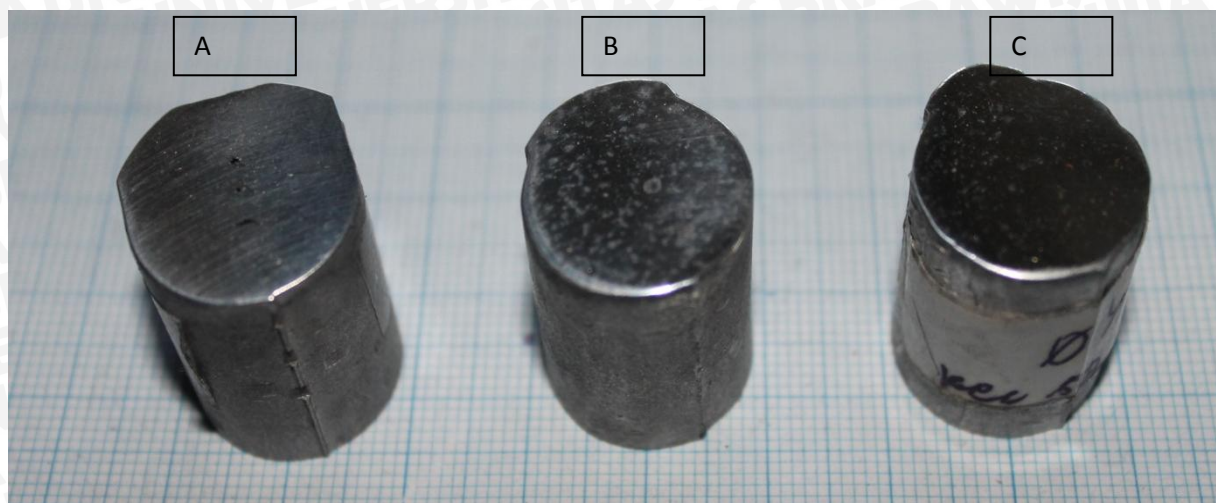


Hasil Coran dengan Dimensi Saluran $\frac{3}{4}$ D
Kecepatan 500 rpm



Hasil Coran dengan Dimensi Saluran $\frac{1}{2}$ D
Kecepatan 500 rpm

Spesimen Uji Kekerasan Vickers



(A) dimensi saluran D

B dimensi saluran $\frac{3}{4}$ D

C dimensi saluran $\frac{1}{2}$ D



Lampiran 3. Foto Alat yang Digunakan



Digital Termometer



Digital Tachometer



Cetakan Logam



Cawan Tuang



Sarung Tangan



Dapur Listrik



Centrifugal Casting



Power Hack Saw



Microvickers Hardness Tester