

Analisis Hasil Pengecoran Sentrifugal dengan Variasi Kecepatan Putaran (Rpm) Material Aluminium 6061 Menggunakan Mesin Prototipe Pengecoran Sentrifugal Horizontal terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro

Duke Mulya Wibisono¹, Agus Suprpto^{2*}, Jumiadi³, Dewi Izzatus Tsamroh⁴

^{1,2,3,4}Jurusan Teknik Mesin Universitas Merdeka Malang
Jalan Taman Agung 1 Malang, Jawa Timur, Indonesia

¹dukemulyawibisono@gmail.com

^{2*}agus.suprpto@unmer.ac.id (penulis korespondensi)

³jumiadi@unmer.ac.id

⁴izza@unmer.ac.id

Abstrak— Pengecoran logam merupakan proses pembuatan komponen dengan cara mencairkan logam kemudian dituang ke dalam cetakan (Mold) yang selanjutnya dibiarkan membeku (plastis). Penelitian tugas akhir ini menggunakan metode pengecoran sentrifugal dimana pengecoran sentrifugal merupakan proses pengecoran dengan cara cetakan diputar sehingga gaya sentrifugal mendistribusikan logam cair ke tepi rongga cetakan dan pengecoran sentrifugal sendiri tidak menggunakan core atau inti. Bahan yang digunakan pada penelitian pengecoran sentrifugal ini digunakan material aluminium 6061. Proses pengecoran sentrifugal dilakukan dengan variasi putaran pada cetakan mulai dari 400 rpm, 800 rpm, 1200 rpm dengan suhu peleburan logam 800 °C. Setelah dilakukan proses pengecoran sentrifugal, spesimen dilakukan pengujian kekerasan dan pengujian struktur mikro. Hasil yang didapatkan pada pengujian kekerasan didapatkan kenaikan harga tingkat kekerasan dimana pada putaran cetakan 400 rpm (93,8 HRH), 800 rpm (95,6 HRH) dan 1200 rpm (96,5 HRH). Setelah didapatkan hasil pengujian kekerasan spesimen pengecoran dilakukan pengujian terhadap struktur mikro dengan menggunakan metode planimetri (Jefferies). Pada pengujian struktur mikro didapatkan jumlah butir mikro dan dilakukan perhitungan dengan menggunakan metode planimetri sehingga didapatkan hasil ukuran butir rata – rata struktur mikro sesuai tabel ASTM E-112. Spesimen pengecoran didapatkan hasil ukuran rata – rata butir sebesar 400 rpm (90 µm), 800 rpm (65 µm) dan 1200 rpm (45 µm). Ukuran diameter rata – rata butir yang didapatkan dari hasil perhitungan ukuran butir didapatkan hasil ukuran butir yang semakin mengecil pada setiap kenaikan putaran pada spesimen.

Kata kunci— Pengecoran Sentrifugal, Aluminium, Kekerasan, Struktur Mikro

Abstract— Metal casting is the process of making components by melting the metal and then poured into the mold which is then left to freeze (plastic). This final task research uses centrifugal casting method where centrifugal casting is a casting process by way of mold rotated so that centrifugal force distributes molten metal to the edge of the mold cavity and centrifugal casting itself does not use cores. The material used in this centrifugal casting study used aluminum material 6061. The centrifugal casting process is performed with rotation variations in the mold ranging from 400 rpm, 800 rpm, 1200 rpm with a metal smelting temperature of 800 °C. After the centrifugal casting process, specimens are conducted hardness testing and microstructure testing. The results obtained in the hardness test were obtained by increasing the hardness level price at 400 rpm (93.8 HRH), 800 rpm (95.6 HRH) and 1200 rpm (96.5 HRH). After obtaining the results of hardness testing of casting specimens conducted testing of microstructures using planimetric method (Jefferies). In microstructure testing obtained the number of micro grains and calculated using planimetric method so that the results of the size of the average grains - average microstructure according to the table ASTM E-112. Casting specimens were obtained from average grain sizes of 400 rpm (90 µm), 800 rpm (65 µm) and 1200 rpm (45 µm). The average diameter size of the grain obtained from the calculation of grain size is obtained by the result of the size of the grain that is getting smaller at each turn increase in the specimen.

Keywords— Centrifugal Casting, Aluminum, Hardness, MicroStructure

I. PENDAHULUAN

Proses pengecoran merupakan proses penuangan logam yang dicairkan ke dalam cetakan kemudian dibiarkan dingin dan membeku. Proses pengecoran logam banyak dilakukan karena proses ini mempunyai

beberapa keunggulan diantaranya adalah mampu menghasilkan produk dengan bentuk yang rumit dengan proses yang relatif ekonomis [1].

Pengecoran sentrifugal merupakan salah satu proses pengecoran logam cair dimana pengecoran sentrifugal adalah proses pengecoran dengan cara cetakan diputar sehingga gaya sentrifugal mendistribusikan logam cair ke tepi rongga cetakan. Pada proses pengecoran sentrifugal ini sendiri tidak menggunakan core atau inti. Teknik pengecoran ini biasanya digunakan untuk membuat produk silinder atau pipa silindris. Pengecoran sentrifugal memiliki keunggulan diantaranya struktur coran lebih padat, porositas rendah, dan produktivitas tinggi untuk menghasilkan benda berbentuk silinder. Pengecoran sentrifugal juga memiliki kekurangan seperti distribusi ketebalan yang kurang merata, struktur yang tidak homogen akibat pembekuan yang tidak merata, timbulnya crack pada coran logam keras akibat putaran yang terlalu tinggi, dan struktur yang kurang padat akibat laju putaran yang terlalu rendah. Kekurangan ini dapat diminimalkan dengan cara mengatur laju putaran cetakan, sudut kemiringan, temperatur, dan sebagainya [2, 3].

Pada penelitian ini proses pengecoran sentrifugal menggunakan bahan aluminium sebagai material spesimen. Aluminium sering digunakan sebagai bahan untuk membuat komponen mesin, benda seni, dan alat-alat rumah tangga sampai produk yang mempunyai bentuk yang rumit dan sulit untuk dibentuk melalui proses permesinan, sehingga harus dibentuk melalui proses pengecoran. Jenis aluminium yang digunakan adalah aluminium 6061, yaitu merupakan paduan aluminium dari grup 6XXX. Pengecoran sentrifugal pada penelitian ini dilakukan dengan variasi kecepatan putaran mulai dari 400 rpm, 800 rpm, 1200 rpm, dengan suhu penuangan pada logam cair sebesar 800°C. Proses pengecoran sentrifugal ini menggunakan mesin pengecoran sentrifugal milik Teknik Mesin Universitas Merdeka Malang.

II. METODE

A. Parameter Terikat

Pada proses pengecoran ini dilakukan dengan menggunakan metode pengecoran sentrifugal. Proses pengecoran dengan menggunakan metode ini cetakan yang digunakan adalah jenis cetakan permanen. Mesin yang digunakan dalam proses pengecoran ini merupakan mesin prototipe untuk pengecoran sentrifugal horizontal. Setelah dilakukan proses pengecoran sentrifugal hasil atau produk cor akan dilakukan pengujian kekerasan dan pengujian struktur mikro untuk mengetahui sifat mekanik pada spesimen hasil pengecoran.

B. Parameter Bebas

Pengecoran sentrifugal ini menggunakan bahan dengan jenis logam aluminium. Aluminium yang digunakan merupakan jenis aluminium paduan dengan seri 6061. Pada proses pengecoran sentrifugal ini dilakukan variasi putaran pada cetakan. Variasi putaran yang digunakan adalah mulai dari 400 rpm, 800 rpm, 1200 rpm.

C. Persiapan dan Pengecekan Mesin

Sebelum melakukan proses pengecoran, dilakukan beberapa persiapan dan pengecekan komponen pada mesin pengecoran sentrifugal diantaranya sebagai berikut:

1. Memeriksa kondisi komponen mesin pengecoran sentrifugal diantaranya motor listrik, sabuk, puli, dan cetakan pada mesin.
2. Menempatkan posisi mesin di keadaan yang aman dan ditempatkan pada permukaan lantai yang rata sehingga pada saat melakukan proses penuangan logam cair akan mengurangi resiko kecelakaan kerja.
3. Melakukan proses pemanasan atau *pre-heating* pada saluran masuk atau *pouring* dan cetakan. Proses ini bertujuan agar menghindari perbedaan temperatur yang besar pada saat proses penuangan logam cair dari *pouring* ke cetakan.



Gambar 1. Mesin Prototipe Pengecoran Sentrifugal

D. Persiapan Material

Material yang digunakan untuk penelitian tugas akhir ini adalah aluminium 6061 yang memiliki ketahanan korosi yang tinggi dan sifat mampu cor yang baik. Pemilihan penggunaan material aluminium 6061 ini karena material ini banyak digunakan dalam bidang otomotif dan komponen mesin sehingga bahan mudah didapat dipasaran tetapi memiliki harga yang cukup tinggi.

E. Persiapan Cetakan Logam

Cetakan pada mesin pengecoran sentrifugal yang akan digunakan merupakan jenis cetakan permanen. Cetakan ini merupakan cetakan logam dengan material ST-37. Cetakan yang digunakan pada proses pengecoran sentrifugal ini memiliki ukuran diameter luar 90 mm, diameter dalam 78 mm, dan panjang 100 mm. Pada bagian dalam cetakan ini juga memiliki pengatur atau *adjuster* yang berfungsi sebagai pengatur panjang atau volume produk cor sesuai dengan perencanaan spesimen pengecoran.

F. Tahapan Proses Pengecoran Sentrifugal

1. Proses peleburan logam
2. Pengaturan kecepatan putaran motor
3. *Pre-heating* cetakan dan saluran masuk (*pouring*)
4. Penuangan logam cair
5. Proses pendinginan benda cor
6. Proses pembongkaran hasil pengecoran

G. Pengujian Kekerasan

Untuk pengujian kekerasan yang dilakukan pada penelitian ini dengan menggunakan metode indentasi (*indentation*) yaitu pengujian kekerasan dengan metode *Rockwell*. Sebelum melakukan pengujian kekerasan dengan metode *Rockwell* ini dilakukan persiapan pada material yang akan diuji. Persiapan pada material yang akan diuji kekerasan dengan menggunakan metode indentasi (*Rockwell*) yaitu, pemotongan spesimen dengan ukuran yang kecil sesuai dengan ukuran penampang penahan identor, setelah dilakukan pemotongan spesimen yang akan diuji dilakukan proses pengamplasan sehingga menghasilkan permukaan spesimen yang rata. Setelah permukaan pada spesimen telah rata selanjutnya akan diuji menggunakan alat pengujian kekerasan yaitu *Hardnes Testing Machine*. Pada pengujian kekerasan spesimen cor yang akan diuji menggunakan skala HRH, tipe identor 1/8" Ball dengan major load 60 kg



Gambar 2. Alat Uji Kekerasan (*Hardness Testing Machine*)

H. Pengujian Struktur Mikro

Setelah dilakukan proses pengecoran dan menghasilkan produk cor, produk cor dilakukan pengujian struktur mikro. Pengujian struktur mikro ini menggunakan mikroskop optik atau mikroskop cahaya.

Untuk perhitungan besar butir pada penelitian ini dengan menggunakan metode planimetri (*Jefferies*) digunakan perbesaran 200x pada mikroskop yang akan digunakan. Sehingga didapat nilai pemilihan perbesaran yang akan digunakan untuk perhitungan nilai G sesuai tabel penggali *Jefferies* (f) yaitu untuk perbesaran 200x didapat nilai $f = 8,0$.

Setelah didapatkan hasil dari perhitungan besar butir struktur mikro pada spesimen dengan Metode Planimetri (*Jefferies*) diperoleh nilai G, hasil nilai G yang diperoleh melalui analisa dengan menggunakan metode planimetri akan disesuaikan dengan tabel pengukuran besar butir struktur mikro sesuai dengan tabel 2.2 diatas (ASTM E-112).

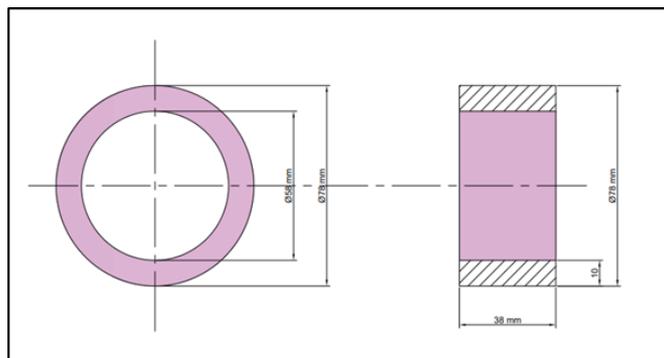
I. Tempat dan waktu pelaksanaan penelitian

Analisa hasil pengecoran sentrifugal dengan variasi kecepatan putaran (rpm) material aluminium 6061 menggunakan mesin prototipe pengecoran senterifugal horizontal ini dilaksanakan di Laboratorium Uji Logam dan Laboratorium Produksi, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Merdeka Malang dan dilaksanakan mulai dari tanggal **1 Mei 2021** sampai dengan **3 Agustus 2021**.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Perhitungan Perencanaan Spesimen Benda Cor

a. Spesifikasi Spesimen cor



Gambar 3 Spesifikasi Benda Cor

- d_1 (Diameter Luar) : 78 mm, $R = 39 \text{ mm} = 3,9 \text{ cm}$
- d_2 (Diameter Dalam) : 58 mm, $r = 29 \text{ mm} = 2,9 \text{ cm}$

- L (Panjang) : 38 mm = 3,8 cm
- t (Tebal) : 10 mm = 1 cm
- ρ_{Al} (Berat Jenis) : 2,7 gr/cm³

b. Perhitungan Volume Perencanaan Spesimen Cor

$$\begin{aligned}
 V &= (\pi \times R^2 \times l) - (\pi \times r^2 \times l) \\
 &= (3,14 \times 3,9^2 \times 3,8) - (3,14 \times 2,9^2 \times 3,8) \\
 &= 181,48 - 100,34 \\
 &= 81,14 \text{ cm}^3
 \end{aligned}$$

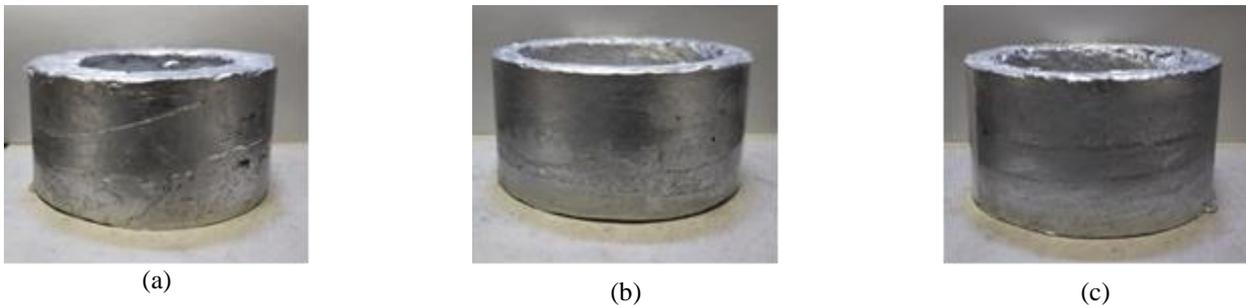
c. Perhitungan Berat Bahan Perencanaan Cor

$$\begin{aligned}
 M &= (\pi \times R^2 \times l \times \rho) - (\pi \times r^2 \times l \times \rho) \\
 &= (3,14 \times 3,9^2 \times 3,8 \times 2,7) - (3,14 \times 2,9^2 \times 3,8 \times 2,7) \\
 &= 490 - 270 \\
 &= 220 \text{ gr}
 \end{aligned}$$

d. Densitas Perencanaan Spesimen Cor

$$\begin{aligned}
 D &= \frac{M}{V} \\
 &= \frac{220}{81,14} \\
 &= 2,71 \text{ gr/cm}^3
 \end{aligned}$$

B. Gambar Hasil Spesimen Cor Pengecoran Sentrifugal



Gambar 4. Spesimen Cor (a) Kecepatan Putar 400 rpm; (b) Kecepatan Putar 800 rpm; (c) Kecepatan Putar 1200 rpm

C. Perhitungan dan Rekapitulasi Volume Densitas dan Gaya Sentrifugal Spesimen Cor

a. Spesimen Pengecoran Sentrifugal Putaran Cetakan 400 rpm

1. Spesifikasi Spesimen Cor Putaran Cetakan 400 rpm

- d1 (Diameter Luar) : 78 mm, R = 39 mm = 3,9 cm
- d2 (Diameter Dalam) : 60 mm, r = 30 mm = 3 cm
- L (Panjang) : 38 mm = 3,8 cm
- Tebal : 9 mm
- Suhu peleburan logam : 800°C
- Suhu Pre-heating Cetakan : 300°C
- Bahan yang digunakan : 220 gr
- Berat spesimen : 215 gr

2. Volume Spesimen Cor Putaran Cetakan 400 rpm

$$\begin{aligned} V &= (\pi \times R^2 \times l) - (\pi \times r^2 \times l) \\ &= (3,14 \times 3,9^2 \times 3,8) - (3,14 \times 3^2 \times 3,8) \\ &= 181,48 - 107,38 \\ &= 74,1 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

3. Densitas Spesimen Cor Putaran Cetakan 400 rpm

$$\begin{aligned} D &= \frac{M}{V} \\ &= \frac{215}{74,1} \\ &= 2,9 \text{ gr/cm}^3 \end{aligned}$$

4. Gaya sentrifugal yang terjadi pada putaran cetakan 400 rpm

- Massa bahan pengecoran (M) : 220 gr = 0,22 kg
- Kecepatan Cetakan (V) : 400 rpm = 16,32 m/s
- Jari – jari cetakan (r) : 4,5 cm = 0,35 m

$$\begin{aligned} F &= \frac{M \times V^2}{r} \\ &= \frac{220 \times 16,32^2}{0,35} \\ &= 1,7 \times 10^5 \text{ N} \end{aligned}$$

D. Rekapitulasi Volume Densitas dan Gaya Sentrifugal Spesimen Cor

TABEL I
REKAPITULASI HASIL PERHITUNGAN VOLUME DENSITAS DAN GAYA SENTRIFUGAL

No	Putaran Cetakan (rpm)	Massa (Gram)	Volume (cm ³)	Densitas (gr/cm ³)	Gaya Sentrifugal (N)
1	Tanpa Putaran	220	81,14	2,71	-
2	400	215	74,1	2,9	1,7 x 10 ⁵
3	800	211	70,8	3	6,9 x 10 ⁵
4	1200	198	63,1	3,13	10,6 x 10 ⁵

E. Hasil dan Rekapitulasi Pengujian Kekerasan (Rockwell) Spesimen Cor

a. Spesimen Pengecoran Sentrifugal Putaran Cetakan 400 rpm

1. Data Pengujian

- Spesimen : Pengecoran Sentrifugal 400 rpm
- Standard Uji : ASTM E18
- Jenis Mesin : *Rockwell Hardnes Tester*
- Indentor : 1/8” Ball (Bola baja)
- Indeks Rockwell : H
- Beban Mayor : 60 kg

TABEL II
HASIL UJI KEKERASAN SPESIMEN COR 400 RPM (ROCKWELL)

Spesimen Uji (400 rpm)	Beban Mayor (Kg)	Identor	Titik	Harga Kekerasan (HRH)
	60	1/8" Ball	1	92
			2	92,5
			3	95
			4	91,5
			5	98
Rata-rata				93,8

b. Rekapitulasi Pengujian Kekerasan (*Rockwell*) Spesimen Cor

TABEL III
REKAPITULASI PENGUJIAN KEKERASAN (ROCKWELL) SPESIMEN COR

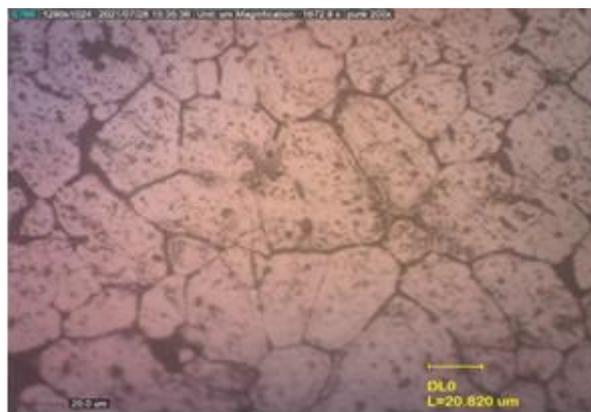
No	Putaran Cetakan (rpm)	Titik Indentasi (Rockwell)					Rata – rata Kekerasan Spesimen (HRH)
		1	2	3	4	5	
1	400	92	92,5	95	91,5	98	93,8
2	800	95	94	92,5	98	98,5	95,6
3	1200	95,5	96	94	98	99	96,5

F. Hasil dan Rekapitulasi Pengujian Struktur Mikro

a. Spesimen Pengecoran Sentrifugal Putaran Cetakan 400 rpm

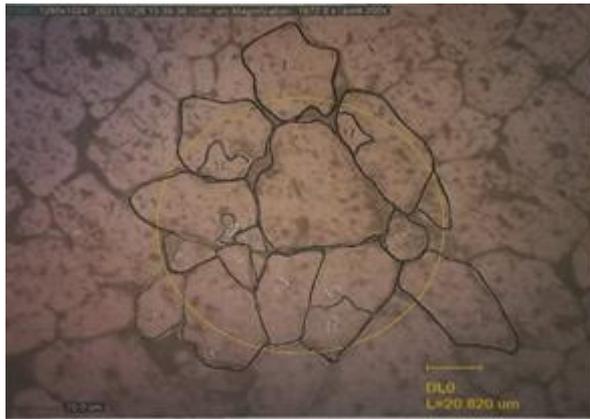
1. Data Pengujian

- Spesimen : Pengecoran Sentrifugal 400 rpm
- Jenis Alat : Mikroskop Optik (Nikon)
- Perbesaran lensa : 200 x
- Metode Uji : Planimetri (*Jefferies*)



Gambar 5. Struktur Mikro Spesimen Kecepatan Putaran 400 rpm

2. Perhitungan Ukuran Butir Menggunakan Metode Planimetri (*Jefferies*)



Gambar 6. Analisa Struktur Mikro Spesimen Kecepatan Putaran 400 rpm Metode Planimetri (*Jefferies*).

Setelah dianalisis butir struktur mikro spesimen cor putaran 400 rpm diperoleh $n_1 = 11$ (jumlah butir dalam lingkaran) dan $n_2 = 9$ (jumlah butir yang bersinggungan dengan garis lingkaran). Pembesaran Spesimen Uji $N = (200\times)$, sehingga didapat $f = (8)$ sesuai dengan tabel (penggali *Jefferies*).

$$- Na = f \left[n_1 + \frac{n_2}{2} \right]$$

$$Na = 8 \left[11 + \frac{9}{2} \right]$$

$$Na = 124$$

$$- G = [3,32 \log(Na) - 2,95]$$

$$G = [3,32 \log(124) - 2,95]$$

$$G = 3,99$$

Perhitungan besar butir struktur mikro dengan Metode Planimetri (*Jefferies*) diatas setelah disesuaikan dengan tabel ASTM E – 112 diperoleh nilai $G = 4,0$ untuk spesimen cor dengan kecepatan putaran cetakan 400 rpm. Sehingga diperoleh hasil dari penyesuaian yang diperoleh dari tabel ASTM E – 112 sesuai dengan hasil nilai $G = 4,0$:

TABEL IV
PENYESUAIAN TABEL ASTM-E-112 NILAI G SPESIMEN COR 400 RPM

ASTM micro- grain size number	"Diameter" of average grain section		Average intercept distance L_n , mm	Intercept count per mm. N_n	Area of av- erage grain section, A_n mm^2	Calculated no. of grain per mm^2 , N_n	Average	
	Nominal d_n , mm	Ferr's d_p mm					Grains per mm^2 at (N_n) , N_n	Grains per mm^2 at 100X, N_n
4.0	90	101	80.0	12.5	8.07	118	124	1.00

b. Rekapitulasi Pengujian Pengujian Struktur Mikro dengan Metode Planimetri (*Jefferies*).

TABEL V
REKAPITULASI HASIL PENGUJIAN STRUKTUR MIKRO METODE PLANIMETRI (JEFFERIES)

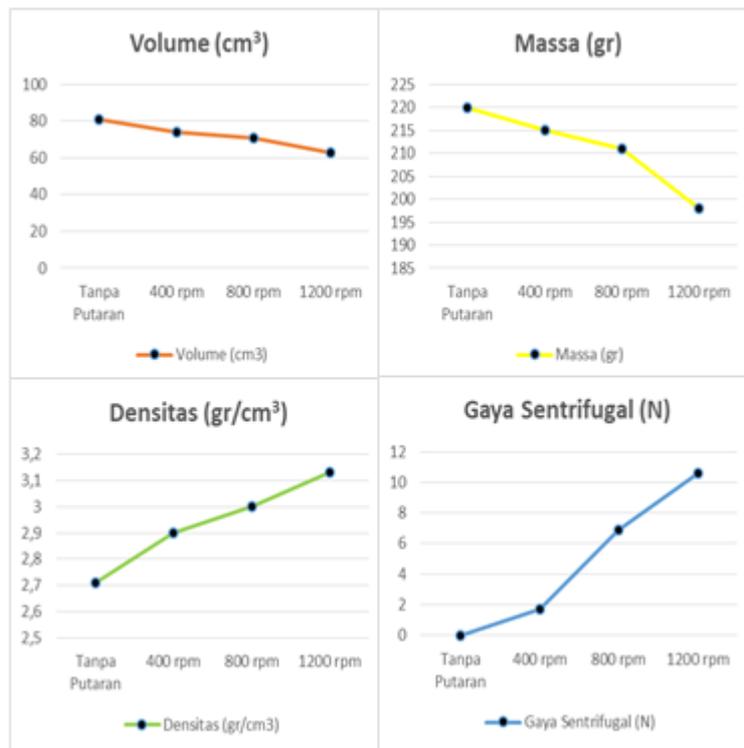
No	Spesimen Uji (rpm)	Nilai G	Diameter butir rata - rata (dn) ASTM E – 112 (μm)
1	400	4,0	90
2	800	5,0	65
3	1200	6,0	45

c. Analisa Hasil Perhitungan Volume Densitas dan Gaya Sentrifugal Spesimen Cor Sentrifugal

Setelah dilakukan proses pengecoran, spesimen pengecoran dilakukan perhitungan volume, densitas dan gaya sentrifugal. Berikut adalah data hasil perhitungan :

TABEL VI
HASIL REKAPITULASI VOLUME DENSITAS DAN GAYA SENTRIFUGAL

No	Putaran Cetakan (rpm)	Massa (Gram)	Volume (cm ³)	Densitas (gr/cm ³)	Gaya Sentrifugal (N)
1	Tanpa Putaran	220	81,14	2,71	-
2	400	215	74,1	2,9	1,7 x 10 ⁵
3	800	211	70,8	3	6,9 x 10 ⁵
4	1200	198	63,1	3,13	10,6 x 10 ⁵



Gambar 7. Grafik Analisis Hasil Perhitungan Volume Densitas dan Gaya Sentrifugal Spesimen Cor Sentrifugal

Berdasarkan gambar grafik analisis hasil perhitungan volume densitas dan gaya sentrifugal spesimen pengecoran sentrifugal dapat dilihat bahwa semakin cepat putaran cetakan, massa (gr) dan volume (cm³) spesimen pengecoran mengalami penurunan. Sedangkan jika dilihat pada grafik densitas (gr/cm³) dan gaya sentrifugal (N) semakin kencang putaran cetakan maka densitas dan gaya sentrifugal mengalami kenaikan.

Hal ini terjadi karena semakin kencang putaran yang terjadi maka semakin besar gaya sentrifugal yang diberikan oleh putaran cetakan. Dengan adanya gaya sentrifugal yang semakin besar pada variasi kecepatan putaran cetakan, maka massa dan volume material atau bahan spesimen pengecoran mengalami gaya sentrifugal yang besar ketika dilakukan proses pengecoran, sehingga massa dan volume spesimen cor

mengalami penurunan dari massa dan volume awal perencanaan benda cor karena efek dari gaya sentrifugal yang semakin besar pada kecepatan putaran cetakan (*Mold*).

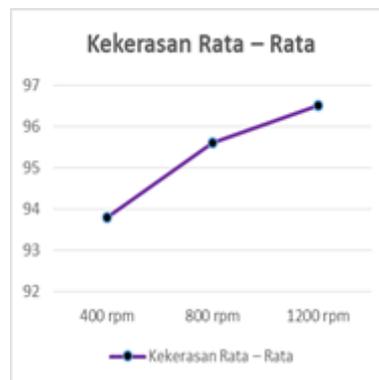
Bahan atau material spesimen pada saat proses pengecoran sentrifugal terkena dampak dari gaya sentrifugal yang diberikan oleh putaran cetakan akan mengalami penurunan massa dan volume, sedangkan spesimen cor mengalami kenaikan densitas. Hal ini terjadi karena jika putaran cetakan dinaikan logam cair yang ikut berputar dalam cetakan (*Mold*) terkena dampak dari gaya sentrifugal yang semakin besar, jika massa dan volume mengalami penurunan maka densitas spesimen cor akan mengalami kenaikan karena perubahan massa dan volume pada spesimen.

d. Analisis Hasil Pengujian Kekerasan (Rockwell) Spesimen Cor Sentrifugal

Spesimen pengecoran sentrifugal yang telah dilakukan pengujian kekerasan dengan menggunakan metode (*Rockwell*) didapatkan hasil pada tabel berikut ini :

TABEL VII
HASIL PENGUJIAN KEKERASAN (ROCKWELL) SPESIMEN COR

No	Putaran Cetakan (rpm)	Harga Kekerasan Rata-rata (HRH)
1	400	93,8
2	800	95,6
3	1200	96,5



Gambar 8. Analisa Hasil Perhitungan Volume Densitas dan Gaya Sentrifugal Spesimen Cor Sentrifugal

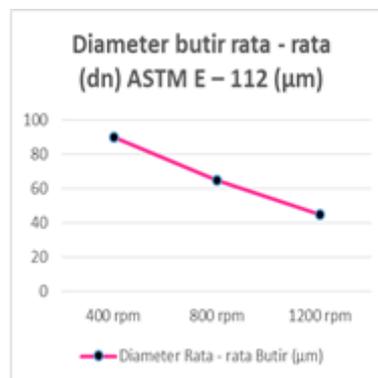
Berdasarkan gambar di atas, grafik hasil pengujian kekerasan (*Rockwell*) spesimen cor sentrifugal dapat dilihat bahwa hasil dari pengujian kelima titik masing – masing spesimen cor didapatkan hasil tingkat kekerasan rata – rata yang semakin meningkat. Dengan meningkatnya harga kekerasan spesimen cor mulai dari 400 rpm, 800 rpm dan 1200 rpm, hal ini dapat dilihat pada hasil perhitungan densitas spesimen dimana semakin besar gaya sentrifugal yang terjadi maka densitas pada spesimen pengecoran akan meningkat. Meningkatnya densitas karena gaya sentrifugal pada proses pengecoran sentrifugal menyebabkan sifat fisik pada spesimen cor menjadi semakin padat dan menghasilkan kenaikan tingkat kekerasan pada spesimen pengecoran sentrifugal.

e. Analisis Hasil Pengujian Struktur Mikro dengan Menggunakan Metode Planimetri (*Jefferies*)

Setelah dilakukan proses pengamatan dan perhitungan ukuran diameter rata – rata butir struktur mikro dengan menggunakan metode planimetri didapatkan hasil pada tabel berikut:

TABEL VIII
HASIL PENGUJIAN STRUKTUR MIKRO DENGAN METODE PLANIMETRI (*JEFFERIES*)

No	Spesimen Uji (rpm)	Nilai G	Diameter butir rata - rata (dn) ASTM E – 112 (μm)
1	400	4,0	90
2	800	5,0	65
3	1200	6,0	45



Gambar 9. Analisis Hasil Pengujian Struktur Mikro Menggunakan Metode Planimetri (*Jefferies*) Spesimen Cor

Berdasarkan gambar di atas, analisis hasil pengujian struktur mikro menggunakan metode planimetri (*Jefferies*) pada spesimen pengecoran sentrifugal, didapatkan hasil perhitungan nilai G sesuai dengan penggali (*Jefferies*) perbesaran lensa 200x didapatkan hasil nilai G yang semakin besar. Hal ini disebabkan oleh pada saat melakukan analisa jumlah butir dengan menggunakan lingkaran pada metode planimetri (*Jefferies*) didapatkan hasil jumlah butir struktur mikro yang meningkat pada setiap spesimen pengecoran. Setelah didapatkan hasil nilai G sesuai dengan rumus perhitungan penggali (*Jefferies*), hasil nilai G pada masing – masing spesimen cor disesuaikan dengan rujukan tabel ASTM E – 112. Pada tabel ASTM E – 112 didapatkan spesifikasi butir struktur mikro sesuai dengan nilai G yang didapat dari perhitungan.

Pada gambar di atas juga dapat dilihat hasil ukuran diameter rata – rata butir pada masing – masing spesimen sesuai dengan tabel ASTM E -112, dimana ukuran diameter rata – rata butir (dn) pada grafik didapatkan hasil ukuran yang semakin menurun atau mengecil. Hal ini terjadi karena dengan semakin cepatnya putaran pada cetakan maka akan menghasilkan gaya sentrifugal yang semakin besar dan dengan adanya gaya sentrifugal yang semakin besar akan berdampak pada peningkatan kekerasan spesimen, semakin meningkatnya kekerasan karena gaya sentrifugal yang besar sehingga unsur struktur mikro mengalami solidifikasi yang beragam sesuai dengan kecepatan putaran cetakan. Proses solidifikasi yang beragam sesuai dengan kecepatan putaran cetakan dan gaya sentrifugal yang terjadi menyebabkan ukuran butir struktur mikro yang semakin mengecil jika kecepatan putaran pada cetakan ditingkatkan.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan penelitian maka dapat disimpulkan bahwa berdasarkan hasil pengecoran sentrifugal didapatkan dimensi spesimen yang tidak sesuai dengan dimensi awal perencanaan. Hasil perhitungan volume densitas dan daya sentrifugal spesimen pengecoran sentrifugal dapat dilihat bahwa semakin cepat putaran cetakan, massa (gr) dan volume (cm^3) spesimen pengecoran mengalami penurunan. Sedangkan pada grafik densitas (gr/cm^3) dan gaya sentrifugal (N) semakin kencang putaran cetakan maka densitas dan gaya sentrifugal mengalami kenaikan. Densitas spesimen didapatkan hasil pada putaran 400 rpm ($2,9 \text{ gr}/\text{cm}^3$), 800 rpm ($3 \text{ gr}/\text{cm}^3$), dan 1200 rpm ($3,13 \text{ gr}/\text{cm}^3$). Tingkat kekerasan pada spesimen hasil pengecoran mengalami peningkatan mulai dari putaran cetakan 400 rpm (93,8 HRH), 800 rpm (95,6 HRH) dan 1200 rpm (96,5 HRH). Karena semakin tinggi densitas yang didapat pada spesimen cor berpengaruh terhadap tingkat kekerasan spesimen cor yang semakin meningkat. Hasil pengujian struktur mikro menggunakan metode planimetri (*Jefferies*), spesimen pengecoran sentrifugal didapatkan hasil ukuran diameter rata – rata butir sesuai tabel ASTM E-112 pada kecepatan putaran 400 rpm ($90 \mu\text{m}$), 800 rpm ($65 \mu\text{m}$) dan 1200 rpm ($45 \mu\text{m}$). Proses solidifikasi yang beragam sesuai dengan kecepatan putaran cetakan dan gaya sentrifugal yang terjadi menyebabkan kenaikan tingkat kekerasan dan berpengaruh terhadap ukuran butir struktur mikro yang semakin mengecil.

REFERENSI

- [1] Atmadja, S. T. 2006. Analisa Cacat Cor pada Proses Pengecoran Burner Kompor. Jurnal Rotasi 8 (3): 41-46.
- [2] Sugiarto, T. O. dan M. W. W. Jamasri. 2014. Analisis Distribusi Ketebalan dan Kekerasan Hasil Coran Sentrifugal Aluminium Paduan (Al-Si-Mg) Akibat Perubahan Laju Putaran dan Kemiringan Sumbu Cetakan. Journal Of Environmental Engineering & Sustainable Technology 1(1): 13-20.
- [3] Sudjana, H. 2008. Teknik Pengecoran Logam (Jilid II). Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Direktorat Jenderal Pendidikan Dasar dan Menengah, Departemen Pendidikan Nasional.
- [4] Situngkir, H. 2009. Pengaruh Putaran Cetakan terhadap Sifat Mekanik Besi Cor Kelabu pada Pembuatan Silinder Linier Mesin Otomotif dengan Pengecoran Sentrifugal Mendatar. Jurnal Dinamis 2(4): 19-28.
- [5] Sugiarto, T. O. dan M. W. W. Jamasri. 2014. Analisis Distribusi Ketebalan dan Kekerasan Hasil Coran Sentrifugal Aluminium Paduan (Al-Si-Mg) Akibat Perubahan Laju Putaran dan Kemiringan Sumbu Cetakan. Journal Of Environmental Engineering & Sustainable Technology 1(1): 13-20.
- [6] Sugiyono. 2017. Metode Penelitian Pendidikan Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D. Bandung: Penerbit Alfabeta.
- [7] Surdia, T. dan K. Chijiwa. 1986. Teknik Pengecoran Logam. Jakarta: Pradnya Paramita.
- [8] Surdia, T. dan S. Saito. 1999. Pengetahuan Bahan Teknik. Jakarta: Pradnya Paramita.
- [9] Tarkono, S. Harnowo, dan D. Sewandono. 2013. Pengaruh Variasi Abu Sekam dan Bentotit pada Cetakan Pasir terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro Hasil Coran Aluminium AA 1100. Journal Fema 1(3): 1-12.
- [10] Tjitro, S. dan Sugiharto. 2004. Pengaruh Kecepatan Putar pada Proses Pengecoran Aluminium Centrifugal. Jurnal Teknik Mesin 6(1): 1-7.
- [11] Dr. Ir. R. Djoko Andrijono, M.T. (2019) “Materi Cetakan Sentrifugal”. Teknik Mesin Universitas Merdeka Malang