

**PENGARUH KECEPATAN PUTAR CETAKAN TERHADAP
DENSITY DAN KEKUATAN *IMPACT* HASIL CORAN ALUMINIUM
PADUAN (Al-Zn) PADA PENGECORAN SENTRIFUGAL
HORIZONTAL**

**SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh :
HERDIAN ADI KURNIAWAN
NIM. 0310623044-62

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



LEMBAR PERSETUJUAN

**PENGARUH KECEPATAN PUTAR CETAKAN TERHADAP *DENSITY* DAN
KEKUATAN *IMPACT* HASIL CORAN ALUMINIUM PADUAN (Al-Zn) PADA
PENGECORAN SENTRIFUGAL HORIZONTAL**

SKRIPSI

KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
Memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh:

HERDIAN ADI KURNIAWAN
NIM. 0310623044-62

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Ir. Marsoedi Wirohardjo, MMT
NIP. 19450307 197603 1 001

Sugiarto, ST. MT
NIP. 19690417 199512 1 001



LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH KECEPATAN PUTAR CETAKAN TERHADAP *DENSITY* DAN
KEKUATAN *IMPACT* HASIL CORAN ALUMINIUM PADUAN (Al-Zn) PADA
PENGECORAN SENTRIFUGAL HORIZONTAL**

SKRIPSI KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh :

**HERDIAN ADI KURNIAWAN
NIM. 0310623044-62**

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
tanggal 23 Desember 2009

DOSEN PENGUJI

Skripsi 1

Skripsi 2

**Ir. Ari Wahyudi
NIP. 19680324 199412 1 001**

**Dr. Eng. Yudi Surya Irawan. ST. M.Eng
NIP. 19750710 199903 1 004**

Komprehensif

**Ir Erwin Sulistyو. MT
NIP. 19661213 199802 1 001**

Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Mesin

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

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji syukur kami panjatkan kehadiran Allah SWT, karena hanya dengan Rahmat dan Hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Pengaruh Kecepatan Putar Cetakan Terhadap *Density* Dan Kekuatan *Impact* Hasil Coran Aluminium Paduan (Al-Zn) Pada Pengecoran Sentrifugal Horizontal.”**

Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat bagi mahasiswa jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik. Penulis ingin mengucapkan banyak terima kasih kepada pihak-pihak yang telah banyak membantu menyelesaikan skripsi ini terutama kepada :

1. Bapak Dr. Slamet Wahyudi ST, MT. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin.
2. Bapak Dr. Eng. Anindito P. ST, M.Eng selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin.
3. Bapak Ir. Marsoedi Wirohardjo, M.MT. selaku Ketua Konsentrasi Produksi Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya dan Dosen Pembimbing Skripsi Pertama.
4. Bapak Sugiarto, ST, MT selaku Dosen Pembimbing Skripsi Kedua.
5. Bapak I Made Gunadiarta, Ir., MT selaku dosen wali.
6. Bapak Dr. Eng. Yudy Surya Irawan. ST, M.Eng., selaku Ketua Lab. Pengecoran Logam.
7. Pak Gatot, Pak Mudjiono dan Pak Hastomo yang telah banyak membantu dalam penelitian.
8. Seluruh Staf Pengajar dan Administrasi Jurusan Teknik Mesin.
9. Bapak dan Ibu'ku tercinta Drs. H. Soenarno, MM. dan Hj. Rukiyati, serta kedua kakakku Ninis Yunita A. dan Riko P. yang selalu senantiasa memberikan do'a, dukungan materi dan motivasi.
10. Agus Bambang S. dan Andrias R.W terima kasih banyak atas kerjasama dan perjuangan selama pengerjaan skripsi ini.
11. Fistin Brilliant M.H yang telah memberikan semangat, dorongan untuk selalu berusaha sebaik-baiknya dalam segala hal, serta pengertian dan perhatiannya selama ini.

12. Rekan – rekan Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin 2003, khususnya Arek-arek MBULLET (Naro, Yuda, Zulfikar, Yova, Tyo, Bayu, Miko, Rakhmad, Farid, Andhika, Asep, Bagus H., Jon Hijet, Fuad, dll).
13. Semua saudaraku di Jl. Ikan Paus 1 no 8 (Muklis, Uun, Doni, Dhani, Aslif, Yusuf, Aam, Lani, Firman, Antok).

Kami menyadari bahwa betapa banyak kekurangan dan kelemahan dalam penyusunan skripsi ini. Kritik dan saran yang bersifat membangun penulis harapkan dari pembaca dan semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Harapan penulis, semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pembacanya. Amin.

Malang , September 2009

Penulis



DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR LAMPIRAN	viii
DAFTAR SIMBOL	ix
RINGKASAN	x
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2 . Rumusan Masalah	3
1.3. Batasan Masalah.	3
1.4. Tujuan Penelitian	4
1.5. Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Penelitian Sebelumnya	5
2.2. Pengecoran Logam	5
2.3. Pengecoran Sentrifugal.....	6
2.3.1. Pengecoran sentrifugal sejati	7
2.3.2. Pengecoran semisentrifugal	8
2.3.3. <i>Centrifuging</i>	8
2.4. Sifat-Sifat Logam Cair	9
2.4.1. Kekentalan logam cair	9
2.4.2. Fluiditas	10
2.5. Pembekuan Logam	10
2.6. Aluminium dan Paduannya	12
2.6.1 Pengaruh Unsur–Unsur Paduan	12
2.6.2 Sifat–Sifat Aluminium	13
2.6.3 Aluminium Paduan	14
2.7. <i>Density</i>	15
2.7.1. Macam <i>Density</i>	15

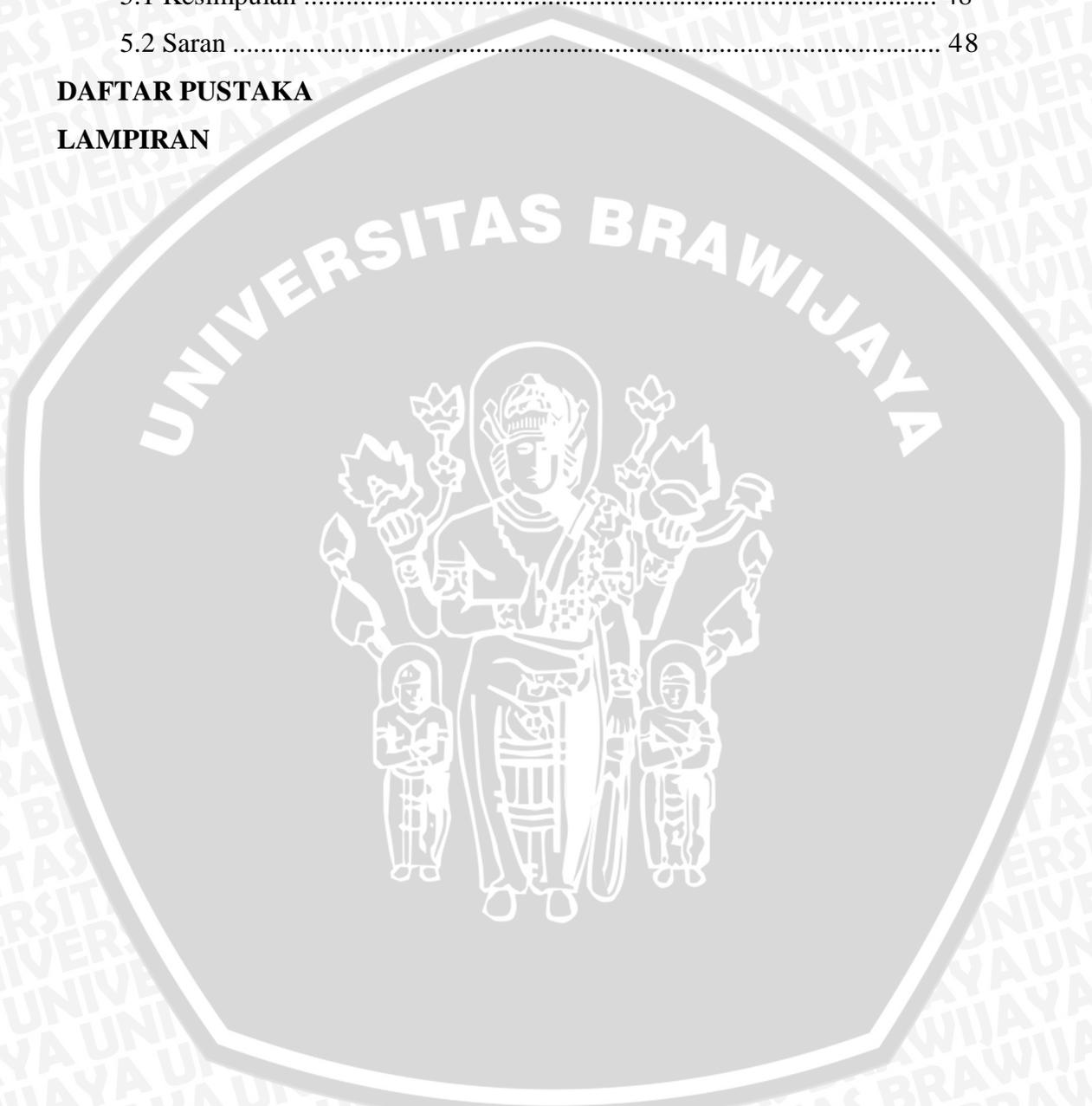
2.7.2. Pengukuran <i>Density</i> Dengan Metode <i>Piknometri</i>	14
2.8. Pengujian <i>Impact (Impact Test)</i>	16
2.9. Hipotesa.....	21
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	22
3.1. Metode Penelitian	22
3.2. Tempat dan waktu penelitian	22
3.3. Variabel Penelitian	22
3.4. Peralatan dan Bahan yang digunakan	23
3.4.1 Peralatan yang digunakan	23
3.4.2 Bahan yang digunakan	23
3.5. Dimensi Benda Kerja.....	24
3.6. Skema Alat Pengecoran Sentrifugal	25
3.7. Prosedur Penelitian	25
3.7.1. Prosedur pengecoran benda kerja.....	25
3.7.2. Gambar spesimen uji kekuatan <i>impact</i>	26
3.7.3. Gambar spesimen uji <i>Density</i>	26
3.7.4 Prosedur pengambilan dan pengolahan data	26
3.8 Rancangan Penelitian.....	27
3.8.1 Analisis Statistik	27
3.8.2 Analisis Varian Satu Arah <i>Density</i>	28
3.8.3 Analisis Varian Satu Arah <i>kekuatan Impact</i>	30
3.9 Diagram Alir	33
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	35
4.1 Data Dan Perhitungan Hasil Pengujian.....	35
4.1.1. Data hasil Pengujian <i>Density</i>	35
4.1.2. Data hasil Pengujian Kekuatan <i>Impact</i>	36
4.2. Analisis Statistik	37
4.2.1. Analisis Statistik <i>density</i>	37
4.2.2. Analisis Statistik Kekuatan <i>Impact</i>	38
4.3 Analisis Varian Satu Arah	40
4.3.1. Analisis Varian Satu Arah <i>Density</i>	40
4.3.2. Analisis Varian Satu Arah Kekuatan <i>Impact</i>	42



4.4 Pembahasan	43
4.4.1 Pengaruh Kecepatan Putar terhadap <i>Density</i>	43
4.4.2 Pengaruh Kecepatan Putar terhadap Kekuatan <i>Impact</i>	45
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	48
5.1 Kesimpulan	48
5.2 Saran	48

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



DAFTAR TABEL

No	Judul	Halaman
2.1	Koefisien kekentalan dan tegangan permukaan dari logam	9
2.2	Sifat-sifat fisik aluminium.	13
2.3	Sifat-sifat mekanik aluminium.	13
3.1	Tabel Pengamatan Data	28
3.2	Analisis Ragam Klasifikasi Satu-Arah Data <i>density</i>	29
3.3	Analisis Ragam Klasifikasi Satu-Arah Data kekuatan <i>impact</i>	31
4.1	Tabel Hasil Pengujian <i>Density</i>	35
4.2	Tabel Data Hasil Pengujian Kekuatan <i>Impact</i>	36
4.3	Tabel Interval penduga <i>density</i>	38
4.4	Tabel Interval penduga kekuatan <i>impact</i>	40
4.5	Tabel Analisis Ragam Klasifikasi Satu-Arah Data <i>Density</i>	41
4.6	Tabel Analisis Ragam Klasifikasi Satu-Arah Data Kekuatan <i>Impact</i>	43

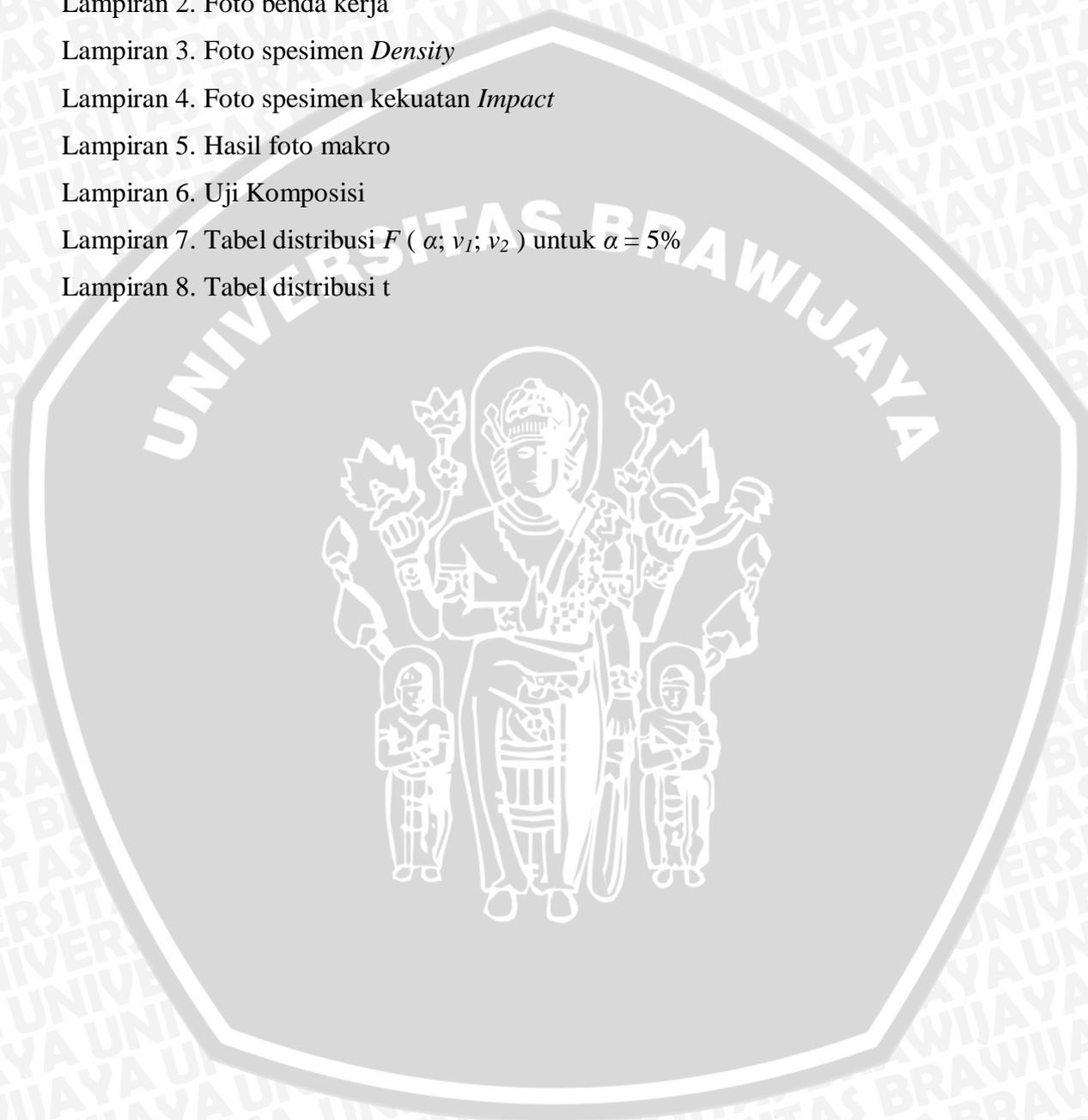


DAFTAR GAMBAR

No	Judul	Halaman
2.1	Pengecoran Sentrifugal Horisontal	8
2.2	Pengecoran Semisentrifugal	8
2.3	<i>Centrifuging</i>	9
2.4	Ilustrasi skematis dari pembekuan logam	11
2.5	Skema Piknometri	16
2.6	Pemasangan Spesimen Pengujian <i>Impact</i> dengan Metode <i>Charpy</i>	17
2.7	Pemasangan Spesimen Pengujian <i>Impact</i> dengan Metode <i>Izod</i>	18
2.8	Sifat-sifat Patahan. a). Patahan getas, b). Patahan liat, c). Patahan	19
2.9	Skema <i>Charpy Impact Test</i>	19
2.10	Mesin Uji <i>Impact</i>	21
3.1	Dimensi Benda Kerja	24
3.2	Skema Alat Pengecoran Sentrifugal	25
3.3	Spesimen Pengujian Kekuatan <i>Impact</i>	26
3.4	Spesimen uji <i>density</i>	26
3.5	Diagram Alir Penelitian	34
4.1	Grafik Pengaruh Kecepatan Putar terhadap <i>Density</i>	44
4.2	Hasil foto makro spesimen	45
4.3	Grafik Pengaruh Kecepatan Putar terhadap kekuatan <i>impact</i> Aluminium Paduan Al-Zn	46
4.4	Foto mikro spesimen	47

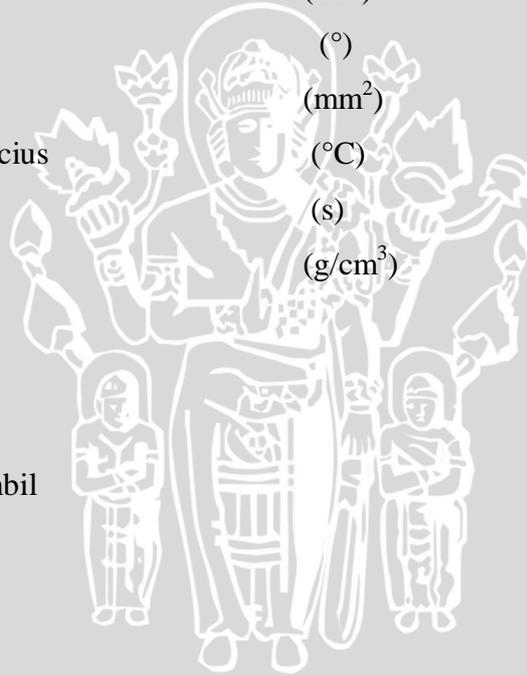
DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul
Lampiran 1.	Foto Alat-alat pengujian
Lampiran 2.	Foto benda kerja
Lampiran 3.	Foto spesimen <i>Density</i>
Lampiran 4.	Foto spesimen kekuatan <i>Impact</i>
Lampiran 5.	Hasil foto makro
Lampiran 6.	Uji Komposisi
Lampiran 7.	Tabel distribusi $F (\alpha; v_1; v_2)$ untuk $\alpha = 5\%$
Lampiran 8.	Tabel distribusi t



DAFTAR SIMBOL

Besaran dasar	Satuan	Simbol
Gaya sentrifugal	(N)	F_c
kecepatan putar	(rad/s)	ω
Massa gram	(g)	m
Radius	(m)	r
Volume	(m^3)	V
Energi	(J)	E
Berat	(N)	W
Tinggi	(mm)	H
Sudut	($^\circ$)	α / β
Luas penampang	(mm^2)	A
Temperatur derajat celcius	($^\circ C$)	T
Waktu	(s)	t
Density	(g/cm^3)	ρ
Interval penduga		μ
Jumlah variasi		k
Jumlah pengulangan		n
Jumlah data yang diambil		N
Standar deviasi		δ



RINGKASAN

HERDIAN ADI KURNIAWAN, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Agustus 2009, *Pengaruh Kecepatan Putar Cetakan Terhadap Density Dan Kekuatan Impact Hasil Coran Aluminium Paduan (Al-Zn) Pada Pengecoran Sentrifugal Horizontal*, Dosen Pembimbing : Marsoedi Wirohardjo dan Sugiarto.

Pengecoran sentrifugal adalah suatu cara pengecoran di mana cetakan diputar dan logam cair dituangkan ke dalamnya, sehingga logam cair tertekan oleh gaya sentrifugal dan kemudian membeku. Kelebihan dari pengecoran sentrifugal antara lain digunakan untuk pembuatan coran berbentuk silinder dengan produktivitas yang tinggi, porositas rendah, serta kualitas hasil coran yang baik. Permasalahan yang sering muncul dalam pengecoran sentrifugal adalah penurunan kualitas hasil coran seperti sifat mekanik yang rendah. Pengadukan yang disebabkan pengaruh gaya sentrifugal menyebabkan inti yang terbentuk semakin banyak, sehingga diperoleh struktur yang berbutir halus dan padat.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh kecepatan putar cetakan terhadap *density* dan kekuatan *impact* hasil coran aluminium paduan (Al-Zn) pada proses pengecoran sentrifugal horizontal. Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian eksperimental nyata. Dimana kecepatan putar yang dipakai yaitu: 700 rpm, 900 rpm, 1100 rpm, 1300 rpm, 1500 rpm.

Dan hasilnya adalah bahwa secara umum penambahan kecepatan putar yang diberikan selama proses pengecoran sentrifugal dapat meningkatkan nilai *density*, Sedangkan nilai kekuatan *impact* aluminium paduan Al-Zn menurun. Nilai *density* rata-rata tertinggi diperoleh pada kecepatan putar cetakan 1500 rpm sebesar 2.9675 g/cm^3 , Sedangkan nilai kekuatan *impact* menurun sampai kecepatan putar 1500 sebesar 1.713 N.mm/mm^2 .

Kata kunci: Pengecoran sentrifugal, *density*, kekuatan *impact*, paduan Aluminium Al-Zn.

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Proses pengecoran pada dasarnya merupakan proses pengerjaan logam dengan cara mencairkan logam dalam dapur kemudian menuangkan logam cair tersebut kedalam sebuah cetakan, yang mana cetakan tersebut memiliki kemampuan untuk tahan terhadap temperatur tinggi dengan bentuk *cavity* sesuai bentuk logam yang akan dibuat, kemudian dibiarkan dingin sehingga membeku.

Berbagai metode dikembangkan untuk mendapatkan produk pengecoran yang lebih baik dari yang sudah ada, salah satunya adalah pengecoran sentrifugal. Pengecoran sentrifugal adalah suatu cara pengecoran di mana cetakan diputar dan logam cair dituangkan ke dalamnya, sehingga logam cair tertekan oleh gaya sentrifugal dan kemudian membeku (Surdia dan Saito, 1986: 3). Kelebihan dari pengecoran sentrifugal antara lain digunakan untuk pembuatan coran berbentuk silinder dengan produktivitas yang tinggi, serta kualitas hasil coran yang baik (Surdia dan Saito, 1986: 239).

Pengecoran sentrifugal cukup luas penggunaannya yaitu berdasarkan fungsi dan bentuknya. Material yang banyak digunakan untuk proses pengecoran sentrifugal adalah aluminium paduan. Hal ini dikarenakan aluminium paduan memiliki sifat ringan, titik leburnya rendah, memiliki fluiditas tinggi, memiliki ketahanan korosi yang baik. Selain itu juga banyak terdapat di pasaran. Produk yang dihasilkan dari proses pengecoran sentrifugal dengan bahan aluminium paduan diantaranya pipa, *velg*, *tromol*, selubung silinder, tutup silinder, rumah engkol, cincin torak, sambungan pipa, dan sebagainya (Surdia dan Saito, 1986: 8).

Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi keberhasilan proses pengecoran sentrifugal antara lain: cara penuangan logam cair, kecepatan putar, temperatur penuangan dan kepresisian *design* cetakan, serta kemampuan material cor untuk terbentuk sesuai cetakan (Surdia dan Saito, 1986: 239). Dari faktor tersebut dapat dianalisa sebab-sebab terjadinya kegagalan hasil coran, dan kemudian dapat dilakukan tindakan pencegahan untuk meminimalisasi kegagalan



menentukan kualitas hasil coran antara lain distribusi ketebalan coran, bentuk coran sesuai dengan cetakan, porositas, tidak terjadi cacat pada coran, dan memiliki sifat mekanik yang baik. Berbagai macam metode pengecoran sentrifugal telah digunakan agar mendapatkan kualitas hasil coran yang baik, diantaranya metode pengecoran sentrifugal sejati, pengecoran semisentrifugal, dan sentrifuging (Rao, 1990: 234). Dari beberapa metode tersebut pengecoran sentrifugal sejati masih perlu dilakukan penelitian lebih mendalam, yang mana proses pengecorannya dilakukan pada cetakan yang berputar pada sumbu horizontal.

Penelitian yang dilakukan oleh Hanguang Fu tahun 2003 yang berjudul *Development of Centrifugal Casting High Speed Steel Rolls*. Pada penelitian ini menggunakan proses pengecoran sentrifugal casting untuk membuat Roll pada mesin roll dengan bahan HSS. Pada penelitian ini dikatakan bahwa kecepatan yang tinggi akan meningkatkan gaya sentrifugal, yang dapat menimbulkan *crack*/retak pada *roll*. Sedang dalam kecepatan putar yang rendah, gaya sentrifugal akan turun, yang menyebabkan struktur coran yang kurang padat. Memberikan efek yang buruk pada sifat mekanis dari *HSS roll*. Selain itu dijelaskan bahwa semakin tinggi temperatur penuangan maka *density* dari logam cair akan semakin rendah sehingga untuk itu dibutuhkan kecepatan yang semakin tinggi untuk memperbesar gaya sentrifugal, dengan begitu struktur yang dihasilkan semakin padat. Pada penelitian ini kecepatan putar yang digunakan adalah 1050-1200 rpm.

Penelitian selanjutnya adalah untuk mengetahui apakah penambahan kecepatan putar cetakan pada pengecoran sentrifugal juga akan mempengaruhi *density* dan sifat mekanik yang terbentuk dari coran aluminium paduan (Al-Zn). Maka perlu dilakukan penelitian tentang “*Pengaruh Kecepatan Putar Cetakan Pada Pengecoran Sentrifugal terhadap Density dan Kekuatan Impact Hasil Coran Aluminium Paduan (Al-Zn)*“. Sehingga diharapkan nantinya dapat menambah wacana ilmu pengetahuan khususnya di bidang teknologi pengecoran.

Penambahan kecepatan putar pada cetakan diharapkan dapat memperbaiki sifat-sifat mekanik dari logam hasil coran itu sendiri. Untuk mengetahui sifat mekanik logam hasil coran perlu dilakukan Pengujian mekanik. Salah satu dari

pengujian mekanik adalah pengujian *impact*, pengujian *impact* dilakukan untuk mengetahui besarnya energi yang diserap oleh material. Dimana beban dikenakan secara tiba-tiba seperti pada benturan dengan benda yang bergerak.

Dalam penelitian ini menggunakan material aluminium paduan (Al-Zn), jenis ini termasuk jenis paduan yang memiliki kekuatan tertinggi di antara paduan Aluminium lainnya, paduan ini memiliki sifat tahan terhadap korosi, tahan terhadap temperatur tinggi, dan mampu bentuk yang baik. Diharapkan dengan adanya kecepatan putar pada cetakan mempunyai arah pembekuan yang terarah dari bagian diameter luar menuju ke diameter dalam, sehingga menghasilkan produk cor dengan tingkat *density* yang tinggi. Serta dapat diketahui bagaimana pengaruh kecepatan putar cetakan terhadap kekuatan *impact* hasil coran aluminium paduan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, permasalahan yang akan dipecahkan dalam penelitian ini adalah :

- *Bagaimanakah pengaruh kecepatan putar cetakan terhadap density dan kekuatan impact dari hasil coran aluminium paduan pada proses pengecoran sentrifugal?*
- *Berapa kecepatan putar cetakan yang menghasilkan coran aluminium paduan dengan kekuatan impact dan tingkat density tertinggi?*

1.3 Batasan Masalah

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

1. Proses yang digunakan adalah pengecoran sentrifugal horizontal.
2. Bahan yang digunakan adalah aluminium paduan (Al-Zn) seri AA7000 dengan komposisi bahan Al = 87%; Zn = 8% dalam bentuk campuran logam (MatWeb. Material Property Data).
3. Dimensi cetakan (silinder berlubang dengan panjang 150 mm, diameter luar 50 mm, diameter dalam 58 mm).
4. Hanya membahas *density* dan kekuatan *impact* hasil coran.

5. Kecepatan putar yang digunakan 700, 900, 1100, 1300, dan 1500 rpm.
6. Waktu putar cetakan selama ± 120 detik (berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Danang Yudanegara (2006), Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang).
7. Suhu lebur yang digunakan 900°C . (berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Tonny Nugroho S. (2000), Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang).

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui seberapa besar *pengaruh kecepatan putar cetakan terhadap density dan kekuatan impact dari hasil coran aluminium paduan pada proses pengecoran sentrifugal?*

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat sebagai berikut :

1. Memberikan masukan yang bermanfaat bagi industri pengecoran logam dalam peningkatan kualitas hasil coran.
2. Sebagai dasar pendekatan dan perbandingan bagi penelitian selanjutnya.
3. Memberikan referensi tambahan bagi penelitian lebih lanjut mengenai pengecoran sentrifugal.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Dari proses penelitian oleh Tjitro Soejono, (2004) "*Pengaruh Kecepatan Putar Pada Proses Pengecoran Aluminium Sentrifugal*" dengan memakai variasi kecepatan putar cetakan 150 rpm, 180 rpm, dan 200 rpm bahwa semakin tinggi kecepatan putar cetakan maka akan dihasilkan angka kekerasan yang semakin tinggi, yang mana orientasi pertumbuhan butir terutama pada bagian dalam mengalami pembelokan arah sesuai dengan arah putaran mesin sentrifugal dan deformasi butir yang terjadi pada bagian dalam menyebabkan meningkatnya angka kekerasan. Dalam penelitian ini variasi kecepatan sampai 200 rpm.

Hanguang Fu tahun 2003 yang berjudul *Development of Centrifugal Casting High Speed Steel Rolls*. Pada penelitian ini menggunakan proses pengecoran sentrifugal casting untuk membuat Roll pada mesin roll dengan bahan HSS. Pada penelitian ini dikatakan bahwa kecepatan yang tinggi akan meningkatkan gaya sentrifugal, yang dapat menimbulkan *crack*/retak pada *roll*. Sedang dalam kecepatan putar yang rendah, gaya sentrifugal akan turun, yang menyebabkan struktur coran yang kurang padat. Memberikan efek yang buruk pada sifat mekanis dari *HSS roll*. Selain itu dijelaskan bahwa semakin tinggi temperatur penuangan maka *density* dari logam cair akan semakin rendah sehingga untuk itu dibutuhkan kecepatan yang semakin tinggi untuk memperbesar gaya sentrifugal, dengan begitu struktur yang dihasilkan semakin padat. Pada penelitian ini kecepatan putar yang digunakan adalah 1050-1200 rpm.

2.2 Dasar Pengecoran Logam

Pengecoran merupakan suatu proses dimana logam cair dialirkan ke dalam cetakan dengan gaya berat atau gaya yang lainnya dalam sebuah cetakan dimana ia akan membeku sesuai dengan bentuk pola cetakan. Dalam melakukan pengecoran logam terdapat beberapa urutan kegiatan yang harus dilakukan, diantaranya adalah seperti membuat cetakan, pencairan logam, penuangan logam, pembersihan hasil coran, dan pemeriksaan hasil coran.

Klasifikasi proses pengecoran didasarkan pada bahan cetakan, proses

pembuatan, dan metode pengisian cetakan dengan logam cair. Secara umum proses pengecoran dikelompokkan menjadi dua yaitu:

1. *expandable mold casting*

expandable mold casting adalah cetakan yang harus dibuat setiap akan melakukan proses pengecoran. Bahan cetakan umumnya adalah pasir, gips, keramik, dan material sejenis yang dicampur dengan bahan pengikat.

2. *Permanent mold casting*

Permanent mold casting adalah pengecoran dengan cetakan tetap, bahan cetakan terbuat dari baja atau logam tahan panas yang lain. Untuk meningkatkan umur pemakaian cetakan, permukaan cetakan dilapisi dengan refraktori contohnya sodium silikat atau disemprot dengan grafit pada setiap saat memulai proses pengecoran. Dengan cetakan ini dihasilkan produk dengan *surface finish* yang baik dan laju produksi yang tinggi, terutama untuk pengecoran yang kurang dari 25 kg.

2.3 Pengecoran Sentrifugal

Pengecoran sentrifugal adalah suatu cara pengecoran dimana cetakan diputar dan logam cair dituangkan ke dalamnya, sehingga logam cair tertekan oleh gaya sentrifugal dan kemudian membeku (Surdia dan Saito, 1986 : 3). Pengecoran sentrifugal dilakukan dengan menuangkan logam cair ke dalam cetakan yang berputar. Di bawah pengaruh gaya sentrifugal benda coran akan padat, permukaan halus dan struktur logam yang dihasilkan mempunyai struktur fisik yang unggul. Umumnya cara ini cocok untuk benda coran yang berbentuk simetris. Cetakan yang digunakan dalam pengecoran sentrifugal yaitu cetakan permanen yang biasanya terbuat dari besi atau baja dan grafit.

Dibawah pengaruh gaya sentrifugal ini benda coran akan mengalami pembekuan dan memadat. Pemadatan ini akan semakin mengecil pada radius yang semakin kecil, karena gaya sentrifugal yang bekerja juga semakin kecil. Adanya penekanan ini menyebabkan logam cair seakan-akan diperlakukan seperti pada proses tempa, sehingga titik luluh dari benda kerja akan meningkat. Pada pengecoran sentrifugal ini logam cair bergerak rotasi sepanjang sumbu horizontal/vertikal, sesuai dengan penerapan Hukum II Newton, gaya sentrifugal

pada benda yang berputar adalah sebanding dengan radius putar dan kuadrat dari kecepatan putarnya (Zemansky, 1985: 135). Hal ini dapat dilihat pada persamaan (2-1) dibawah ini.

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

Dimana : F_c = Gaya sentrifugal (N)

m = massa (kg)

r = radius (m)

ω = kecepatan putar (rad/s)

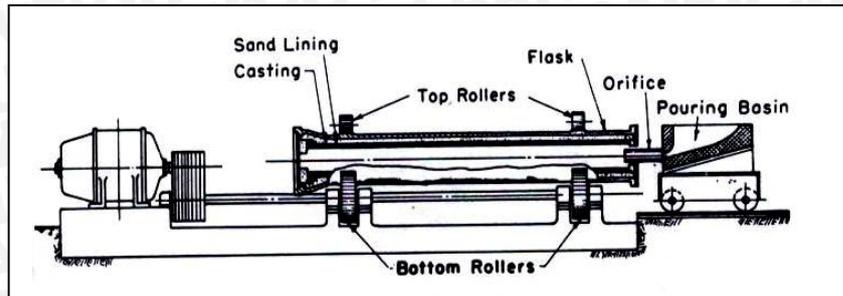
Pengecoran sentrifugal cukup serba guna, artinya mulai dari ring piston yang beratnya hanya beberapa gram hingga rol untuk pabrik kertas dengan berat 40 ton lebih dapat dibuat. Dengan adanya gaya sentrifugal memungkinkan dicornya produk yang lebih tipis. Pengecoran sentrifugal dapat dikelompokkan menjadi tiga metode, antara lain : (Djaprie, 1990: 118).

1. Pengecoran Sentrifugal sejati
2. Pengecoran Semisentrifugal
3. *Centrifuging*

2.3.1 Pengecoran Sentrifugal Sejati

Cara ini digunakan untuk membuat pipa, lapisan (liner) mesin dan objek simetris lainnya. Cetakan diputar mengelilingi sumbu horisontal atau vertikal, dan logam cair dituangkan kedalam salah satu ujungnya. Akibat adanya gaya sentrifugal, logam cair terlempar ke luar dan tertekan pada permukaan cetakan sehingga terbentuk rongga silindris. Besar putaran yang dikenakan bervariasi antara 600 – 3000 rpm (Jain, 1979: 51).

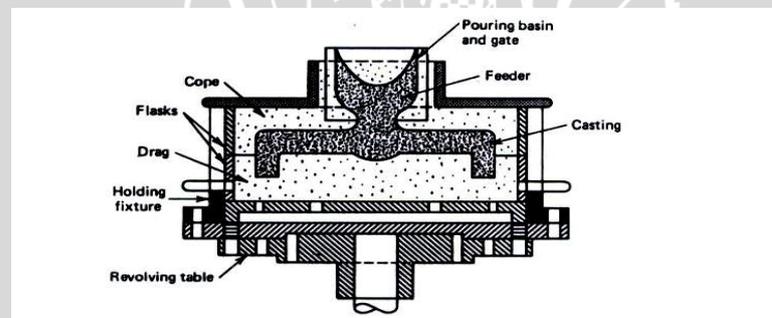
Disini digambarkan dua cara untuk membuat tabung silinder mesin radial. Pengecoran sentrifugal dengan sumbu horisontal metodenya mirip dengan proses pembuatan pipa. Diameter dalam merupakan silinder sempurna yang memerlukan pemesinan sedikit saja. Proses pengecoran sentrifugal horisontal dapat dilihat pada gambar 2.1 dibawah ini.



Gambar 2.1 Pengecoran Sentrifugal Horizontal
Sumber : Degarmo, 1996: 36

2.3.2 Pengecoran Semisentrifugal

Pada proses pengecoran semisentrifugal cetakan di isi penuh dan berputar pada sumbu vertical. Bila diperlukan dapat digunakan penambah atau inti. Bagian tengah dari cetakan biasanya padat, akan tetapi karena tekanan ditengah kurang, strukturnya kurang padat dan mungkin mengandung inklusi atau gelembung udara. Cara ini dapat dimanfaatkan untuk membuat benda dengan lubang ditengah seperti roda. Bagian tengah nantinya diselesaikan dengan pemesinan. Kecepatan putar lebih kecil dari kecepatan putar pada pengecoran cetakan susun, diperlihatkan pada gambar 2.2

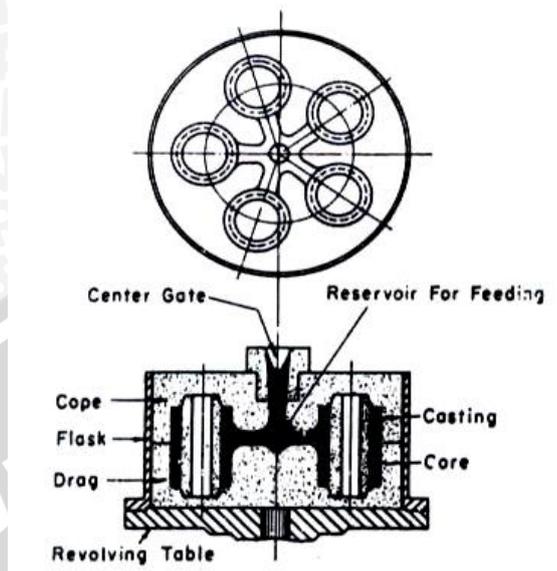


Gambar 2.2 Pengecoran Semisentrifugal
Sumber : Degarmo, 1996 : 365

2.3.3 Centrifuging

Untuk proses sentrifuging, logam cair dituangkan dibagian tengah cetakan. Di sekelilingnya terdapat beberapa rongga cetakan yang dihubungkan secara radial dengan bagian tengah. Gaya sentrifugal yang bekerja pada logam cair ketika cetakan berputar menghasilkan benda cor yang padat. Pada gambar 2.3 dengan sekali tuang dihasilkan 5 benda cor sekaligus. Bagian dalam cor tidak teratur bentuknya, oleh karena itu diperlukan inti pasir kering. Metode

sentrifuging dapat digunakan baik bentuk simetris maupun bentuk tidak tertentu. Metode ini banyak digunakan dalam bidang kedokteran gigi untuk membuat rahang emas.



Gambar 2.3 *Centrifuging*
Sumber: Degarmo, 1996 : 366

2.4 Sifat – Sifat Logam Cair

2.4.1 Kekentalan Logam Cair

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

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 dan Saito, 1999 : 12

2.4.2 Fluiditas

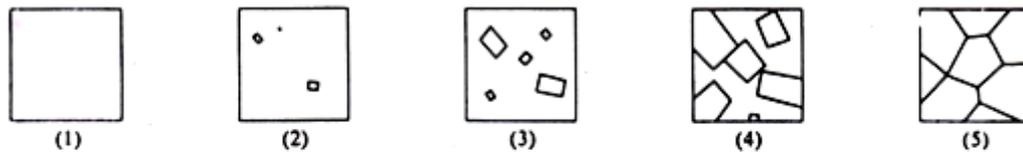
Fluiditas aliran yang lebih dikenal dengan sifat mampu alir adalah kemampuan dari suatu zat (dalam hal ini logam cair) untuk mengalir (berpindah tempat) dan mengisi cetakan sebelum membeku. Sifat ini erat kaitannya dengan kekentalan zat cair itu, semakin tinggi kekentalannya maka sifat mampu alirnya menurun. Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi fluiditas selain kekentalan, diantaranya adalah temperatur penuangan, komposisi logam dan perpindahan panas yang terjadi pada dinding cetakan. Tingginya temperatur penuangan (ditinjau dari titik cair) akan meningkatkan fluiditas dari logam cair sehingga logam cair dapat mencapai seluruh rongga cetakan tanpa adanya pembekuan dini.

Komposisi logam juga mempengaruhi fluiditas, terutama menyangkut mekanisme pembekuan (solidifikasi) logam cair. Fluiditas yang baik terdapat pada logam yang membeku pada temperatur konstan, contohnya pada logam mulia. Saat solidifikasi terjadi pada range temperatur tertentu (terutama logam paduan) dapat terjadi solidifikasi sebagian sehingga menurunkan fluiditasnya. Selain itu komposisi logam juga menentukan *heat of fusion* (kalor laten), yaitu panas yang dibutuhkan logam untuk mencair seluruhnya. Tingginya kalor laten ini akan meningkatkan fluiditas logam cair.

2.5 Pembekuan Logam

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

Ilustrasi pembekuan logam dapat dilihat pada gambar 2.4 berikut :



- (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 2.4 Ilustrasi Skematis dari Pembekuan Logam

Sumber : Surdia dan Saito, 1999 : 14

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

a Daerah pembekuan cepat (*chill zone*)

Daerah ini berada paling luar yang mana lebih dipengaruhi oleh *heat removal*. Struktur ini terbentuk pada kontak pertama antara dinding cetakan dengan *melt* pada saat dituang kedalam cetakan. Dibawah suhu lebur beberapa inti terbentuk dan tumbuh kedalam cairan. Suhu cetakan yang mulai naik memungkinkan kristal yang membeku menyebar meninggalkan dinding karena pengaruh aliran cairan. Dan apabila suhu penuangan yang cukup tinggi dimana cairan yang berada tengah – tengah coran tetap diatas temperatur leburnya sehingga dapat menyebabkan kristal yang dekat dengan daerah tersebut mencair lagi meninggalkan dinding cetakan. Hanya kristal yang berada pada dinding cetakan yang tumbuh menjadi *chill zone*.

b *Columnar zone*

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

c *Equaxed zone*

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

2.6 Aluminium dan Paduannya

Aluminium merupakan logam ringan yang mempunyai ketahanan korosi yang baik dan hantaran listrik serta sifat-sifat yang baik lainnya sebagai sifat logam. Adanya penambahan Cu, Mg, Si, Mn, Zn, Ni, dan sebagainya akan meningkatkan kekuatan mekanik Aluminium (Tata Surdia, 1999). Paduan Aluminium dapat digolongkan menjadi dua kelompok utama, yaitu:

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.

2. Paduan Aluminium Cor (*Aluminium Casting Alloy*)

Pada paduan ini, bentuk benda yang diinginkan diperoleh dari logam cair yang dituang pada cetakan dengan bentuk yang diinginkan dan dibiarkan membeku, sehingga didapatkan produk yang mendekati bentuk aslinya untuk kemudian di-*finishing*.

2.6.1 Pengaruh Unsur-Unsur Paduan

Penambahan unsur paduan dilakukan untuk memperbaiki sifat dari Aluminium seperti yang dikehendaki. Sifat unsur paduan ini akan mempengaruhi kualitas dari Aluminium. Berikut beberapa pengaruh unsur tambahan :

a. Tembaga (Cu)

Penambahan unsur Cu akan memperbaiki kualitas pengerjaan mesin pada Aluminium. Selain itu, dengan atau tanpa paduan yang lain akan meningkatkan kekuatan dan ketahanan korosinya serta kekerasannya.

b. Silikon (Si)

Pengaruh paling penting dalam penambahan Silikon adalah sifat mampu cor. Dalam hal ini yang dapat diperbaiki adalah dengan cara mengurangi penyusutan coran sampai satu setengah dari penyusutan Aluminium murni, meningkatkan daya alirnya. Selain itu, paduan Silikon akan meningkatkan ketahanan korosinya, baik ditambah unsur lain ataupun tidak.

c. Magnesium (Mg)

Dipergunakan untuk meningkatkan daya tahan Aluminium. Bila dipadukan dengan Silikon maka daya tahan karatnya semakin besar. Unsur Magnesium juga meningkatkan sifat mampu mesin dan mampu bentuk.

d. Besi (Fe)

Penambahan Besi dimaksudkan untuk mengurangi penyusutan. Tetapi kandungan Besi yang besar juga akan menyebabkan struktur butir yang kasar dan dalam hal ini dapat diperbaiki dengan menambah sejumlah kecil Mn dan Cr.

e. Mangan (Mn)

Penambahan Mangan akan meningkatkan daya tahan karat Aluminium dan bila dipadukan dengan Mg akan memperbaiki kekuatan Aluminium.

f. Zinc (Zn)

Seng adalah unsur kimia dengan lambang kimia Zn, nomor atom 30, dan massa atom relatif 65,39. Dengan penambahan ini akan meningkatkan sifat-sifat mekanis tanpa perlakuan panas serta memperbaiki sifat mampu mesin.

2.6.2 Sifat-Sifat Aluminium

Aluminium mempunyai beberapa sifat-sifat yang dapat ditunjukkan pada tabel 2.2 dan 2.3 berikut :

Tabel 2.2 Sifat-sifat fisik aluminium.

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

Sumber : Surdia dan Saito, (1999 : 134)

Tabel 2.3 Sifat-sifat mekanik aluminium.

Sifat-sifat	Kemurnian Al (%)			
	99,99		>99.0	
	Dianil	75% dirol dingin	Dianil	H 18
Kekuatan tarik (Kg/mm ²)	4,6	11,6	9,3	16,9
Kekuatan mulur (0,2%)(Kg/mm ²)	1,3	11,0	3,5	14,8
Perpanjangan (%)	48,8	5,5	35	5
Kekerasan Brinell (Kg/mm ²)	17	27	23	44

Sumber : Surdia dan Saito, (1999 : 134)

2.6.3 Aluminium Paduan

Logam aluminium dapat dengan mudah dipadukan dengan logam lain. Paduan aluminium yang penting antara lain :

1. Paduan Al-Cu (seri 2xx.x)

Jenis paduan Al-Cu adalah jenis yang dapat dilaku panas. Dengan melalui pengerasan endapan/penyepuhan sifat mekanisk paduan ini dapat menyamai sifat dari baja lunak tetapi daya tahan korosinya lebih rendah bila dibandingkan jenis paduan lainnya (R.W. Heine, 1976:294).

2. Paduan Al-Cu-Mg (seri 3xx.x)

Paduan ini mengandung 4% Cu dan 0,5% Mg dan merupakan paduan yang memiliki kekuatan yang tinggi. Biasa disebut dengan *duralumin*. Dalam penggunaannya biasa dipakai konstruksi pesawat terbang dan konstruksi lainnya yang membutuhkan perbandingan antara kekuatan dan berat yang cukup besar.

3. Paduan Al-Si (seri 4xx.x)

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.

4. Paduan Al-Mg (seri 5xx.x)

Jenis ini termasuk paduan yang tidak dapat dilaku-panas, tetapi mempunyai sifat yang baik dalam daya tahan korosi, terutama korosi oleh air laut dan sifat mampu lasnya yang baik.

5. Paduan Al-Mg-Si (seri 6xx.x)

Jenis ini termasuk paduan yang dapat dilaku-panas, dan mempunyai sifat mampu potong, daya tahan korosi yang baik, serta sifat mampu lasnya baik.

6. Paduan Al-Zn (seri 7xx.x)

Jenis ini termasuk jenis paduan yang memiliki kekuatan tertinggi di antara paduan lainnya. Dapat dilakuk-panas dan daya tahan korosinya lebih baik apabila ditambah dengan unsur paduan. Penggunaan paduan ini yang paling besar adalah untuk bahan kontruksi pesawat udara.

2.7 Density

Density (simbol: ρ - Greek: rho) adalah sebuah ukuran massa per volum. Rata-rata kepadatan dari suatu obyek yang sama massa totalnya dibagi oleh volum totalnya. Nilai kepadatan suatu material dapat ditentukan dengan menggunakan pada persamaan dibawah.

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

dengan :

ρ = kepadatan sebuah benda (g/cm^3) V = volum total benda (cm^3)

m = massa total benda (g)

2.7.1 Macam *Density*

Macam - macam *Density* menurut prosentase porositas yang terdapat dalam suatu coran, yaitu *True Density* dan *Apparent Density*.

- *True Density*

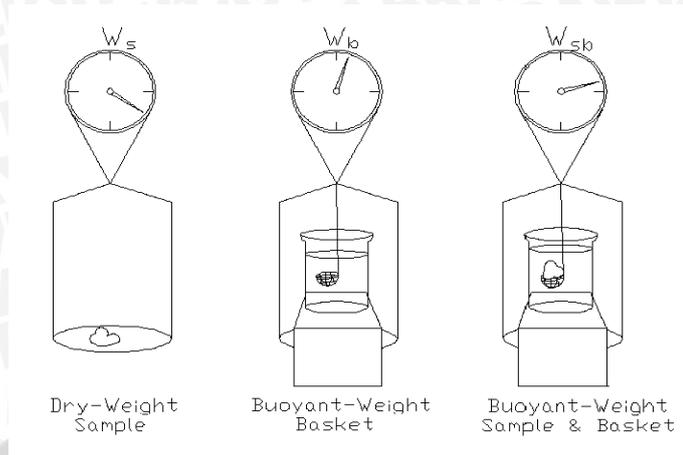
Kepadatan dari sebuah benda padat tanpa porositas yang terdapat di dalamnya. Didefinisikan sebagai perbandingan massanya terhadap volum sebenarnya (g/cm^3).

- *Apparent Density*

Berat setiap unit volum material termasuk cacat (*void*) yang terdapat dalam material yang diuji (g/cm^3).

2.7.2 Pengukuran *Density* Dengan Metode Piknometri

Piknometri adalah sebuah proses membandingkan *density* relatif dari sebuah padatan dan sebuah cairan. Jika *density* dari cairan diketahui, *density* dari padatan dapat dihitung. Proses dapat digambarkan secara skematik dalam gambar 2.5.



Gambar 2.5 Skema Piknometri

Sumber : R.P. Taylor, S.T. McClain, and J.T. Berry; (2000 : 23)

Tiga pengukuran berat yang digunakan adalah W_s = pengukuran berat kering (*dry weight*), W_{sb} = pengukuran berat apung keranjang dan sampel, dan W_b = pengukuran berat apung keranjang. Pada Gambar 2.5, pengukuran berat apung dibuat dengan menggantungkan sampel menggunakan suatu keranjang kawat dalam sebuah bejana berisi cairan yang disangga oleh sebuah penyeimbang yang menggunakan kawat penggantung.

2.8 Pengujian *Impact* (*Impact Test*)

Pengujian *impact* merupakan salah satu cara yang digunakan untuk mengetahui ketangguhan suatu material. Pada pengujian *impact*, spesimen (benda kerja) mendapatkan beban kejut hingga patah. Dari data yang didapatkan dalam pengujian *impact* dan perhitungan yang dilakukan dapat diketahui besar energi yang dapat diserap material sebelum material mengalami kerusakan. Terdapat beberapa metode dalam pengujian *impact* antara lain:

1. Pengujian Tarik Kejut (*Tensile Impact Test*)

Pada pengujian tarik kejut, salah satu ujung spesimen dijepit sedangkan ujung yang lain mendapatkan beban tarik secara kejut. Biasanya digunakan untuk material yang ulet.

2. *Torsion Impact Test*

Prinsip kerjanya sama dengan *Tensile Impact Test*, perbedaannya pada

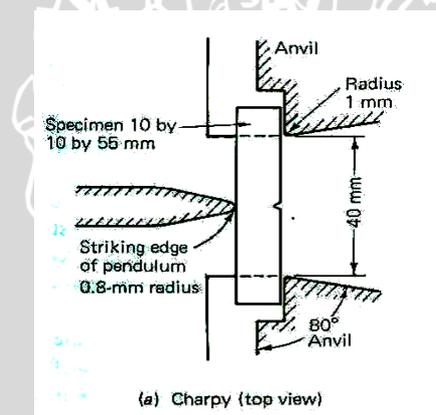
pemberian beban kejut terhadap spesimen. Pada *Torsion Impact Test* beban kejut berupa torsi yang dikenakan pada salah satu ujungnya.

3. Pengujian Pukul Takik

Pada pengujian pukul takik spesimen sebelumnya diberi takik dengan bentuk dan dimensi tertentu dan kemudian mendapatkan beban pukulan secara kejut. Pada pengujian ini energi yang digunakan untuk mematahkan spesimen berasal dari energi potensial dari pendulum yang digunakan untuk memberi beban pukulan pada spesimen. Dalam pengujian pukul takik terdapat 2 cara pembebanan, antara lain:

a. Metode Charpy

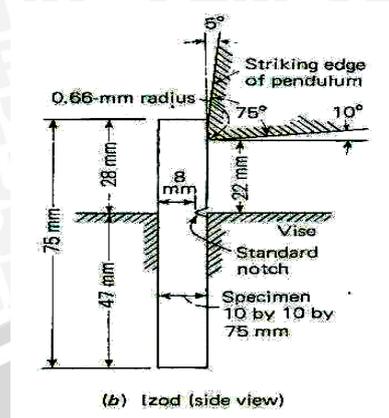
Dalam pengujian *impact* dengan metode *Charpy*, pemasangan spesimen ditumpu pada kedua ujungnya dan posisi takik membelakangi arah datangnya ayunan pendulum seperti tampak pada Gambar 2.6. Pendulum akan memukul pada daerah punggung takikan dan gaya tumbukan akan mematahkan spesimen.



Gambar 2.6 Pemasangan Spesimen Pengujian *Impact* dengan Metode *Charpy*
Sumber : Davis, 1982:233

b. Metode Izod

Pada pengujian *impact* dengan metode *Izod*, spesimen dipasang tegak dengan dijepit pada salah satu ujungnya dengan batas jepitan tepat di tengah takikan seperti ditunjukkan pada Gambar 2.7. Posisi takikan menghadap arah datangnya ayunan pendulum, gaya yang diterima dari pukulan pendulum akan mematahkan spesimen uji.



Gambar 2.7 Pemasangan Spesimen Pengujian *Impact* dengan Metode *Izod*
Sumber : Davis, 1982: 233

Pada spesimen yang telah dilakukan pengujian *impact*, akan dapat diketahui jenis patahan yang dihasilkan. Adapun jenis-jenis patahan tersebut antara lain:

1. Patahan Getas

Ciri-ciri patahan getas adalah memiliki permukaan rata dan mengkilap, apabila potongan ini disambung kembali maka kedua potongan ini akan menyambung dengan baik dan rapat. Hal ini disebabkan pada saat proses patahnya, spesimen tidak mengalami deformasi. Bahan yang memiliki jenis patahan ini mempunyai kekuatan *impact* yang rendah.

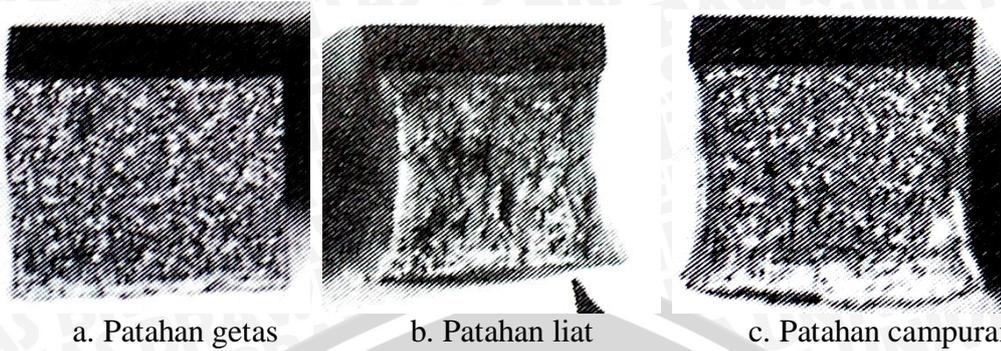
2. Patahan Liat

Ciri-ciri permukaan patahan jenis ini tidak rata dan tampak seperti beludru, buram dan berserat. Jika potongan disambungkan kembali maka sambungan tidak akan rapat. Bahan yang memiliki jenis patahan ini mempunyai kekuatan *impact* yang tinggi, karena sebelum patah bahan mengalami deformasi terlebih dahulu.

3. Patahan Campuran

Ciri-cirinya patahan jenis ini adalah permukaan patahan sebagian terdiri dari patahan getas dan sebagian yang lain adalah patahan liat.

Adapun sifat-sifat patahan dapat dijelaskan pada Gambar 2.8.



a. Patahan getas

b. Patahan liat

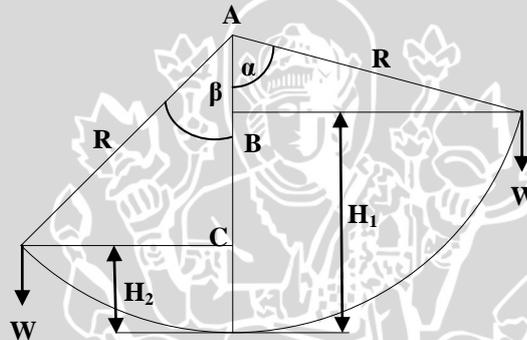
c. Patahan campuran

Gambar 2.8 Sifat-sifat Patahan

a). Patahan getas, b). Patahan liat, c). Patahan campuran

Sumber: ASM Handbook, 1996

Adapun rumus yang digunakan dalam pengujian *impact* dengan metode pukul takik dapat diturunkan berdasarkan gambar 2.9 berikut:



Gambar 2.9 Skema *Charpy Impact Test*

Sumber : Verma, ER. CL, 1976: 86

a. Energi untuk mematahkan spesimen (E')

Energi atau usaha untuk mematahkan spesimen dapat dicari dari persamaan sebagai berikut (Verma, ER. CL, 1976: 86):

$$\begin{aligned}
 E' &= WH_1 - WH_2 \\
 &= W(H_1 - H_2) \\
 &= W(AC) \\
 &= W(AC - AB) \\
 &= W(R \cos \beta - R \cos \alpha) \\
 &= WR(\cos \beta - \cos \alpha) \quad (2-3)
 \end{aligned}$$

dengan:

$$E' = \text{Energi untuk mematahkan spesimen (N}\cdot\text{mm)}$$

W = Berat pendulum atau palu (N)

H_1 = Tinggi kedudukan awal pendulum atau palu (mm)

H_2 = Tinggi pendulum atau palu setelah mematahkan spesimen (mm)

R = Panjang lengan pendulum (mm)

α = Sudut simpang awal ayunan pendulum ($^\circ$)

β = Sudut simpang akhir ayunan pendulum setelah mematahkan spesimen ($^\circ$)

b. Kerugian energi pada alat (f)

Energi yang hilang dapat disebabkan karena gesekan dalam poros bantalan (Herman E, Davis, 1964: 236). Energi yang hilang atau kerugian energi pada alat dapat kita hitung melalui besarnya energi ayunan pada saat tanpa spesimen (Verma, ER. CL, 1976: 86).

$$f = WR(\cos\beta_o - \cos\alpha) \quad (2-4)$$

dengan:

f = Kerugian energi yang disebabkan oleh gesekan (N·mm)

β_o = Sudut simpang akhir ayunan pendulum tanpa spesimen ($^\circ$)

c. Energi aktual yang dibutuhkan (Verma, ER. CL, 1976: 86).

$$E_a = E' - f \quad (2-5)$$

dengan:

E_a = Energi aktual yang dibutuhkan (N·mm)

d. Energi aktual yang dibutuhkan untuk mematahkan spesimen tiap satuan luas penampang (Verma, ER. CL, 1976: 86).

$$E = \frac{E_a}{A} \quad (2-6)$$

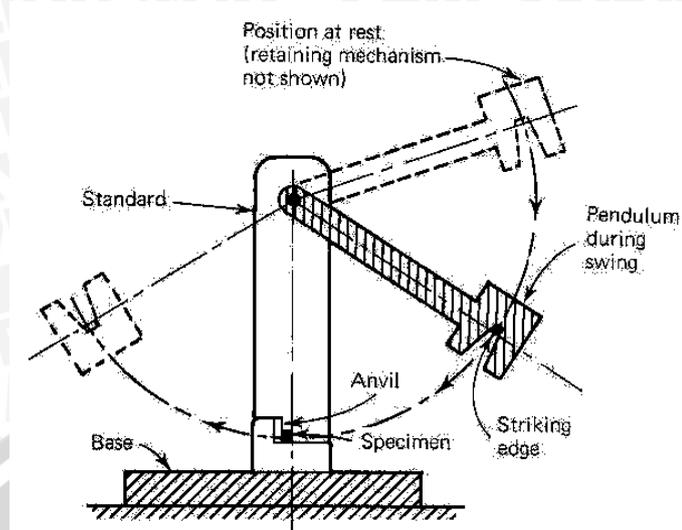
dengan:

E = Kekuatan *impact* atau nilai pukul takik (N·mm/mm²)

A = Luas penampang patahan benda kerja (mm²)

Bentuk konstruksi mesin uji impact ditunjukkan seperti pada Gambar 2.10.

Terdapat bagian berupa batang berpendulum yang dapat memutar membentuk ayunan yang ditumpu pada batang tegak yang dihubungkan ke alas mesin uji. Ayunan pendulum akan membentuk sudut yang besarnya tergantung pada seberapa besar ketangguhan spesimen menerima tumbukan.



Gambar 2.10 Mesin Uji Impact
Sumber : Davis, 1982 : 228

2.9 Hipotesa

Dengan bertambahnya kecepatan putar cetakan maka gaya sentrifugal dengan arah meninggalkan pusat putaran menekan logam cair ke dinding cetakan yang menyebabkan pergerakan partikelnya cukup kuat sehingga didapatkan struktur coran yang lebih rapat (padat) yang menyebabkan semakin meningkatnya nilai *density* dan struktur butir yang terbentuk semakin kecil, sehingga kekuatan *impact* yang dihasilkan semakin rendah.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian eksperimental (*experimental research*) yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh kecepatan putar cetakan terhadap *density* dan kekuatan *impact* hasil coran paduan aluminium (Al-Zn) dengan proses 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.

3.2 Tempat dan waktu penelitian

Tempat

- Laboratorium Pengecoran Logam Universitas Brawijaya tempat peleburan aluminium paduan dan pelaksanaan proses pengecoran sentrifugal.
- Laboratorium Proses Produksi I Teknik Mesin Unibraw tempat pembuatan alat pengecoran sentrifugal dan benda kerja penelitian.
- Laboratorium Metalurgi Fisik Teknik Mesin Unibraw tempat pengujian distribusi kekuatan *impact* dan pengujian *density* serta foto makro spesimen.
- Laboratorium Fisika Gelombang FMIPA Universitas Negeri Malang tempat pengujian (pengukuran) besar induksi magnet dan uji komposisi material.

Waktu Penelitian

Dimulai bulan Mei s/d Juli 2009

3.3 Variabel Penelitian

Variabel penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

a. Variabel bebas

Variabel bebas adalah variabel yang besarnya ditentukan sebelum

penelitian. Variabel bebas yang digunakan adalah :

- kecepatan putar cetakan : 700, 900, 1100, 1300, 1500 rpm.

b. Variabel terikat

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

- *Density*.
- Kekuatan *impact*.

c. Variabel terkontrol

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

- Temperatur peleburan : 900 °C
- Pemanasan cetakan : 200 °C

3.4 Peralatan dan Bahan yang digunakan

3.4.1 Peralatan yang digunakan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

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

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

4. Peralatan *safety* (standar laboratorium)

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

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

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

5. Peralatan uji *density*

Digunakan untuk menguji nilai *density* dari spesimen hasil coran.

6. Peralatan uji kekuatan *impact*

Digunakan untuk menguji nilai kekuatan *impact* dari specimen hasil coran.

7. Jangka sorong

Digunakan untuk mengukur dimensi hasil coran,

8. Digital termometer.

Digunakan untuk mengukur suhu tuang aluminium paduan.

9. Digital tachometer

Digunakan untuk mengukur kecepatan putar cetakan.

10. Mesin bubut dan gergaji potong.

Digunakan untuk membuat spesimen.

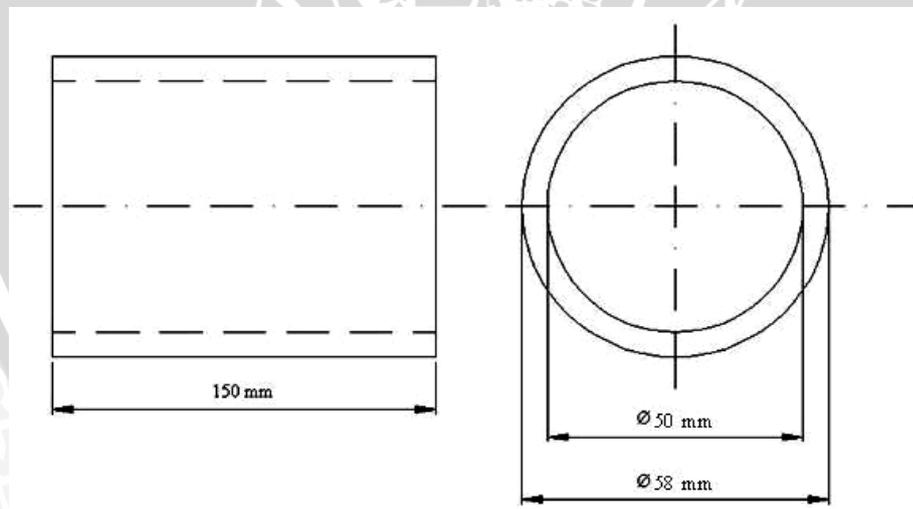
11. Tool set.

Digunakan untuk bongkar pasang cetakan pada alat pengecoran sentrifugal.

3.4.2 Bahan yang digunakan

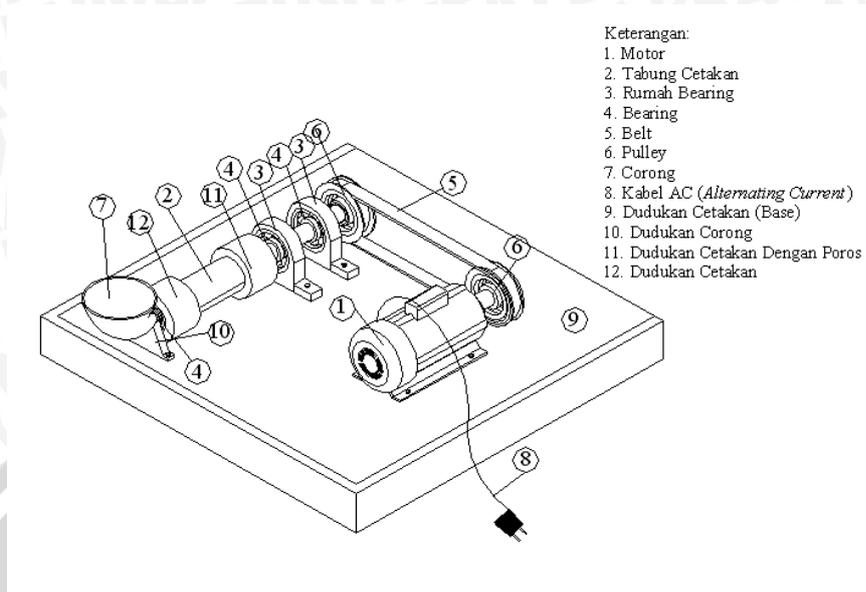
Bahan spesimen yang digunakan adalah Aluminium paduan Al-Zn dengan komposisi Al 87 % dan Zn 8 % (MatWeb. Material Property Data).

3.5 Dimensi Benda Kerja



Gambar 3.1 Dimensi Benda Kerja

3.6 Skema Alat Pengecoran Sentrifugal



Gambar 3.2 Skema Alat Pengecoran Sentrifugal

3.7 Prosedur Penelitian

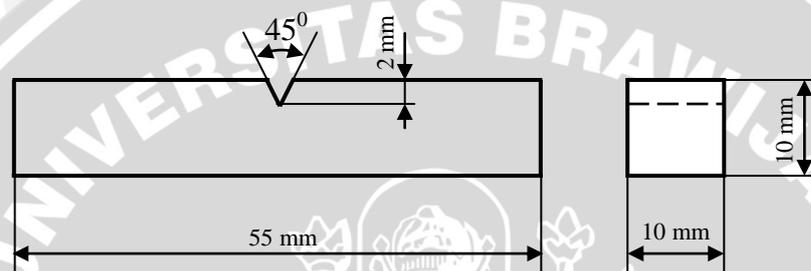
3.7.1 Prosedur pengecoran benda kerja.

Langkah-langkah yang diambil dalam penelitian ini adalah :

1. Pesiapan percobaan, yaitu menyiapkan dapur peleburan dan menyiapkan alat-alat, yaitu memasang cetakan dan mesin pemutar cetakan.
2. Meleburkan Al-Zn sampai temperatur 900°C serta memanaskan cetakan sampai pada temperatur 200°C .
3. Penuangan logam cair kedalam cetakan yang berputar dengan mengatur variasi kecepatan putar yang diinginkan (700, 900, 1100, 1300, 1500 rpm), temperatur penuangan 900°C dan temperatur cetakan 200°C .
 - Pengecoran pertama dilakukan dengan menuangkan logam cair kedalam cetakan dengan kecepatan putar cetakan 700 rpm dan selanjutnya dilakukan pembongkaran cetakan.
 - Pengecoran kedua dilakukan dengan menuangkan logam cair kedalam cetakan dengan kecepatan putar cetakan 900 rpm dan selanjutnya dilakukan pembongkaran cetakan.
 - Pengecoran ketiga dilakukan dengan menuangkan logam cair kedalam cetakan dengan kecepatan putar cetakan 1100 rpm dan selanjutnya dilakukan pembongkaran cetakan.

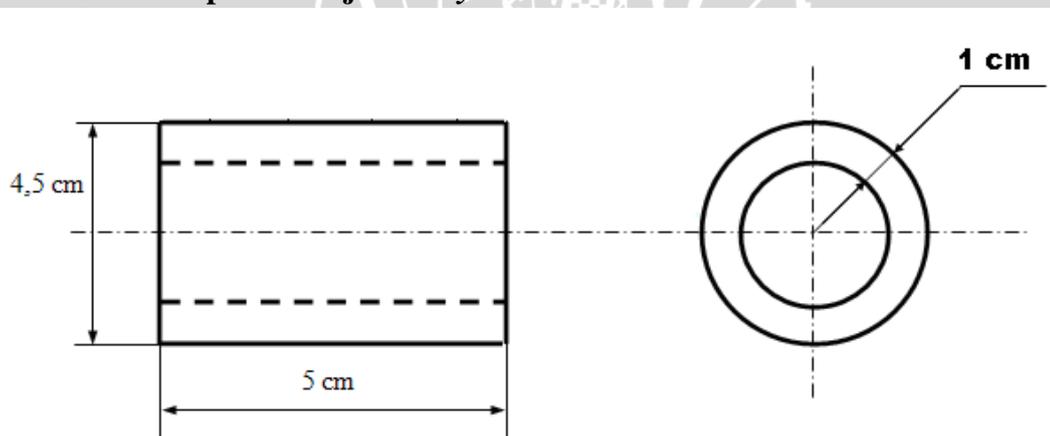
- Pengecoran keempat dilakukan dengan menuangkan logam cair kedalam cetakan dengan kecepatan putar cetakan 1300 rpm dan selanjutnya dilakukan pembongkaran cetakan.
- Pengecoran keempat dilakukan dengan menuangkan logam cair kedalam cetakan dengan kecepatan putar cetakan 1500 rpm dan selanjutnya dilakukan pembongkaran cetakan.

3.7.2 Gambar spesimen uji kekuatan *impact*.



Gambar 3.3 Spesimen Pengujian Kekuatan *Impact*
Sumber: ASTM E23-82

3.7.3 Gambar spesimen uji *Density*.



Gambar 3.4 Spesimen uji *density*

3.7.4 Prosedur pengambilan dan pengolahan data.

Dari benda uji yang dihasilkan dilakukan pengujian untuk mengetahui jumlah cacat rongga udara dan cacat lubang jarum sebagai berikut :

1. Mengambil spesimen hasil dari kecepatan Putar 700 rpm.

2. Pembuatan spesimen uji *impact* dan *density*.
3. Pengambilan data kekuatan *impact* dan *density* di laboratorium Pengujian logam.
4. Pengolahan data dengan menggunakan uji statistik yaitu dengan menggunakan analisa varian dan analisa regresi.
5. Melakukan pengulangan langkah 1-4 pada 3 specimen lainnya yang didapat dari kecepatan putar 700 rpm.
6. Melakukan pengulangan 1-5 untuk specimen hasil dari kecepatan putar cetakan : 900, 1100, 1300, 1500 rpm.
7. Melakukan pengujian statistik dengan data-data yang didapat dari langkah-langkah diatas. Uji statistik yang digunakan adalah dengan menggunakan analisa varian satu arah.
8. Melakukan analisa dan pembahasan dari data-data tersebut.
9. Kesimpulan.

3.8 Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian ini merupakan cara untuk menentukan keberhasilan suatu penelitian atau eksperimen dan juga menentukan analisis yang sesuai sehingga didapat suatu kesimpulan yang tepat.

Pencatatan data merupakan hal yang sangat penting dalam proses analisis data untuk memperoleh informasi tentang sesuatu hal yang benar. Oleh karena itu, diperlukan ketelitian serta adanya sampel yang cukup mewakili populasi dari masalah yang akan diteliti.

Data yang telah diperoleh kemudian diolah dengan analisis statistik dengan menggunakan analisis varian satu arah.

3.8.1 Analisis Statistik

- Data rata-rata

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n} \dots\dots\dots(3-1)$$

- Standar Deviasi

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum |x - \bar{x}|^2}{n - 1}} \dots\dots\dots(3-2)$$

- Standar Deviasi Rata-Rata

$$\bar{\delta} = \frac{\delta}{\sqrt{n}} \dots\dots\dots(3-3)$$

- Interval Penduga

$$\bar{x} - \left[t \left(\frac{\alpha}{2}, db \right) \cdot \bar{\delta} \right] < \mu < \bar{x} + \left[t \left(\frac{\alpha}{2}, db \right) \cdot \bar{\delta} \right] \dots\dots\dots(3-4)$$

3.8.2 Analisa Varian Satu Arah *Density*

Dari analisa varian satu arah ini akan diketahui ada tidaknya pengaruh kecepatan putar cetakan terhadap *density* paduan Al-Zn pada proses pengecoran sentrifugal. Dari data yang diperoleh diuji secara statistik bagaimana pengaruh variabel bebas (kecepatan putar cetakan 700, 900, 1100, 1300, 1500 rpm) terhadap variabel terikatnya. Harga variabel terikat dianggap sebagai $\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4,$ dan μ_5 maka hipotesis penelitian ditulis sebagai berikut:

H_0 : $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5$

(Tidak ada pengaruh nyata kecepatan putar cetakan terhadap *density* paduan Al-Zn pada pengecoran sentrifugal).

H_1 : $\mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4 \neq \mu_5$

(ada pengaruh nyata kecepatan putar cetakan terhadap *density* paduan Al-Zn pada pengecoran sentrifugal).

Pengamatan ditabelkan sebagai berikut:

Tabel 3.1 Tabel Pengamatan Data

Pengulangan Uji kekuatan <i>impact</i> (N·mm/mm ²) dan <i>density</i>	Kecepatan putar cetakan					
	700	900	1100	1300	1500	
1	x_{11}	x_{21}	x_{31}	x_{41}	x_{51}	
2	x_{12}	x_{22}	x_{32}	x_{42}	x_{52}	
3	x_{13}	x_{23}	x_{33}	x_{43}	x_{53}	
Jumlah	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	$T_{..}$
Rata-rata	\bar{x}_1	\bar{x}_2	\bar{x}_3	\bar{x}_4	\bar{x}_5	$\bar{x}_{..}$



Berdasarkan pada tabel:

- Jumlah seluruh perlakuan = $\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n x_{ij}$ (3-5)

- Jumlah kuadrat seluruh perlakuan = $\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n x_{ij}^2$ (3-6)

- Faktor Koreksi (*fk*)

$$fk = \frac{T_{..}^2}{nk} \dots\dots\dots(3-7)$$

- Jumlah Kuadrat Total (JKT)

$$JKT = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n x_{ij}^2 - \frac{T_{..}^2}{nk} \dots\dots\dots(3-8)$$

- Jumlah Kuadrat Perlakuan (JKP)

$$JKP = \frac{\sum_{i=1}^k T_i^2}{n} - \frac{T_{..}^2}{nk} \dots\dots\dots(3-9)$$

- Jumlah Kuadrat Galat (JKG)

$$JKG = JKT - JKP \dots\dots\dots(3-10)$$

Setelah dilakukan perhitungan data, kemudian hasil perhitungan tersebut ditabelkan seperti pada Tabel 3.2 dibawah ini.

Tabel 3.2 Analisis Ragam Klasifikasi Satu-Arah Data *density*

Sumber Keragaman	Derajat Bebas	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Rata-rata	F_{hitung}	F_{tabel}
Perlakuan	k-1	JKP	$s_1^2 = \frac{JKP}{k-1}$	$\frac{s_1^2}{s_2^2}$	$F(\alpha, k, db)$
Galat	k(n-1)	JKG	$s_2^2 = \frac{JKG}{k(n-1)}$		
Total	nk-1	JKT			

Pengujian ada tidaknya pengaruh perlakuan adalah dengan membandingkan antara F_{hitung} dengan F_{tabel}



1. Jika $F_{hitung} > F(\alpha, k, db)$ berarti H_0 ditolak, menyatakan bahwa ada pengaruh antara kecepatan putar cetakan terhadap *density* paduan Al-Zn pada pengecoran sentrifugal.
2. Jika $F_{hitung} < F(\alpha, k, db)$ berarti H_0 diterima, menyatakan bahwa tidak ada pengaruh antara kecepatan putar cetakan terhadap *density* paduan Al-Zn pada pengecoran sentrifugal.

3.8.3 Analisa Varian Satu Arah Kekuatan *Impact*

Dari analisa varian satu arah ini akan diketahui ada tidaknya pengaruh kecepatan putar cetakan terhadap kekuatan *impact* paduan Al-Zn pada proses pengecoran sentrifugal. Dari data yang diperoleh diuji secara statistik bagaimana pengaruh variabel bebas (kecepatan putar cetakan 700, 900, 1100, 1300, 1500 rpm) terhadap variabel terikatnya. Harga variabel terikat dianggap sebagai $\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4,$ dan μ_5 maka hipotesis penelitian ditulis sebagai berikut:

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5$$

(Tidak ada pengaruh nyata kecepatan putar cetakan terhadap kekuatan *impact* paduan Al-Zn pada pengecoran sentrifugal).

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4 \neq \mu_5$$

(ada pengaruh nyata kecepatan putar cetakan terhadap kekuatan *impact* paduan Al-Zn pada pengecoran sentrifugal).

Pengamatan ditabelkan sebagai berikut:

Tabel 3.3 Tabel Pengamatan Data

Pengulangan Uji kekuatan <i>impact</i> (N·mm/mm ²) dan <i>density</i>	Kecepatan putar cetakan					
	700	900	1100	1300	1500	
1	x_{11}	x_{21}	x_{31}	x_{41}	x_{51}	
2	x_{12}	x_{22}	x_{32}	x_{42}	x_{52}	
3	x_{13}	x_{23}	x_{33}	x_{43}	x_{53}	
Jumlah	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	$T_{..}$
Rata-rata	\bar{x}_1	\bar{x}_2	\bar{x}_3	\bar{x}_4	\bar{x}_5	$\bar{x}_{..}$

Berdasarkan pada tabel:

- Jumlah seluruh perlakuan = $\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n x_{ij}$ (3-5)

- Jumlah kuadrat seluruh perlakuan = $\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n x_{ij}^2$ (3-6)

- Faktor Koreksi (*fk*)

$$fk = \frac{T_{..}^2}{nk} \dots\dots\dots(3-7)$$

- Jumlah Kuadrat Total (JKT)

$$JKT = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n x_{ij}^2 - \frac{T_{..}^2}{nk} \dots\dots\dots(3-8)$$

- Jumlah Kuadrat Perlakuan (JKP)

$$JKP = \frac{\sum_{i=1}^k T_i^2}{n} - \frac{T_{..}^2}{nk} \dots\dots\dots(3-9)$$

- Jumlah Kuadrat Galat (JKG)

$$JKG = JKT - JKP \dots\dots\dots(3-10)$$

Setelah dilakukan perhitungan data, kemudian hasil perhitungan tersebut ditabelkan seperti pada Tabel 3.4 dibawah ini.

Tabel 3.4 Analisis Ragam Klasifikasi Satu-Arah Data kekuatan *impact*

Sumber Keragaman	Derajat Bebas	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Rata-rata	F_{hitung}	F_{tabel}
Perlakuan	k-1	JKP	$s_1^2 = \frac{JKP}{k-1}$	$\frac{s_1^2}{s_2^2}$	$F(\alpha, k, db)$
Galat	k(n-1)	JKG	$s_2^2 = \frac{JKG}{k(n-1)}$		
Total	nk-1	JKT			

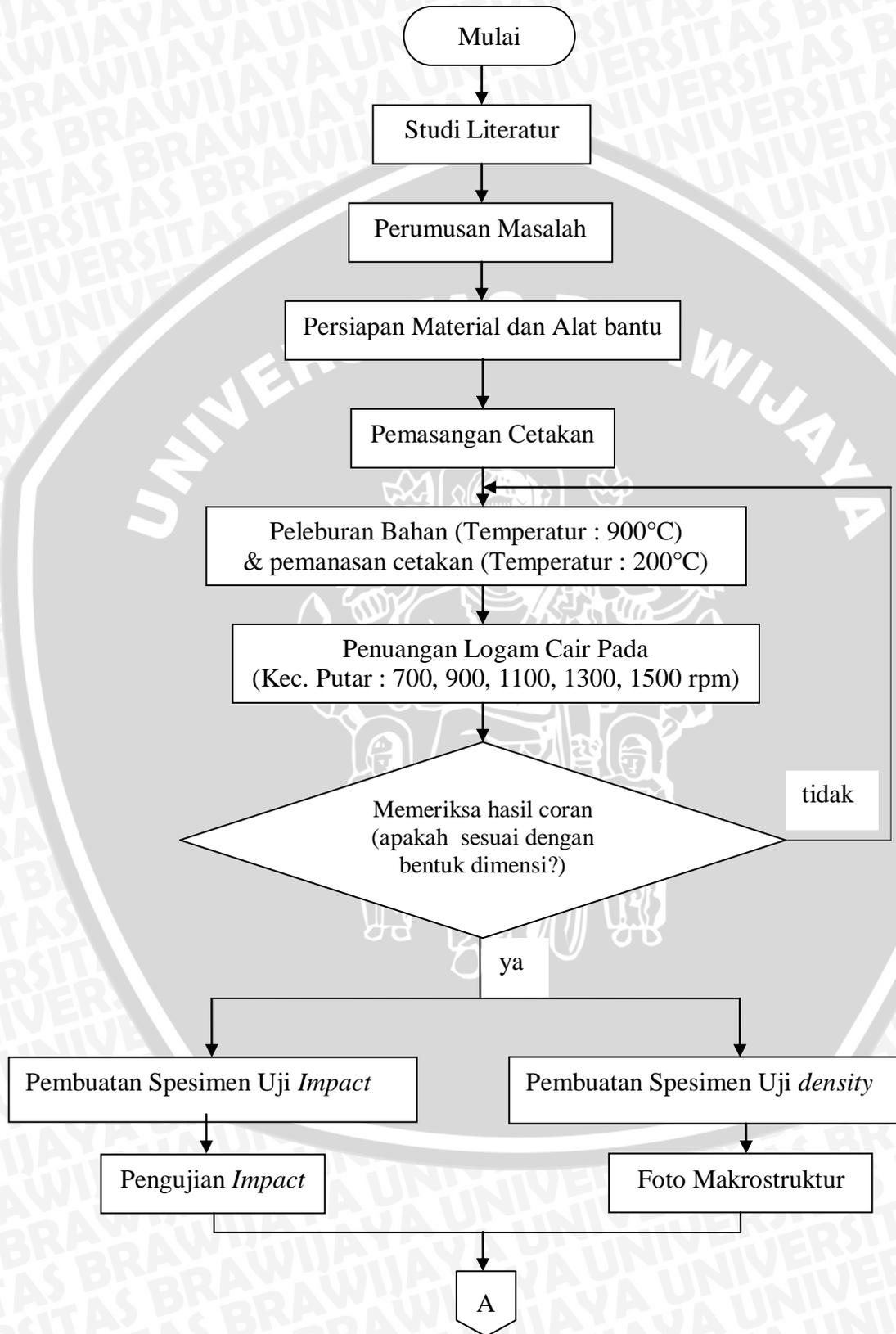
Pengujian ada tidaknya pengaruh perlakuan adalah dengan membandingkan antara F_{hitung} dengan F_{tabel}

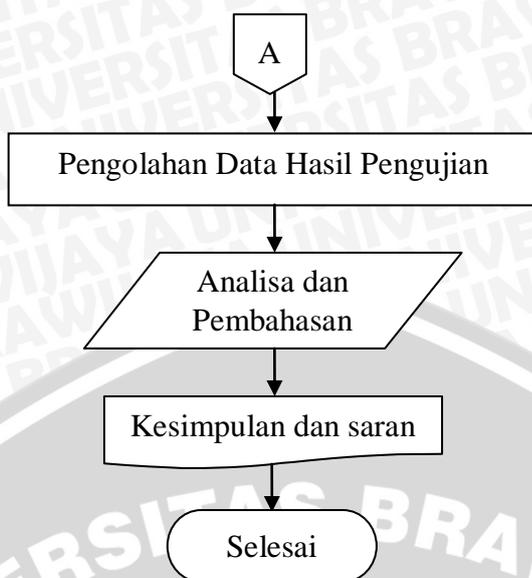


1. Jika $F_{hitung} > F(\alpha, k, db)$ berarti H_0 ditolak, menyatakan bahwa ada pengaruh antara kecepatan putar cetakan terhadap kekuatan *impact* paduan Al-Zn pada pengecoran sentrifugal.
2. Jika $F_{hitung} < F(\alpha, k, db)$ berarti H_0 diterima, menyatakan bahwa tidak ada pengaruh antara kecepatan putar cetakan terhadap kekuatan *impact* paduan Al-Zn pada pengecoran sentrifugal.

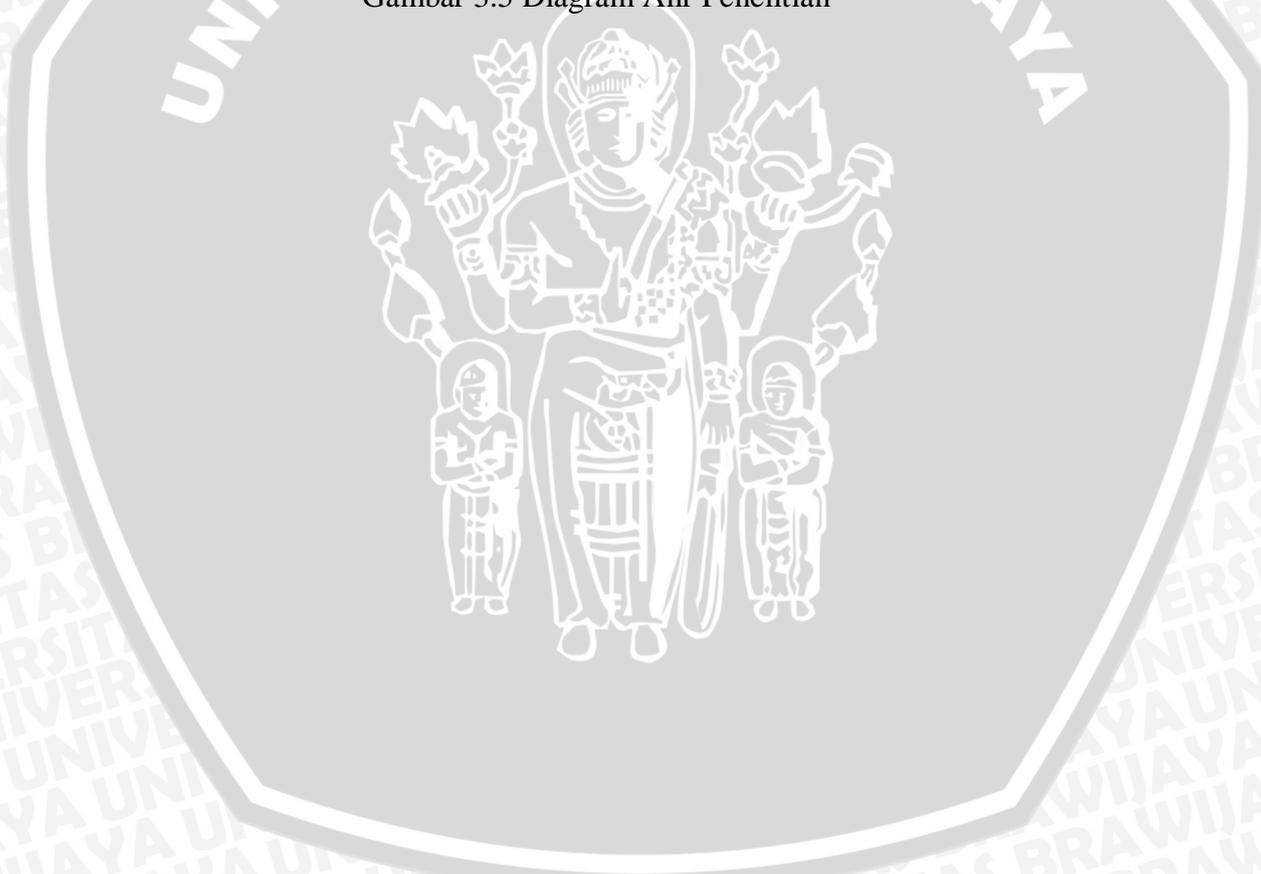


3.9 Diagram Alir Penelitian





Gambar 3.5 Diagram Alir Penelitian



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Dan Perhitungan Hasil Pengujian

4.1.1 Data hasil Pengujian *Density*

Data hasil penimbangan menggunakan metode *piknometri* dan standar ASTM B311-93 dihitung menggunakan rumus (4-1) dan diperoleh rata-rata data pada Tabel 4.1.

Perhitungan Pengujian *Density* menggunakan rumus:

$$\rho_s = \rho_w \left[\frac{W_s}{W_s - (W_{sb} - W_b)} \right] \quad (4-1)$$

dengan:

ρ_s = sampel *density* (g/cm³)

ρ_w = *density* air (g/cm³)

W_s = berat sampel *density* di udara (g)

W_{sb} = berat sampel *density* dan keranjang di dalam air (g)

W_b = berat keranjang di dalam air (g)

Sehingga diperoleh hasil perhitungan Pengujian *Density* sebagai berikut:

Tabel 4.1 Data Hasil Pengujian *Density* (g/cm³)

Sampel	KECEPATAN PUTAR				
	700 rpm	900 rpm	1100 rpm	1300 rpm	1500 rpm
I	2.180079	2.450792	2.496186	2.963979	2.674064
II	2.289108	2.501972	2.509547	3.008772	2.875829
III	2.184806	2.627723	3.117864	2.851876	3.352629
Jumlah	6.640586914	7.580486783	8.123596348	8.824626913	8.902522856
Rata2	2.213528971	2.526828928	2.707865449	2.941542304	2.967507619

Contoh perhitungan menggunakan data dengan kecepatan putar 700 rpm :

$$\begin{aligned} \rho_s &= \rho_w \left[\frac{W_s}{W_s - (W_{sb} - W_b)} \right] \\ &= 0,9970 \text{ g/cm}^3 \cdot \frac{93,46 \text{ g}}{93,46 \text{ g} - (60,51 \text{ g} - 9,92 \text{ g})} \\ &= 2.180 \text{ g/cm}^3 \end{aligned}$$



4.1.2 Data hasil Pengujian Kekuatan *Impact*

Berikut ini akan disajikan data nilai kekuatan *impact* yang diperoleh dari penelitian yang dilakukan dan pada setiap pengamatan dilakukan pengulangan sebanyak 3 kali. Data-data tersebut disusun dalam tabel yang sistematis sehingga bisa memudahkan untuk pengolahan selanjutnya. Data ini merupakan hasil dari pengujian *impact* pengecoran logam Al-Zn.

Tabel 4.2 Data Hasil Pengujian Kekuatan *Impact* (N·mm/mm²)

Pengulangan	Kecepatan putar	700	900	1100	1300	1500
	1		2,192	2.192	2.192	2.192
2		2.476	2.476	2.476	1.906	1.473
3		2.476	2.617	2.192	1.473	1.473
Jumlah		7.144	7.285	6.860	5.571	5.139
Nilai rata-rata		2.381	2.428	2.287	1.857	1.713

Penghitungan nilai kekuatan *impact* diambil salah dari satu contoh pada kecepatan putar 700 rpm sebagai berikut :

$$W = 24 \text{ N}$$

$$\beta = 27^{\circ}$$

$$R = 600 \text{ mm}$$

$$\beta_0 = 28,5^{\circ}$$

$$A = 80 \text{ mm}^2$$

$$\alpha = 30^{\circ}$$

dimana :

W = Berat pendulum atau palu (N)

R = Panjang lengan pendulum (mm)

A = Luas penampang patahan benda kerja (mm²)

β = Sudut simpang akhir ayunan pendulum setelah mematahkan spesimen (°)

β_0 = Sudut simpang akhir ayunan pendulum tanpa spesimen (°)

α = Sudut simpang awal ayunan pendulum (°)

- Energi untuk mematahkan spesimen (E')

$$E' = W \times R \times (\cos \beta - \cos \alpha)$$

$$= 24 \times 600 \times (\cos 27^{\circ} - \cos 30^{\circ})$$

$$= 14400 \times 0,02498$$

$$= 359,712 \text{ (N.mm)}$$

- Kerugian energi pada alat (f)

$$\begin{aligned} f &= W \times R (\cos \beta_0 - \cos \alpha) \\ &= 24 \times 600 (\cos 28,5^\circ - \cos 30^\circ) \\ &= 14400 \times 0,012792 \\ &= 184,20 \quad (\text{N.mm}) \end{aligned}$$

- Energi aktual yang dibutuhkan (Verma, ER. CL, 1976: 86).

$$\begin{aligned} E_a &= E' - f \\ &= 359,712 - 184,20 \\ &= 175,53 \quad (\text{N.mm}) \end{aligned}$$

- Energi aktual yang dibutuhkan untuk mematahkan spesimen tiap satuan luas penampang (Verma, ER. CL, 1976: 86).

$$\begin{aligned} E &= \frac{E_a}{A} \\ &= \frac{175,53}{80} \\ &= 2,192 \quad (\text{N.mm/mm}^2) \end{aligned}$$

4.2 Analisis Statistik

4.2.1 Analisis Statistik *density*

Analisis statistik *density* diambil salah satu contoh pada kecepatan putar 700 rpm :

- Data rata-rata

$$\begin{aligned} \bar{x} &= \frac{\sum x}{n} \\ &= \frac{6.640586914}{3} \\ &= 2.213529 \end{aligned}$$

- Standar Deviasi

$$\begin{aligned} \delta &= \sqrt{\frac{\sum |x - \bar{x}|^2}{n-1}} \\ &= \sqrt{\frac{(4,427057914)^2}{3-1}} \\ &= 0.475685981 \end{aligned}$$

- Standar Deviasi Rata-rata

$$\begin{aligned}\bar{\delta} &= \frac{\delta}{\sqrt{n}} \\ &= \frac{0.475685981}{\sqrt{3}} \\ &= 0.2746\end{aligned}$$

- Interval penduga

$$\bar{x} - \left[t\left(\frac{\alpha}{2}, db\right) \cdot \bar{\delta} \right] < \mu < \bar{x} + \left[t\left(\frac{\alpha}{2}, db\right) \cdot \bar{\delta} \right]$$

$$\begin{aligned}db &= n-1 \\ &= 3-1 = 2\end{aligned}$$

Dari tabel-T dengan mengambil $\alpha = 5\%$ dapat diketahui

$$t(\alpha/2; db) = t(0,025; 2) = 4.303$$

maka

$$2.213529 - 4.303 \cdot 0.2746 < \mu < 2.213529 + 4.303 \cdot 0.2746$$

$$2.213529 - 1,1816038 < \mu < 2.213529 + 1,1816038$$

$$1.0318 < \mu < 3.3953$$

Jadi interval penduga *density* hasil pengecoran aluminium paduan dengan penambahan kecepatan putar 700 rpm didapatkan 1.0318 g/cm³ sampai 3.3953 g/cm³ dengan tingkat keyakinan 95 %.

Dengan perhitungan yang sama seperti di atas, didapatkan interval penduga *density* beberapa kecepatan putar yang berbeda kemudian disusun pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Interval penduga *density*

Kecepatan putar (rpm)	Density Rata-rata (g/cm ³)	Standar Deviasi Rata-rata	Interval Penduga Density
700 rpm	2.213528971	0.475685981	1.0318 < μ < 3.3953
900 rpm	2.526828928	0.684552618	0.8262 < μ < 4.2275
1100 rpm	2.707865449	0.805243633	0.7074 < μ < 4.7084
1300 rpm	2.941542304	0.961028203	0.5540 < μ < 5.3291
1500 rpm	2.967507619	0.978338412	0.5370 < μ < 5.3980

4.2.2 Analisis Statistik Kekuatan *Impact*

Analisis statistik kekuatan *impact* diambil salah satu contoh pada kecepatan putar 700 rpm :

- Data rata-rata

$$\begin{aligned}\bar{x} &= \frac{\sum x}{n} \\ &= \frac{7.144}{3} \\ &= 2.3813 \text{ kg}\cdot\text{mm}/\text{mm}^2\end{aligned}$$

- Standar Deviasi

$$\begin{aligned}\delta &= \sqrt{\frac{\sum |x - \bar{x}|^2}{n-1}} \\ &= \sqrt{\frac{15.245}{3-1}} = 0.5875\end{aligned}$$

- Standar Deviasi Rata-rata

$$\begin{aligned}\bar{\delta} &= \frac{\delta}{\sqrt{n}} \\ &= \frac{0.5875}{\sqrt{3}} \\ &= 0.3392\end{aligned}$$

- Interval penduga

$$\bar{x} - \left[t\left(\frac{\alpha}{2}, db\right) \cdot \bar{\delta} \right] < \mu < \bar{x} + \left[t\left(\frac{\alpha}{2}, db\right) \cdot \bar{\delta} \right]$$

$$\begin{aligned}db &= n-1 \\ &= 3-1 = 2\end{aligned}$$

Dari tabel-T dengan mengambil $\alpha = 5\%$ dapat diketahui

$$t(\alpha/2 ; db) = t(0,025 ; 2) = 4.303$$

maka

$$2.3813 - [4.303 \cdot 0.3392] < \mu < 2.3813 + [4.303 \cdot 0.3392]$$

$$2.3813 - 0.749 < \mu < 2.3813 + 0.749$$

$$0.9217 < \mu < 3.8409$$

Jadi interval penduga kekuatan *impact* pengecoran Al-Zn dengan kecepatan putar 700 rpm didapatkan 0.9217 N·mm/mm² sampai 3.8409 N·mm/mm² dengan tingkat keyakinan 95 %.

Dengan perhitungan yang sama seperti di atas, didapatkan interval penduga kekuatan *impact* beberapa kecepatan putar yang berbeda.

Tabel 4.4 Interval penduga kekuatan *impact*

Kecepatan putar (rpm)	Kekuatan Impact Rata-rata (kg·mm/mm ²)	Standar Deviasi	Standar Deviasi Rata-rata	Interval Penduga Kekuatan Impact
700 rpm	2.381	0.5875	0.3392	0.9217 < μ < 3.8409
900 rpm	2.428	0.6189	0.3573	0.8908 < μ < 3.9660
1100 rpm	2.287	0.5244	0.3028	0.9838 < μ < 3.5894
1300 rpm	1.857	0.2381	0.1375	1.2656 < μ < 2.4486
1500 rpm	1.713	0.1420	0.0820	1.3603 < μ < 2.0656

4.3 Analisa Varian Satu Arah

4.3.1 Analisa Varian Satu Arah *Density*

Dari data hasil perhitungan di atas, dilakukan analisis statistik menggunakan analisa ragam klasifikasi satu-arah untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh kecepatan putar terhadap *density* pengecoran logam Al-Zn. Hipotesis yang digunakan pada analisis ini, yaitu :

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5$$

(Tidak ada pengaruh nyata kecepatan putar cetakan terhadap *density* paduan Al-Zn pada pengecoran sentrifugal).

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4 \neq \mu_5$$

(ada pengaruh nyata kecepatan putar cetakan terhadap *density* paduan Al-Zn pada pengecoran sentrifugal).

Dengan mengacu pada data di atas dapat diketahui nilai :

- n (jumlah pengulangan) = 3 kali
- k (jumlah variasi) = 5 variasi
- N (jumlah seluruh data yang diambil) = 15 data

Perhitungan ragam klasifikasi satu-arahnya sebagai berikut :

- Jumlah seluruh perlakuan

$$\begin{aligned}
 &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k x_{ij} = \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^7 x_{ij} \\
 &= 2.18007931 + 2.458166266 + 2.503697131 + \dots + 2.860457297 + \\
 &3.362717347 \\
 &= 40.07181981
 \end{aligned}$$

- Jumlah kuadrat seluruh perlakuan

$$\begin{aligned}
 &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k x_{ij}^2 \\
 &= (2.18007931)^2 + (2.458166266)^2 + (2.503697131)^2 \dots + (2.860457297)^2 + \\
 &\quad (3.362717347)^2 \\
 &= 108.7595062
 \end{aligned}$$

- Faktor koreksi (fk)

$$\begin{aligned}
 fk &= \frac{T_{...}^2}{nk} \\
 &= \frac{605.751^2}{15} \\
 &= 107.0500495
 \end{aligned}$$

- Jumlah kuadrat total (JKT)

$$\begin{aligned}
 JKT &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k x_{ij}^2 - \frac{T_{...}^2}{nk} \\
 &= 108.7595062 - 107.0500495 \\
 &= 1.70945662
 \end{aligned}$$

- Jumlah kuadrat perlakuan (JKP)

$$\begin{aligned}
 JKP &= \frac{\sum_{j=1}^k T_{i..}^2}{n} - \frac{T_{...}^2}{nk} \\
 &= \frac{324.6829}{3} - 107.0500495 \\
 &= 1.177598923
 \end{aligned}$$

- Jumlah kuadrat galat (JKG)

$$\begin{aligned}
 JKG &= JKT - JKP \\
 &= 1.70945662 - 1.177598923 \\
 &= 0.531857696
 \end{aligned}$$

Dengan menentukan tingkat kesalahan (α) sebesar 5 %, maka untuk F_{tabel} ($\alpha; k-1;$

$N-k$) = F_{tabel} (0,05; 4; 10) adalah 3.11

Tabel 4.5 Analisis Ragam Klasifikasi Satu-Arah Data *Density*

Sumber Varian	<i>db</i>	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	F_{hitung}	F_{tabel}
Perlakuan	4	1.177598923	0.294399731	5.53	3.11
Galat	10	0.531857696	0.05318577		
Total	14	1.70945662	-	-	-

Dari hasil perhitungan terlihat bahwa $F_{hitung} > F_{tabel}$, maka H_0 ditolak dan H_1 diterima yang berarti ada pengaruh yang nyata antara kecepatan putar terhadap *density* hasil pengecoran logam Al-Zn dengan resiko kesalahan 5%.

4.3.2 Analisa Varian Satu Arah Kekuatan *Impact*

Dari data hasil perhitungan di atas, dilakukan analisis statistik menggunakan analisa ragam klasifikasi satu-arah untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh kecepatan putar terhadap kekuatan *impact* pengecoran logam Al-Zn.

Hipotesis yang digunakan pada analisis ini, yaitu :

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5$$

(Tidak ada pengaruh nyata kecepatan putar cetakan terhadap kekuatan *impact* paduan Al-Zn pada pengecoran sentrifugal).

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4 \neq \mu_5$$

(ada pengaruh nyata kecepatan putar cetakan terhadap kekuatan *impact* paduan Al-Zn pada pengecoran sentrifugal).

Dengan mengacu pada data di atas dapat diketahui nilai :

- n (jumlah pengulangan) = 3 kali
- k (jumlah variasi) = 5 variasi
- N (jumlah seluruh data yang diambil) = 15 data

Perhitungan ragam klasifikasi satu-arahnya sebagai berikut :

- Jumlah keseluruhan perlakuan

$$\begin{aligned} &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k x_{ij} = \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^7 x_{ij} \\ &= 2.192 + 2.192 + 2.192 \dots\dots\dots + 1.473 + 1.473 \\ &= 31.999 \end{aligned}$$

- Jumlah kuadrat seluruh perlakuan

$$\begin{aligned} &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k x_{ij}^2 \\ &= (2.192)^2 + (2.192)^2 + (2.192)^2 + \dots\dots\dots + (1.473)^2 + (1.473)^2 \\ &= 70.34522 \end{aligned}$$

- Faktor koreksi (fk)

$$\begin{aligned} fk &= \frac{T \dots^2}{nk} \\ &= \frac{(1.999)^2}{15} \end{aligned}$$

$$= 68.26282$$

- Jumlah kuadrat total (*JKT*)

$$JKT = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k x_{ij}^2 - \frac{T_{...}^2}{nk}$$

$$= 70.34522 - 68.26282$$

$$= 2.08239$$

- Jumlah kuadrat perlakuan (*JKP*)

$$JKP = \frac{\sum_{j=1}^k T_{i..}^2}{n} - \frac{T_{...}^2}{nk}$$

$$= \frac{208.6139}{3} - 68.26282$$

$$= 1.27513$$

- Jumlah kuadrat galat (*JKG*)

$$JKG = JKT - JKP$$

$$= 2.08239 - 1.27513$$

$$= 0.80726$$

Dengan menentukan tingkat kesalahan (α) sebesar 5 %, maka untuk

$F_{tabel}(\alpha; k-1; N-k) = F_{tabel}(0,05; 4; 10)$ adalah 3.11

Tabel 4.6 Analisis Ragam Klasifikasi Satu-Arah Data Kekuatan *Impact*

Sumber Varian	<i>db</i>	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	F_{hitung}	F_{tabel}
Perlakuan	4	1.27513	0.31878	3.95	3.11
Galat	10	0.80726	0.08073		
Total	14	2.08239	-	-	-

Dari hasil perhitungan terlihat bahwa $F_{hitung} > F_{tabel}$, maka H_0 ditolak dan H_1 diterima yang berarti ada pengaruh yang nyata antara kecepatan putar terhadap kekuatan *impact* hasil pengecoran logam Al-Zn dengan resiko kesalahan 5%.

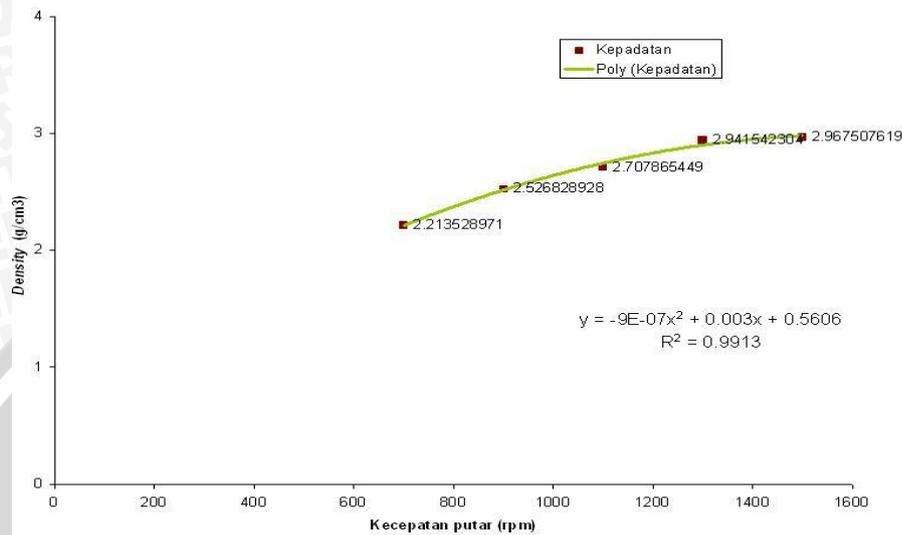
4.4 Pembahasan

4.4.1 Pengaruh Kecepatan Putar terhadap *Density*

Hasil perhitungan statistik analisis ragam satu arah didapatkan nilai F_{hitung} sebesar 5,53 dan dari tabel statistik dapat diketahui nilai F_{tabel} sebesar 3,11. Dengan demikian, nilai F_{hitung} lebih besar dari nilai F_{tabel} sehingga hal ini

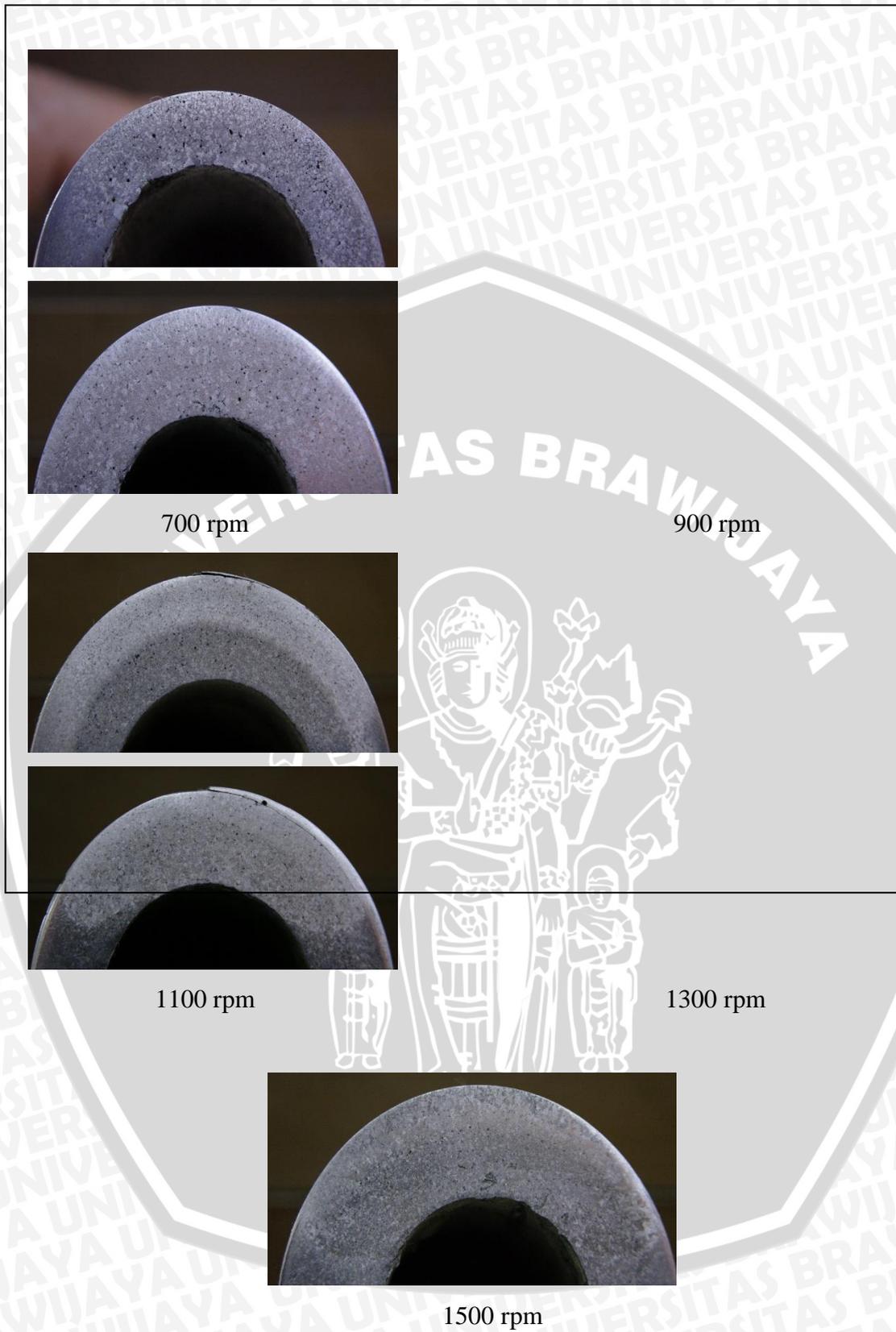
menunjukkan bahwa pengecoran sentrifugal aluminium paduan Al-Zn dengan variasi kecepatan putar cetakan memberikan pengaruh yang nyata terhadap *density* hasil pengecoran sentrifugal horizontal. Seperti terlihat pada grafik di bawah.

Grafik Hubungan Antara kecepatan putar dengan *density* Al-Zn



Gambar 4.1 Grafik Pengaruh Kecepatan Putar terhadap *Density*

Dari gambar Grafik hubungan antara kecepatan putar cetakan terhadap *density* rata-rata pengecoran sentrifugal aluminium paduan (Al-Zn) dapat diketahui bahwa *density* tertinggi rata-rata hasil pengecoran sentrifugal horizontal tercapai pada putaran cetakan 1500 rpm yaitu sebesar 2,9675 g/mm³ dan nilai terendah pada putaran cetakan 700 rpm sebesar 2,2135 g/mm³. Dari grafik dapat diketahui kecenderungan nilai rata-rata *density* meningkat seiring dengan bertambahnya kecepatan putar cetakan. Proses pendinginan cepat yang diakibatkan dari semakin meningkatnya kecepatan putar cetakan mengakibatkan struktur coran yang lebih rapat (padat). Hal ini sesuai dengan hipotesis dan teori yang menyatakan bahwa dengan bertambahnya kecepatan putar akan menambah nilai *density*. Hal ini dapat terlihat pada gambar hasil foto makro dibawah.



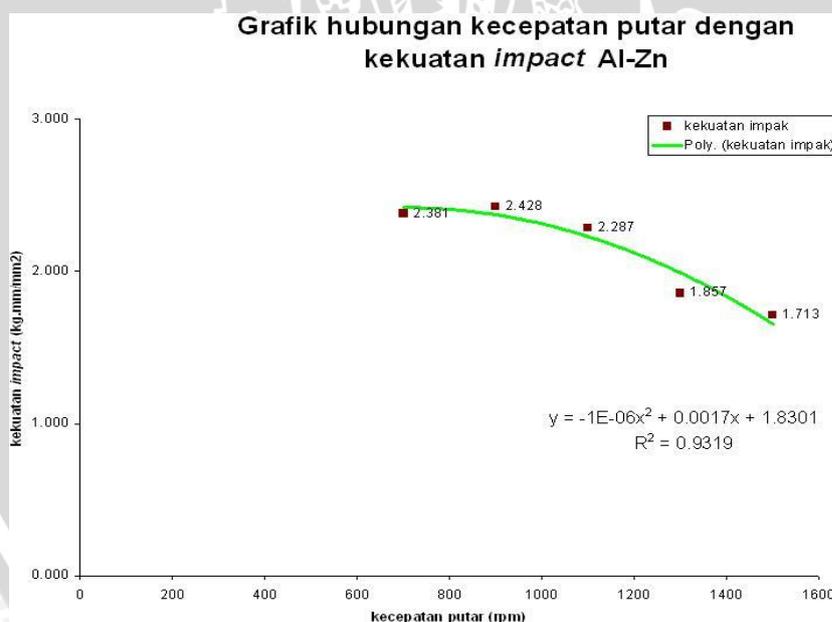
Gambar 4.2. Hasil foto makro spesimen.

4.4.2 Pengaruh Kecepatan Putar terhadap Kekuatan *Impact*

Hasil perhitungan statistik analisis ragam satu arah didapatkan nilai Fhitung sebesar 3,95 dan dari tabel statistik dapat diketahui nilai Ftabel sebesar 3,11. Dengan demikian, nilai Fhitung lebih besar dari nilai Ftabel sehingga hal ini menunjukkan bahwa pengecoran sentrifugal aluminium paduan Al-Zn dengan variasi kecepatan putar cetakan memberikan pengaruh yang nyata terhadap kekuatan *impact* hasil pengecoran sentrifugal horizontal.

Dari hasil pengujian kekuatan *impact* dan perhitungan data dengan nilai kecepatan putar cetakan yang berbeda maka didapatkan besarnya tingkat kekuatan *impact* pada proses pengecoran sentrifugal horizontal. Analisis perhitungan data tersebut disajikan dalam bentuk grafik yang menunjukkan hubungan antara kecepatan putar cetakan terhadap kekuatan *impact* pengecoran sentrifugal horizontal.

Kekuatan *impact* hasil pengecoran sentrifugal horizontal ditunjukkan oleh Grafik hubungan antara kecepatan putar cetakan terhadap kekuatan *impact* rata-rata pengecoran sentrifugal aluminium paduan (Al-Zn) di bawah ini.



Gambar 4.3 Grafik Pengaruh Kecepatan Putar terhadap kekuatan *impact* Aluminium Paduan Al-Zn

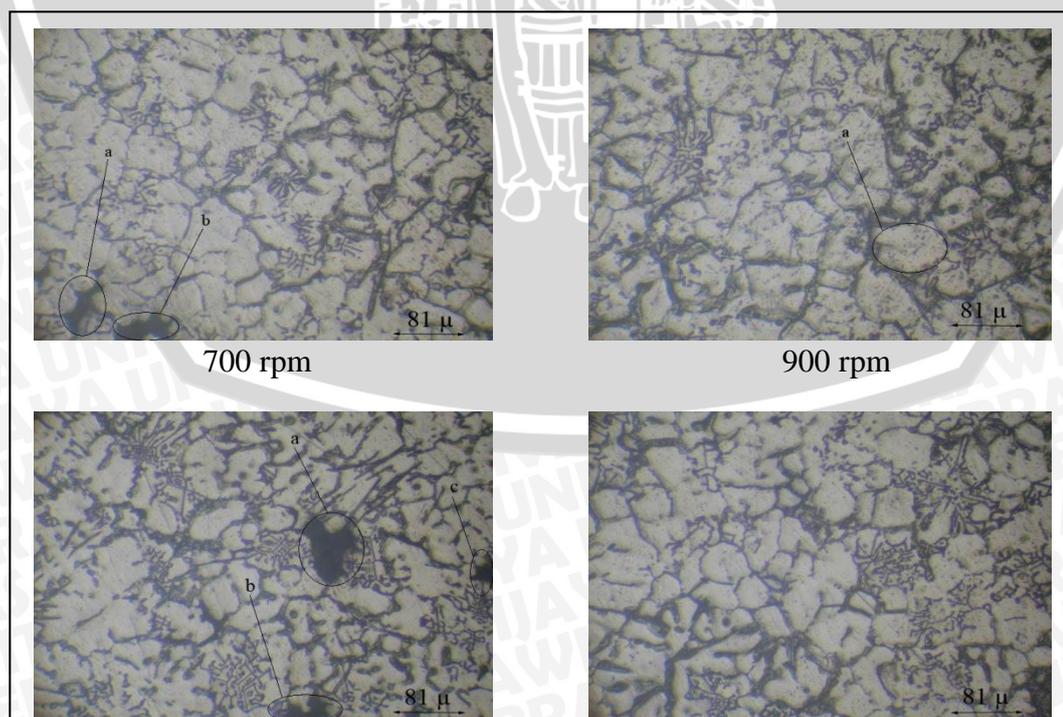
Dari grafik diatas dapat diketahui bahwa kekuatan *impact* rata-rata menurun seiring dengan peningkatan kecepatan putar hingga pada grafik didapatkan nilai kekuatan *impact* rata-rata terendah sebesar 1,713 kg.mm/mm² yaitu pada kecepatan putar tertinggi 1500 rpm. Penurunan nilai kekuatan *impact* pada grafik diatas disebabkan oleh penambahan kecepatan putar yang semakin

tinggi pada proses pengecoran aluminium paduan menyebabkan proses pengadukan logam cair yang semakin cepat sehingga mengakibatkan waktu pendinginan yang bertambah cepat pula. Akibat proses pengadukan dan waktu pendinginan yang cepat, struktur butir yang terbentuk semakin kecil. Hal ini disebabkan waktu yang diperlukan oleh butir-butir untuk terus berkembang menjadi lebih singkat karena bertambahnya kecepatan putar cetakan juga menyebabkan proses pendinginan menjadi lebih cepat.

Lingkaran (a) dan (b) merupakan cacat yang terjadi pada variasi putaran 700 rpm yang mengakibatkan nilai kekuatan *impact* rendah, karena adanya pemusatan tegangan yang menyebabkan kekuatan *impact* menjadi rendah.

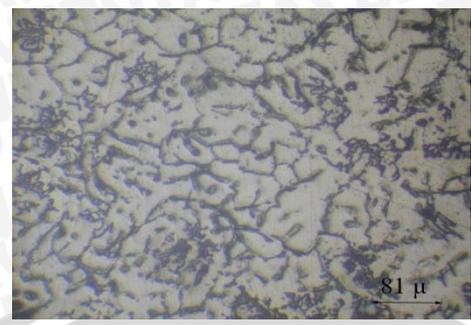
Pada putaran 900 rpm struktur butiran yang dihasilkan rata-rata berukuran besar seperti yang ditunjukkan pada lingkaran (a). Akibat putaran yang rendah terjadi pembekuan yang lambat merupakan salah satu faktor yang mengakibatkan laju pertumbuhan butir lebih cepat daripada laju pengintian butir, sehingga menyebabkan terbentuknya struktur butiran yang besar. Sehingga kekuatan *impact* naik.

Pada putaran 1100 rpm dihasilkan struktur butiran yang lebih kecil dibandingkan dengan putaran 900 rpm. Pada variasi putaran 1100 rpm terlihat adanya cacat seperti yang ditunjukkan pada lingkaran (a), (b), dan (c) yang mengakibatkan adanya pemusatan tegangan pada saat material mengalami beban *impact*, sehingga menyebabkan kekuatan *impact* menjadi rendah.



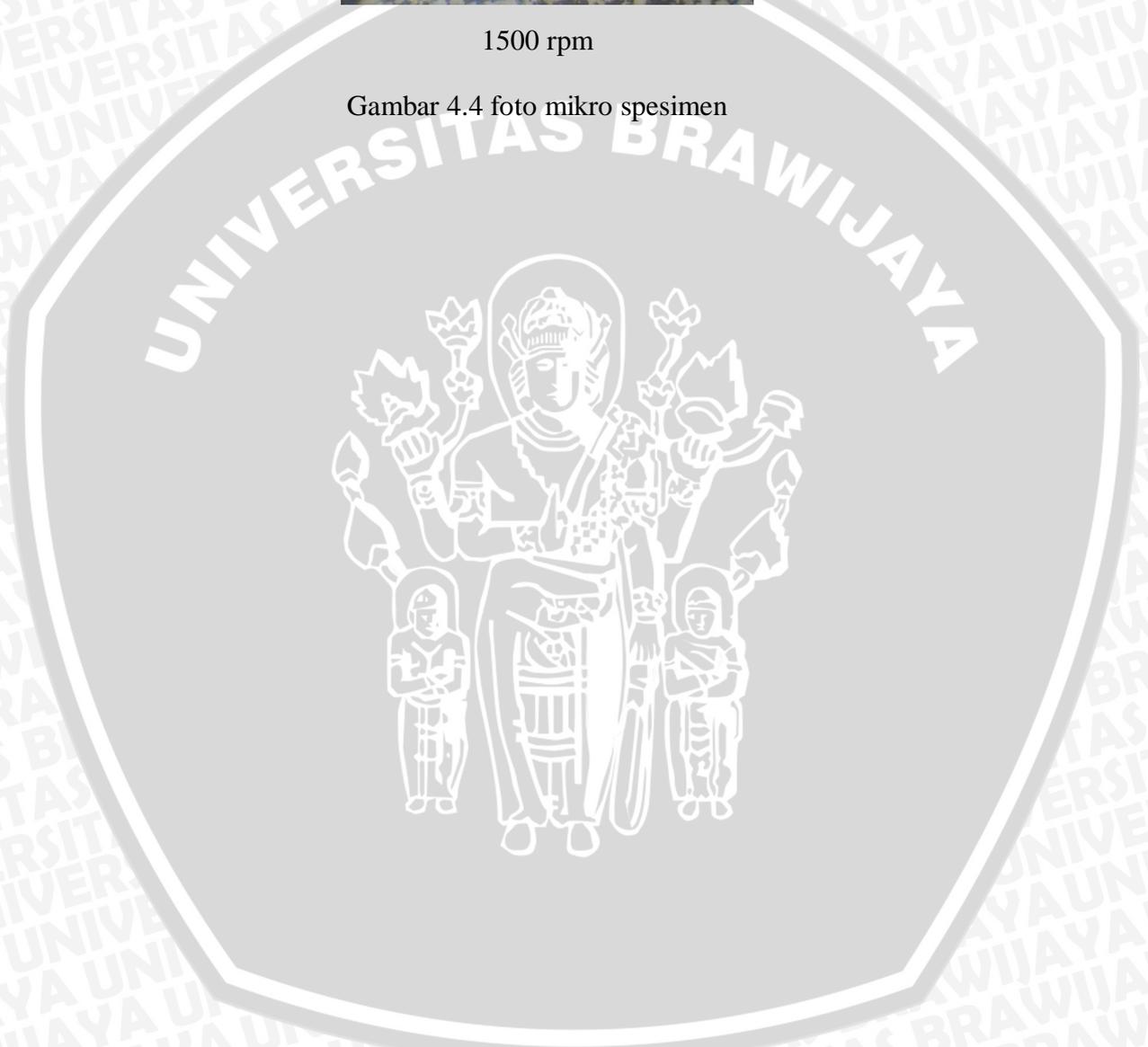
1100 rpm

1300 rpm



1500 rpm

Gambar 4.4 foto mikro spesimen



BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

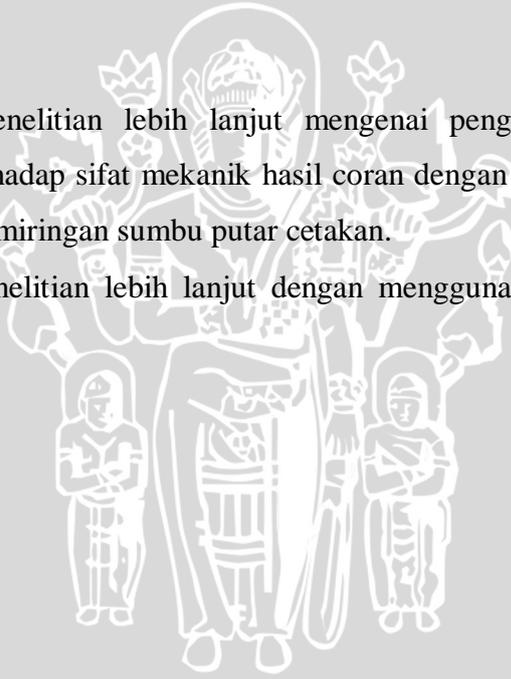
Berdasarkan hasil pengujian dan perhitungan data penelitian diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

Dengan penambahan kecepatan putar pada proses pengecoran sentrifugal diperoleh nilai *density* yang meningkat dari 700 rpm sebesar 2.2135 g/cm³ sampai penambahan kecepatan putar 1500 rpm sebesar 2.9675 g/cm³.

Sedangkan kekuatan *impact* yang terjadi mulai dari kecepatan 700 rpm yaitu 2.381 N.mm/mm² cenderung menurun sampai penambahan kecepatan putar 1500 rpm sebesar 1.713 N.mm/mm².

5.2 Saran

- Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh penambahan kecepatan putar terhadap sifat mekanik hasil coran dengan variasi *preheating* cetakan dan juga kemiringan sumbu putar cetakan.
- Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan menggunakan jenis material yang berbeda.



DAFTAR PUSTAKA

- ASM International. 1996. ASM Handbook Volume 19 “*Fatigue and Fracture*”. United States of America.
- ASTM. 1982. *Standards of The American Society for Testing Materials (ASTM) E23*
- ASTM Standard B 311 – 93. 2002. “*Test Method for Density Determination for Powder Metallurgy (P/M) Materials Containing Less Than Two Percent Porosity*” Philadelphia, PA: American Society for Testing and Materials.
- Beeley, P.R.1972.*Foundry Technology*. London : Butterworths, Publishing Company.
- Davis, et al. 1982. *The Testing of Engineering Materials*. United State of America: McGraw Hill, Inc.
- DeGarmo, E.P.1988. *Materials and Processes in Manufacturing*. United States of America: Macmillan publishing company.
- Dieter, GeorgeE.1986.*Mechanical Metallurgy*. McGraw_Hill, Publishing Company,Inc.
- Djaprie, Sriati, 1985, *Teknologi Mekanik*, Jakarta : Erlangga
- Huang Fu, et al.2003. *Development of Centrifugal Casting High Speed Steel Rolls*. Journal of University of Science and technology Beijing Volume 10,No6, pp 61
- Jain, P.L.1979. *Principles of Foundry Technology*. New Delhi: Tata McGraw_Hill Publishing Company.
- JFE Steel corporation. Japan, Cat.No.B1E-005-01.Desember 2003.
- Kalpakjian,S.1990.*Manufacturing Engineering and Technology*. United States of America: Addison-Wesley Publishing Company.
- MetWeb. Material Property Data.
- Rao, PN. 1990. *Manufacturing Technology Foundry, Forming, and Welding*, Delhi: Departement of Mechanical Engineering Indian 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.
- Surdia, Tata. 1995. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Jakarta: P.T. Pradnya Paramita.

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

The Alumunium Association, Inc. Washington, D.C. 20006. 2006, pp 1-24.

Tjitro, Soejono, et al, *Pengaruh Kecepatan Putar Pada Proses Pengecoran Alumunium Centrifugal*, Jurnal Teknik Mesin Volume 6 No2.,2004, pp1-7.

Tonny Nugroho S. 2000, *Pengaruh Temperatur Penuangan Aluminium Paduan Terhadap cacat Permukaan Pada Proses Pengecoran Sentrifugal Vertikal*. Fakultas Teknik Jurusan Mesin Universitas Brawijaya Malang.

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

Verma, ER. CL, 1976, *Strenght of Materials*, Khanna Publishers, New Delhi.

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

Zemansky, S. 1985. *Fisika Untuk Universitas*. San Fransisco : Addison Wesley.



Lampiran 1. Foto-foto alat penelitian.



Dapur Induksi



Alat Uji Densitas



Mesin uji impact



Digital Tachometer



Mistar Sorong



Gergaji Tangan



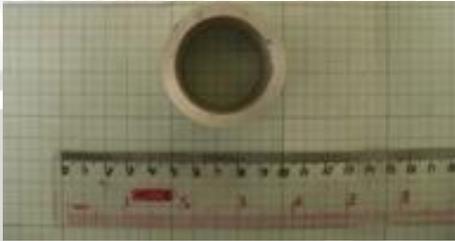
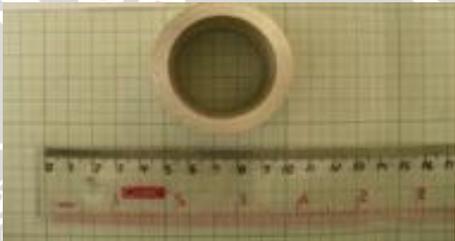
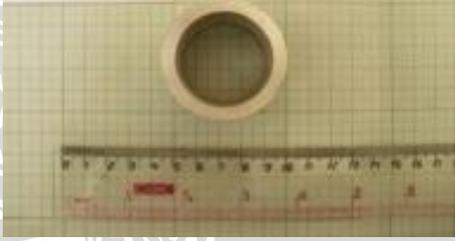
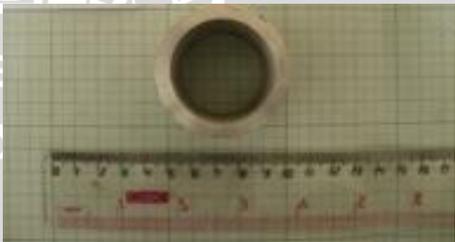
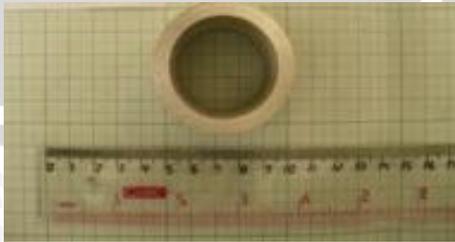
Mesin Penggosok Spesimen



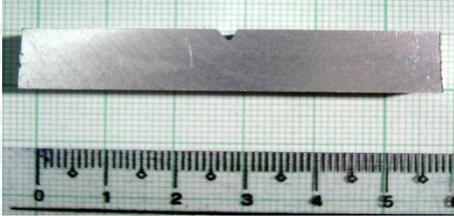
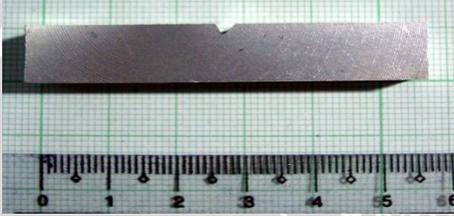
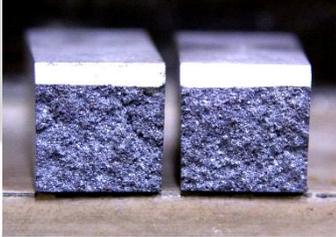
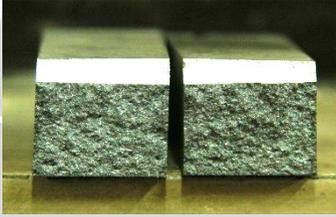
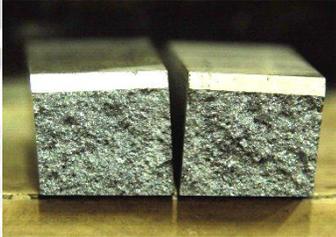
Lampiran 2. Foto benda kerja

rpm	Foto Hasil Pengecoran Secara Melintang	Penampang Sesudah Dipotong
700		
900		
1100		
1300		
1500		

Lampiran 3. Foto spesimen *Density*

rpm	Foto Spesimen Pengujian <i>Density</i>	Foto Hasil Pengujian <i>Density</i>
700		
900		
1100		
1300		
1500		

Lampiran 4. Foto spesimen Kekuatan Impact

rpm	Foto Spesimen Pengujian Kekuatan Impact	Foto Hasil Kekuatan Impact
700	 A rectangular metal specimen with a notch, placed on a green grid with a ruler below it. The ruler shows a length of approximately 5.5 cm.	 Two pieces of the specimen after impact, showing a clean fracture surface.
900	 A rectangular metal specimen with a notch, placed on a green grid with a ruler below it. The ruler shows a length of approximately 5.5 cm.	 Two pieces of the specimen after impact, showing a clean fracture surface.
1100	 A rectangular metal specimen with a notch, placed on a green grid with a ruler below it. The ruler shows a length of approximately 5.5 cm.	 Two pieces of the specimen after impact, showing a clean fracture surface.
1300	 A rectangular metal specimen with a notch, placed on a green grid with a ruler below it. The ruler shows a length of approximately 5.5 cm.	 Two pieces of the specimen after impact, showing a clean fracture surface.
1500	 A rectangular metal specimen with a notch, placed on a green grid with a ruler below it. The ruler shows a length of approximately 5.5 cm.	 Two pieces of the specimen after impact, showing a clean fracture surface.

Lampiran 5 Hasil foto makro



Spesimen 700 rpm



Spesimen 900 rpm



Spesimen 1100 rpm



Spesimen 1300 rpm



Spesimen 1500 rpm

Lampiran 6 Uji komposisi



PHYSICS LABORATORY
STATE UNIVERSITY OF MALANG

REPORT OF ANALYSIS																									
Principal	: HERDIAN ADI KURNIAWAN																								
Pemberi Order	FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS BRAWIJAYA																								
Subject	: SERBUK LOGAM																								
Hal																									
Tested for	: X-Ray Fluorescence (XRF) MINIPAL 4																								
Analisa/Uji																									
Description of Sample	: POWDER																								
Keterangan Contoh	1 (one) sample received on : 7,JUL, 2009																								
Sample Mark	: -																								
Tanda Contoh																									
Your Reference	: -																								
Referensi																									
Order Number	: LFUM.00035.2009																								
Nomor Order																									
Weight of sample	:																								
Berat contoh																									
Size	: -																								
Ukuran																									
SAMPLE RESULTS																									
Application	: <Standardless>																								
Measurement Time	: 4,FEB,2008, 10:43:16																								
Compound Concentration Unit	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Al</th> <th>Si</th> <th>P</th> <th>Ca</th> <th>Ti</th> <th>Cr</th> <th>Mn</th> <th>Fe</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>86.8</td> <td>0.3</td> <td>0.27</td> <td>0.13</td> <td>0.02</td> <td>0.18</td> <td>0.089</td> <td>0.402</td> </tr> <tr> <td>%</td> <td>%</td> <td>%</td> <td>%</td> <td>%</td> <td>%</td> <td>%</td> <td>%</td> </tr> </tbody> </table>	Al	Si	P	Ca	Ti	Cr	Mn	Fe	86.8	0.3	0.27	0.13	0.02	0.18	0.089	0.402	%	%	%	%	%	%	%	%
Al	Si	P	Ca	Ti	Cr	Mn	Fe																		
86.8	0.3	0.27	0.13	0.02	0.18	0.089	0.402																		
%	%	%	%	%	%	%	%																		
Compound Concentration Unit	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Ni</th> <th>Cu</th> <th>Zn</th> <th>Mg</th> <th>Ba</th> <th>Eu</th> <th>Yb</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.089</td> <td>1.6</td> <td>7.89</td> <td>2.67</td> <td>0.01</td> <td>0.02</td> <td>0.06</td> </tr> <tr> <td>%</td> <td>%</td> <td>%</td> <td>%</td> <td>%</td> <td>%</td> <td>%</td> </tr> </tbody> </table>	Ni	Cu	Zn	Mg	Ba	Eu	Yb	0.089	1.6	7.89	2.67	0.01	0.02	0.06	%	%	%	%	%	%	%			
Ni	Cu	Zn	Mg	Ba	Eu	Yb																			
0.089	1.6	7.89	2.67	0.01	0.02	0.06																			
%	%	%	%	%	%	%																			

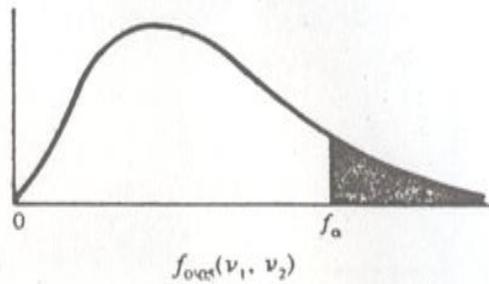
Malang, 7-Jul-2009
 PHYSICS LABORATORY
 STATE UNIVERSITY OF MALANG

 DRS. ABDULLOH FUAD, M.Si
 NIP. 1931 808 404



Lampiran 7 Tabel distribusi $F (\alpha; \nu_1; \nu_2)$ untuk $\alpha = 5\%$

TABEL A.7
Nilai Kritis Sebaran F

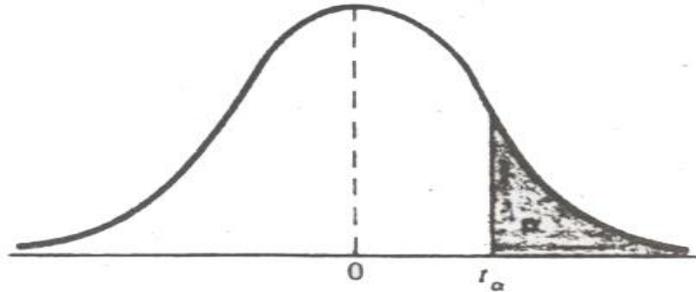


ν_2	ν_1								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	161.4	199.5	215.7	224.6	230.2	234.0	236.8	238.9	240.5
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28
26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27
27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24
29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12
60	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04
120	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.17	2.09	2.02	1.96
∞	3.84	3.00	2.60	2.37	2.21	2.10	2.01	1.94	1.88

Sumber : Walpole, 1995

Lampiran 8 Tabel distribusi t

TABEL A.5*
 Nilai Kritis Sebaran t



ν	α				
	0.10	0.05	0.025	0.01	0.005
1	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657
2	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925
3	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841
4	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604
5	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032
6	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707
7	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499
8	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355
9	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250
10	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169
11	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106
12	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055
13	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012
14	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977
15	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947
16	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921
17	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898
18	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878
19	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861
20	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845
21	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831
22	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819
23	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807
24	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797
25	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787
26	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779
27	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771
28	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763
29	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756
inf.	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576

Sumber : Walpole, 1995