

**PENGARUH VARIASI KANDUNGAN MAGNESIUM (Mg) DALAM
PROSES PEMBUATAN BESI COR NODULAR TERHADAP
KEKERASAN**



**Disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan Program Studi Strata I pada
Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik**

Oleh:

ARDIYAN AJI SETYAWAN
D 200 150 114

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA
2019**

HALAMAN PERSETUJUAN

PENGARUH VARIASI KANDUNGAN MAGNESIUM (Mg) DALAM PROSES PEMBUATAN BESI COR NODULAR TERHADAP KEKERASAN

PUBLIKASI ILMIAH

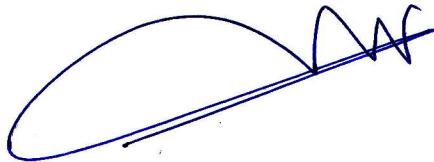
Oleh:

ARDIYAN AJI SETYAWAN
D200150114

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh:

Dosen

Pembimbing

A handwritten signature in blue ink, consisting of a large, sweeping loop followed by several sharp, angular strokes.

Agung Setyo Darmawan, ST., M.T.

HALAMAN PENGESAHAN

**PENGARUH VARIASI KANDUNGAN MAGNESIUM (Mg) DALAM
PROSES PEMBUATAN BESI COR NODULAR TERHADAP
KEKERASAN**

OLEH

ARDIYAN AJI SETYAWAN

D200150114

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji

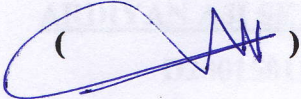
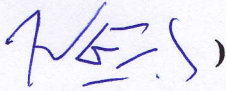
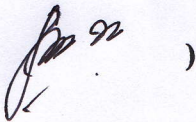
Fakultas Teknik

Universitas Muhammadiyah Surakarta

Pada hari Jumat, 28 Juni 2019

dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Dewan Penguji:

1. Agung Setyo Darmawan, S.T., M.T. ()
(Ketua Dewan Penguji)
2. Nurmuntaha Agung Nugraha, S.T., M.T. ()
(Anggota I Dewan Penguji)
3. Ir. Pramuko Ilmu Purboputro, M.T. ()
(Anggota II Dewan Penguji)

Dekan



Ir. Sri Sunarjono, M.T., Ph.D.

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam publikasi ilmiah ini tidak terdapat yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kelak terbukti ada ketidakbenaran dalam pernyataan saya di atas, maka akan saya pertanggungjawabkan sepenuhnya.

Surakarta, 1 Juli 2019

Penulis



ARDIYAN AJI SETYAWAN

D200150114

PENGARUH VARIASI KANDUNGAN MAGNESIUM (Mg) DALAM PROSES PEMBUATAN BESI COR NODULAR TERHADAP KEKERASAN

Abstrak

Besi cor nodular merupakan besi cor kelabu dengan proses penambahan paduan magnesium (Mg) atau cerium (Ce) sehingga merubah bentuk grafit yang serpih menjadi bulat (nodul). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh kandungan magnesium terhadap struktur mikro dan kekerasan pada besi cor nodular. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan bahan dari besi cor nodular yang dilebur dalam tungku induksi, penelitian ini menggunakan bahan utama FCD sebagai bahan awal. Proses pembentukan besi cor bergrafit bulat dilakukan dengan sistem ladle terbuka, yaitu variasi penambahan FeSiMg seberat 50 gram, 100 gram, 150 gram, dan 200 gram yang diletakkan didasar ladle berkapasitas 15 kg sesaat sebelum besi cair dituangkan ke dalam ladle penuangan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin banyak unsur magnesium (Mg) yang ditambahkan maka butiran grafit yang dihasilkan semakin seragam dan ukurannya cenderung semakin kecil dan terjadi peningkatan area perlit. Sedangkan berdasarkan hasil pengujian kekerasan nilai kekerasan terkecil 210,59 BHN terjadi pada spesimen 1 Raw material FCD dengan komposisi magnesium 0,0296% Mg dan nilai kekerasan terbesar 296,64 BHN terjadi pada spesimen 5 dengan komposisi magnesium sebesar 0,0351 %Mg.

Kata Kunci : besi cor nodular, nodularisasi, magnesium, grafit, kekerasan.

Abstract

Nodular cast iron is a gray cast iron with the process of adding magnesium alloy (Mg) or cerium (Ce) so that it transforms the shape of the graphite flakes into rounded (nodules). The purpose of this study is to determine the influence of magnesium content on microstructure and hardness of nodular cast iron. The research was conducted using the material of nodular cast iron which is melted in the induction furnace, this study uses the main ingredient FCD as the starting ingredient. The process of forming a spherical graphite cast iron is carried out by using the open Ladle system, the addition of FeSiMg weighing 50 grams, 100 grams, 150 grams, and 200 grams are placed on the base of Ladle with a capacity of 15 kg shortly before the liquid iron were poured into the Ladle Pouring. The results showed that increasing elements of magnesium (Mg) will result graphite granules were tended to be smaller and increased perlit areas. The smallest hardness value 210,59 BHN occurs in specimens 1 Raw material FCD with magnesium composition 0,0296% Mg and the largest hardness value of 296,64 BHN occurs in specimen 5 with magnesium composition of 0,0351% Mg.

Keywords : nodular cast iron, nodularisation, magnesium, graphite, hardness.

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri pengecoran logam tumbuh seiring dengan perkembangan teknik dan metode pengecoran serta berbagai model produk cor yang membanjiri pasar domestik. Produk cor banyak dipergunaan dalam kehidupan sehari-hari mulai dari perabotan rumah tangga, komponen otomotif, pompa air sampai propeller kapal. Permintaan pasar akan produk logam cor yang prospektif dan luas ini kurang diimbangi dengan peningkatan kualitas produk (Slamet & Hidayat, 2010).

Besi cor (cast iron) merupakan paduan besi yang mengandung karbon (C) lebih dari 1,7 % dan silikon (Si) sebanyak 1-3 %. Unsur lain dapat ditambahkan dengan maksud untuk meningkatkan sifat-sifat seperti kekuatan (strength), kekerasan (hardness), atau ketahanan korosi (corrosion resistance). Unsur yang umumnya ditambahkan yaitu Cr, Cu, Mo dan Ni. Besi cor memiliki selang temperatur cair yang relatif lebih rendah dari pada baja dan relatif lebih “encer” ketika cair. Sifat mekanis besi cor tergantung pada jenis strukturmikronya, yaitu bentuk dan distribusi elemen-elemen penyusun. Salah satu elemen memiliki pengaruh yang berarti adalah grafit. Jumlah, ukuran, dan bentuk grafit mempengaruhi kekuatan (strength), keliatan (ductility), dan ketangguhan (toughness) dari besi cor. Selain grafit matriks juga ikut mempengaruhi sifat mekanis. Matriks besi cor sama dengan yang terdapat pada baja, yaitu ferit, sementit dan perlit (Abdulah, 2008).

Besi cor kelabu atau Grey Cast Iron (FC) merupakan paduan dari besi dan karbon seperti halnya baja. Material ini merupakan salah satu material teknik yang banyak digunakan, hal ini disebabkan oleh kemudahan proses pembuatan, mampu dibuat secara masal, dan biaya proses yang kompetitif, meskipun banyak menawarkan keuntungan, tetapi terdapat beberapa kekurangan yaitu sifat keliatan dan ketangguhan tidak setinggi baja (Surdia, 1999).

Guna memperbaiki sifat mekanisnya besi cor kelabu biasa ditambahkan unsur paduan. Penambahan magnesium (Mg) pada besi cor kelabu (nodularisasi) merupakan cara agar terjadi proses distribusi penyebaran grafit yang berbentuk bulat sehingga memberikan pengaruh terhadap pemusatan tegangan (stress concentration) pada saat dikenai beban, sehingga hal ini akan meningkatkan keliatan (ductility), kekuatan tarik (tensile strength) dan ketahanan korosi (corrosion resistance) (Setyo & Widodo, 2008).

Besi cor nodular atau Ferro Casting Ductile (FCD) masuk dalam kelas besi cor, jenis besi cor ini sering digunakan sebagai bahan pengganti baja untuk komponen-komponen seperti mesin pertanian, otomotif, dan kontruksi, hal ini dikarenakan sifat fisik

dan mekanik yang dimiliki hampir menyamai sifat-sifat yang dimiliki oleh baja konvensional baik dari segi kekuatan (strength), kekerasan (hardness), ketahanan korosi (corrosion resistance), keliatan (ductility), dan ketangguhan (toughness). Besi cor nodular mempunyai keliatan dan ketangguhan yang lebih tinggi dari besi cor kelabu. Sifat utama dari pengecoran besi cor nodular akan sangat dipengaruhi oleh banyak faktor mulai dari waktu pengecoran (casting time), temperatur pengecoran (casting temperature), dan proses pencampuran cairan logam dengan bahan paduan. Proses nodularisasi (pencampuran unsur paduan Mg dengan logam cair) merupakan salah satu faktor yang perlu mendapat perhatian dalam pembuatan besi cor nodular agar bisa diperoleh grafit yang baik berbentuk bulat serta distribusinya merata, sehingga hasil pengecoran memiliki kekuatan, kekerasan dan ketahanan aus yang tinggi.

Dari uraian permasalahan diatas maka dilakukan penelitian dengan judul pengaruh variasi kandungan magnesium (Mg) dalam proses pembuatan besi cor nodular terhadap kekerasan.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka dapat diidentifikasi beberapa permasalahan, diantaranya:

- a. Unsur magnesium mengubah besi cor kelabu menjadi besi cor nodular.
- b. Perubahan bentuk grafit dalam besi cor akan mengubah sifat mekanik.

1.3 Pembatasan Masalah

Berdasarkan latar belakang dan identifikasi masalah diatas yang cukup luas, sehingga perlu adanya pembatasan masalah yang akan diteliti. Penelitian ini akan dibatasi pada:

- a. Paduan yang ditambahkan adalah *Ferro Silicon Magnesium* (FeSiMg).
- b. Melakukan pengujian komposisi spektrometri untuk mengetahui kandungan magnesium.
- c. Melakukan pengujian struktur mikro untuk mengetahui perubahan fasa akibat penambahan magnesium.
- d. Melakukan pengujian kekerasan pada besi cor nodular dengan variasi kandungan magnesium.

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan pembatasan masalah, maka tujuan yang hendak dicapai dalam penelitian ini adalah:

- a. Mengetahui pengaruh kandungan magnesium terhadap struktur mikro besi cor nodular.

- b. Mengetahui pengaruh kandungan magnesium terhadap tingkat kekerasan besi cor nodular.

1.5 Tinjauan Pustaka

Jufri (2005) melakukan penelitian mengenai analisis penambahan cerium sebagai pembulat grafit besi tuang nodular, diperoleh hasil bahwa penambahan cerium oksalat sebesar 0,025 % akan meningkatkan jumlah grafit bulat sebesar 18,75% dengan tingkat kebulatan butir sebesar 12,5% dan meningkatkan porositas sebesar 300% tetapi dapat menurunkan kekuatan tarik sebesar 9,15 %, kekuatan luluh sebesar 1,56%, elongasi sebesar 3,70% dan kekerasan brinell sebesar 5%. Penurunan kekuatan mekanik pada sampel yang ditambahkan cerium oksalat lebih dikarenakan adanya porositas yang ditimbulkan dari proses dekomposisi cerium oksalat. Cacat yang timbul akibat penambahan cerium oksalat adalah terbentuknya grafit serpih, inklusi oksida dan penyusutan mikro.

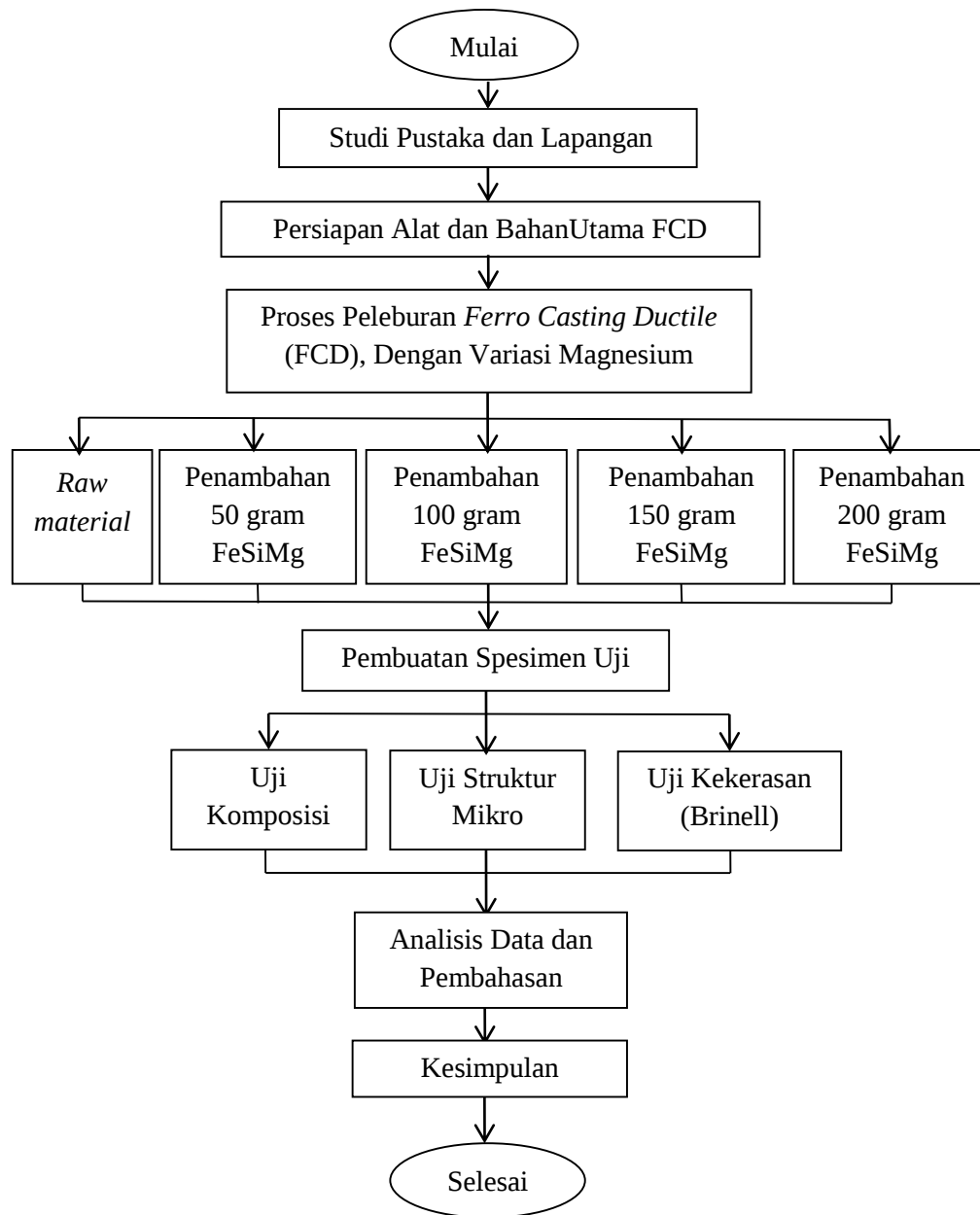
Cholis (2013) melakukan penelitian pengaruh penambahan unsur magnesium terhadap kekerasan dan struktur mikro pada pengecoran Aluminum, hasil menunjukkan bahwa pengecoran tanpa tambahan unsur magnesium mempunyai tingkat kekerasan paling rendah dibandingkan dengan hasil pengecoran dengan penambahan unsur magnesium. Hasil juga menunjukkan bahwa penambahan magnesium sebesar 0,2% mempunyai nilai kekerasan sebesar 40,97 kgf/mm², hasil dari pengecoran dengan penambahan magnesium sebesar 0,4% mempunyai nilai kekerasan sebesar 42,46 kgf/mm², hasil dari pengecoran dengan penambahan magnesium sebesar 0,6% mempunyai nilai kekerasan sebesar 43,43 kgf/mm².

Surojo dkk (2013) melakukan studi pengaruh struktur mikro terhadap ketahanan aus besi cor dengan membandingkan ketahanan aus jenis besi cor bergrafit nodular, *vermicular* dan serpih. Hal ini dilakukan untuk melihat potensi besi cor bergrafit *vermicular* sebagai bahan pembuatan blok rem metalik kereta api. Spesimen besi cor nodular dan *vermicular* diperoleh melalui pengecoran dengan memvariasikan tebal coran. Sementara itu, spesimen besi cor bergrafit serpih diperoleh dengan memotong blok rem metalik kereta api. Hasil penelitian menunjukkan bahwa struktur mikro hasil pengecoran pada besi cor yang mengandung paduan Mg dipengaruhi oleh ketebalan coran. Semakin tebal coran mendorong terbentuknya grafit *vermicular*. Selain itu, hasil penelitian juga menunjukkan bahwa besi cor bergrafit *vermicular* memiliki

ketahanan aus yang lebih baik dengan volume keausan 63 mm^3 dibandingkan dengan besi cor bergrafit nodular dengan volume keausan 66 mm^3 .

2. METODE PENELITIAN

2.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

2.2 Alat dan Bahan Penelitian

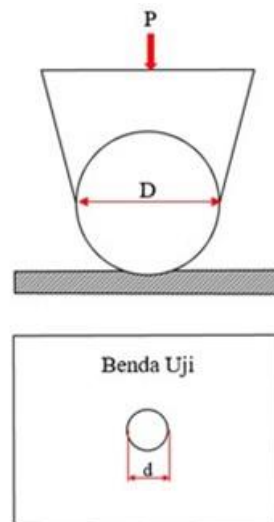
Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain :

Tungku Induksi, Ladel, Cetakan, Timbangan, Thermometer, Gerinda Potong, Milling, Mesin amplas, Hair dryer, *Raw material* FCD, Paduan FeSiMg, Autosol, Larutan etsa,

Alat uji komposisi kimia (Spectrometer), Alat uji foto mikro (*Olympus PME*), Alat uji kekerasan (*Universal Hardness Tester*).

2.3 Rumus Menghitung Nilai Kekerasan

Nilai kekerasan diungkapkan dengan satuan kekerasan Brinell, kekerasan Brinell dengan ASTM E-10 dihitung berdasarkan diameter lekukan pada benda uji akibat penekanan bola indentor yang diberi pembebanan. Seperti ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2 Ilustrasi Pengujian Kekerasan Dengan Metode Brinell

Nilai kekerasan Brinell dinyatakan dengan :

$$BHN = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \left(\frac{Kgf}{mm^2} \right)$$

Keterangan :

P = beban Penekanan (*Kgf*)

D = diameter penetrator (*mm*)

d = diameter bekas penekanan penetrator (*mm*)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengujian Komposisi Kimia

Pengujian komposisi kimia ini bertujuan untuk mengetahui prosentase kandungan unsur-unsur paduan yang terdapat dalam spesimen uji. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan alat uji komposisi kimia (*Spectrometer*). Pengujian dilakukan dengan menembakan terhadap permukaan sampel uji (yang sudah dihaluskan) dengan gas argon, penembakan dilakukan sebanyak 2 titik, kemudian diambil nilai rata-ratanya.

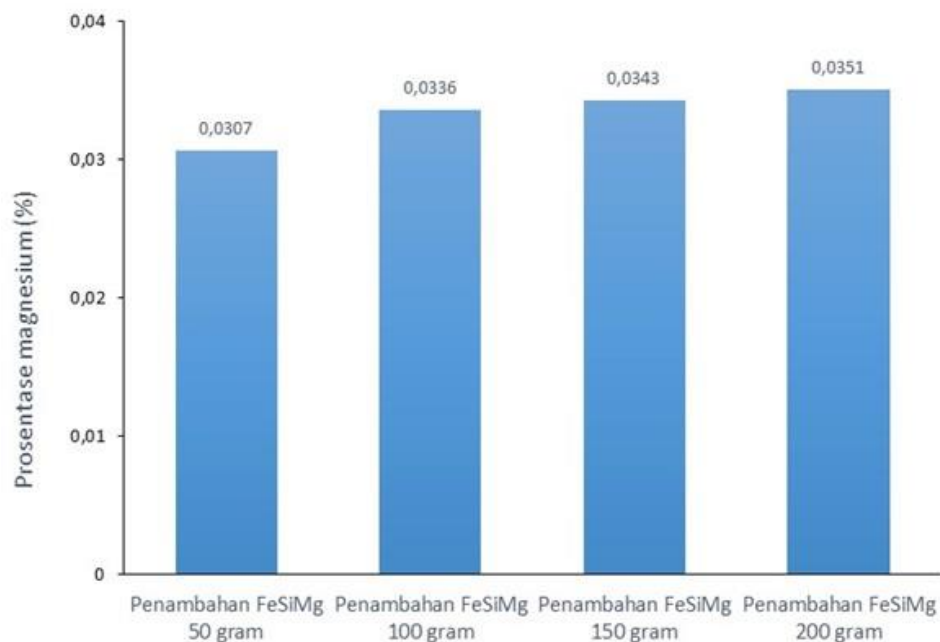
Hasil uji komposisi kimia pada *raw material* FCD dan besi cor dengan penambahan FeSiMg (Ferro Silikon Magnesium) disajikan dalam tabel 1.

Tabel 1 Hasil Uji Komposisi

Unsur	Penambahan FeSiMg ke dalam ladle leburan besi cor berkapasitas 15 kg				
	Spesimen 1 %	Spesimen 2 %	Spesimen 3 %	Spesimen 4 %	Spesimen 5 %
	<i>Raw Material</i>	Penambahan 50 gram	Penambahan 100 gram	Penambahan 150 gram	Penambahan 200 gram
C	3,4599	3,5100	3,5664	3,6422	3,4876
Si	2,6302	2,5997	2,5926	2,6264	2,6449
S	0,0147	0,0132	0,0108	0,0132	0,0105
P	0,0139	0,0177	0,0152	0,0131	0,0163
Mn	0,3459	0,5279	0,5034	0,4430	0,5748
Mg	0,0296	0,0307	0,0336	0,0343	0,0351
Ni	0,0119	0,0115	0,0114	0,0114	0,0117
Cr	0,0829	0,0921	0,0889	0,0870	0,0896
Mo	0,0016	0,0020	0,0017	0,0019	0,0026
Cu	0,0298	0,0231	0,0213	0,5283	1,1144
W	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0034
Ti	0,0307	0,0360	0,0349	0,0333	0,0356
Sn	0,0083	0,0090	0,0887	0,0086	0,0088
Al	0,0129	0,0119	0,0114	0,0121	0,0130
Nb	0,0002	0,0002	0,0002	0,0003	0,0011
V	0,0034	0,0045	0,0041	0,0040	0,0048
Co	0,0030	0,0030	0,0029	0,0031	0,0034
Pb	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0004
Ca	0,0353	0,0337	0,0322	0,0282	0,0344
Zn	0,0010	0,0007	0,0005	0,0011	0,0018
Fe	93,32	93,11	92,51	92,44	91,95

Berdasarkan hasil pengujian menunjukkan bahwa spesimen 1 *raw material* mengandung komposisi magnesium (Mg) sebesar 0,0296%, dan hasil penelitian dengan penambahan unsur pembulat grafit magnesium (Mg) sebesar 50 gram, 100 gram, 150 gram, dan 200 gram pada *raw material* FCD dengan sistem ladle terbuka berkapasitas 15 kg besi cor cair tiap variasinya menghasilkan prosentase magnesium (Mg) spesimen 2, 3, 4, dan 5 secara berturut-turut adalah 0,0307%, 0,0336%, 0,0343% dan 0,0351%.

Prosentase kandungan magnesium terhadap variasi penambahan FeSiMg dalam ladell 15 Kg dapat dilihat pada gambar 3.



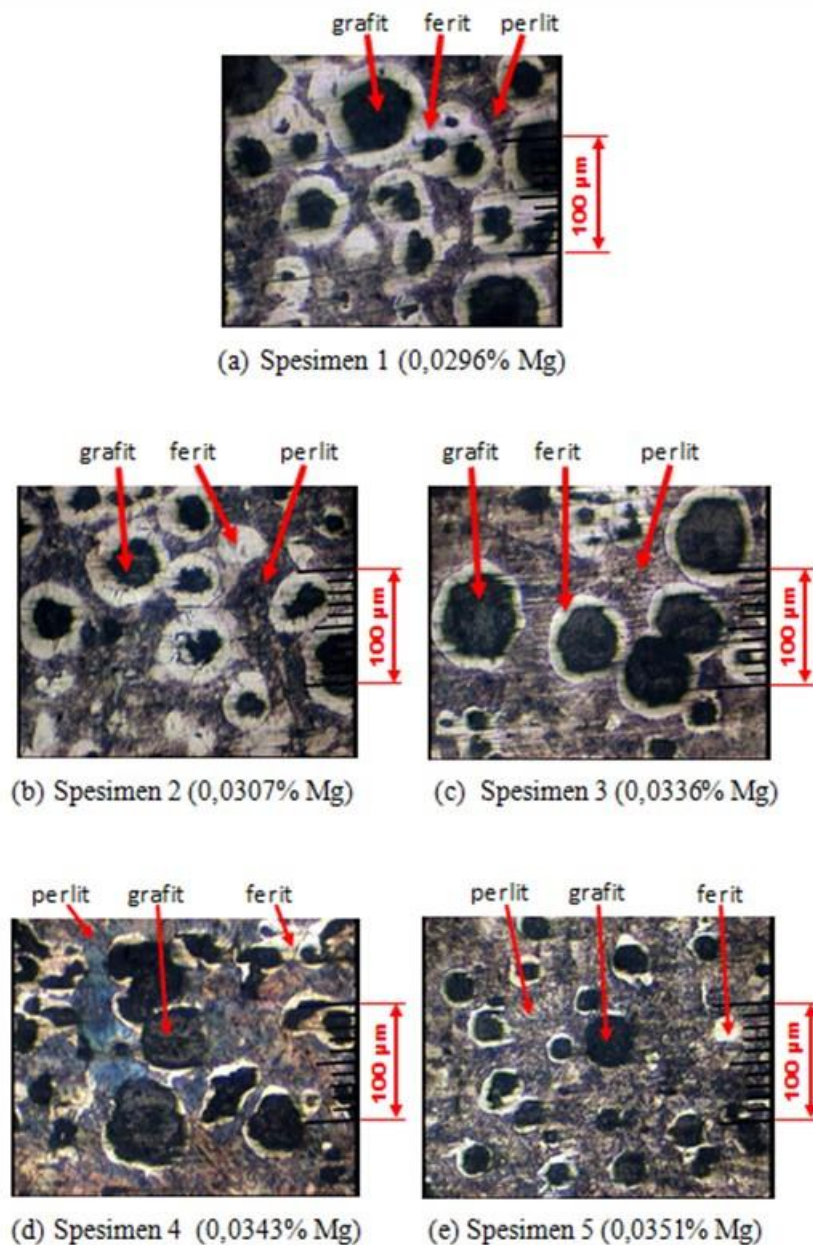
Gambar 3 Penambahan FeSiMg terhadap Prosentase Magnesium

Kadar kandungan magnesium sebesar 0,0307%, 0,0336%, 0,0343%, dan 0,0351%, ini mencapai kadar kandungan magnesium (Mg) yang disyaratkan dalam besi cor nodular, yaitu antara 0,02-0,08% Mg sesuai dengan persyaratan dari American Foudrymen's Society (AFS) 1992.

3.2 Pengujian Struktur Mikro

Pengamatan metalografi terhadap spesimen 1 *raw material*, dan spesimen, 2, 3, 4, dan 5 bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan unsur magnesium (Mg) terhadap struktur mikro besi cor nodular. Pengamatan ini dilakukan untuk mengetahui bentuk, ukuran, dan penyebaran matrik penyusunnya, dan dilakukan setelah proses etsa agar struktur mikro disekitar grafit menjadi lebih jelas. Hasil pengujian metalografi spesimen 1, 2, 3, 4, dan 5 dapat dilihat pada gambar 4.

Berdasarkan hasil uji struktur mikro pada gambar 4 memperlihatkan dengan jelas adanya fasa-fasa dalam besi tuang nodular yaitu grafit, ferit, dan perlit. Grafit yang berbentuk bulat berwarna hitam terlihat dikelilingi oleh fasa ferit yang berwarna terang dalam matrik perlit yang berbentuk lamel-lamel berwarna selang seling terang gelap. Pengambilan foto spesimen menggunakan alat uji struktur mikro *Olympus PME* dengan perbesaran lensa okuler 10× dan obyektif 10× (perbesaran total 100×) pada jarak 10 strip foto untuk perbesaran 100× adalah 100 µm.



Gambar 4 Hasil foto Struktur Mikro Besi Cor Nodular

Struktur mikro hasil pengecoran besi cor bergrafit bulat dengan penambahan FeSiMg sebesar 50 gram pada spesimen 2 dalam ladle berkapasitas 15 kg memiliki ukuran butir yang lebih kecil dan tingkat kebulatan yang lebih halus dengan prosentase magnesium (Mg) sebesar 0,0307% dibandingkan dengan struktur mikro spesimen 1 *raw material* FCD dengan prosentase kandungan magnesium sebesar 0,0296%.

Bentuk struktur mikro pada spesimen 3 dengan kadar kandungan magnesium 0,0336% memiliki ukuran grafit yang cenderung tidak stabil mirip dengan spesimen 4 dengan kadar magnesium 0,0343% dimana matrik struktur yang berada di sekitar grafit

bulat mempunyai matrik berbentuk perlit dengan orientasi sembarang, pada spesimen 4 terlihat grafit yang bentuknya tidak bulat penuh hal ini bisa disebabkan karena proses pencampuran magnesium yang kurang merata.

Selanjutnya pada spesimen 5 dengan penambahan 200 gram FeSiMg diperoleh grafit bulat penuh, tampak distribusi grafit yang seragam, dengan ukuran grafit yang lebih kecil dibanding spesimen 1 dan spesimen 2.

Hasil pengujian struktur mikro menunjukkan bahwa semakin banyak unsur magnesium (Mg) yang ditambahkan dalam pembuatan besi cor nodular maka perlit akan meningkat, bentuk grafit yang dihasilkan dengan ukuran butir mengecil dan grafit seragam, bentuk grafit bulat ini menunjukkan bahwa telah cukup unsur magnesium (Mg) yang ditambahkan dalam paduan besi cor, hal tersebut dapat dilihat pada hasil pengujian struktur mikro pada masing masing specimen. Struktur mikro ini sesuai dengan struktur mikro besi cor nodular dalam gambar 5 (Suratman, 2002).



Gambar 5 Struktur Mikro Besi Cor Nodular

3.3 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan kandungan magnesium (Mg) terhadap tingkat kekerasan besi cor nodular. Pengujian ini dilakukan menggunakan alat berjenis *Universal Hardness Tester* dengan hasil seperti terlihat pada tabel 2. Prinsip pengujian kekerasan dilakukan dengan cara spesimen yang berbentuk pelat dengan ukuran 30×30 mm dan ketebalan 10 mm. Pengujian kekerasan Brinell ini dilakukan dengan menggunakan indentor bola baja yang dikeraskan. Pengujian dilakukan dengan beban 100 Kgf dan diameter indentor sebesar 2,5 mm. Pengujian ini dilakukan pada empat titik pada setiap spesimen secara acak pada permukaan besi cor nodular, selanjutnya untuk mengetahui diameter bekas penekanan penetrator pada spesimen diamati menggunakan mikroskop optik dengan perbesaran 100X yaitu 1 mm

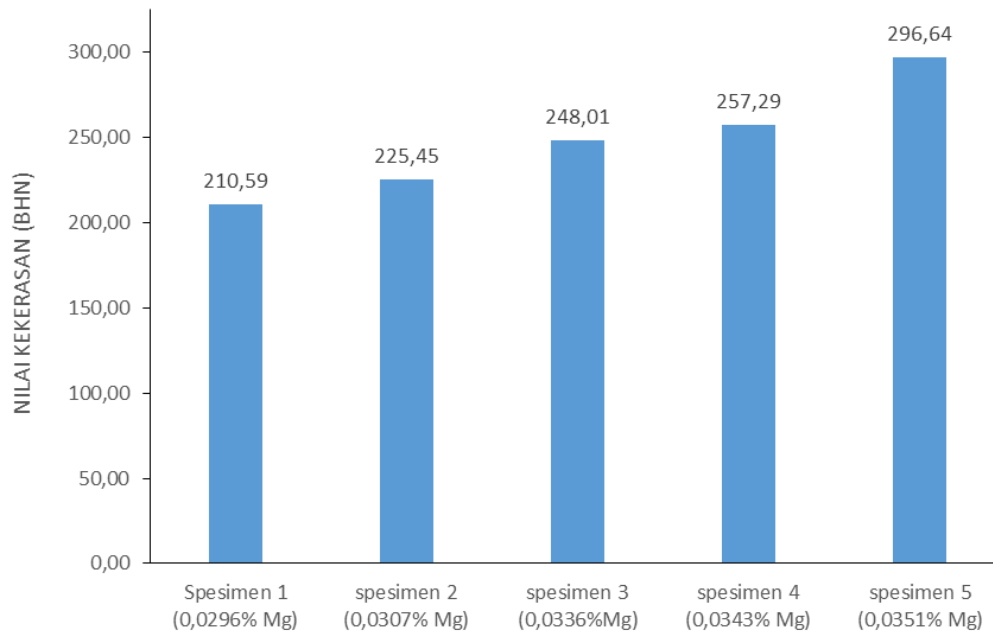
setiap 38 strip, besarnya nilai kekerasan dilihat dari ukuran diameter bekas penekanan penetrator.

Berdasarkan tabel hasil uji kekerasan dan perhitungan spesimen 1 hingga 5 mendapatkan hasil nilai kekerasan secara berturut turut adalah 210,59 BHN, 225,45 BHN, 248,01 BHN, 257,29 BHN, 296,64 BHN. Semakin kecil diameter yang dihasilkan dari penekanan penetrator terhadap spesimen uji, maka nilai kekerasannya semakin tinggi seperti ditunjukkan pada gambar 4.

Tabel 2 Hasil Pengujian Kekerasan.

Spesimen	Beban yang menekan (Kgf)	Diameter Penetrator, D (mm)	Diameter bekas penekanan Penetrator, d (mm)	Nilai Kekerasan (BHN)	Nilai Kekerasan Rata-rata (BHN)
Spesimen 1 (0,0296 % Mg)	100	2,5	0,736	229,96	210,59
			0,789	199,40	
			0,789	199,40	
			0,763	213,60	
Spesimen 2 (0,0307 % Mg)	100	2,5	0,710	247,50	225,45
			0,763	213,60	
			0,768	210,76	
			0,736	229,96	
Spesimen 3 (0,0336 % Mg)	100	2,5	0,684	267,09	248,01
			0,710	247,50	
			0,736	229,96	
			0,710	247,50	
Spesimen 4 (0,0343 % Mg)	100	2,5	0,710	247,50	257,29
			0,684	267,09	
			0,684	267,09	
			0,710	247,50	
Spesimen 5 (0,0351 % Mg)	100	2,5	0,631	314,76	296,64
			0,631	314,76	
			0,684	267,09	
			0,657	289,93	

Gambar 4 menunjukkan bahwa nilai kekerasan terendah terjadi pada spesimen 1 *raw material* FCD, dengan nilai kekerasan sebesar 210,59 BHN sedangkan nilai kekerasan tertinggi terjadi pada spesimen 5 dengan nilai kekerasan 296,64 BHN.



Gambar 4 Histogram Perbandingan Nilai Kekerasan Brinell

Penambahan unsur magnesium (Mg) dalam besi cor mempengaruhi nilai kekerasan dari material yang diuji, seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.3, bahwa dengan meningkatnya kandungan unsur magnesium 0,0296 %; 0,0307 %; 0,0336%; 0,0343% dan 0,0351% menghasilkan nilai kekerasan yang terus meningkat. Nilai kekerasan tertinggi yang terjadi pada spesimen 5 disebabkan karena grafit yang terbentuk berukuran kecil dan seragam dengan distribusi merata sehingga matrik disekitar grafit adalah perlit yang lebih mendominasi dengan sedikit ferit di tepi grafit. Ini sesuai dengan kekerasan besi cor nodular yang mempunyai matrik perlit-ferit dan perlit dalam standar ISO (*International Organization for Standardization*) 1083 yaitu antara 190 sampai 305 BHN.

4. PENUTUP

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, analisis data dan hasil pembahasan tentang Pengaruh Variasi Kandungan Magnesium (Mg) Dalam Proses Pembuatan Besi Cor Nodular Terhadap Kekerasan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

- Hasil foto struktur mikro pada spesimen 1 *Raw Material* FCD yang mengandung unsur magnesium (Mg) sebesar 0,0296 % dan variasi penambahan unsur magnesium (Mg) pada spesimen 2, 3, 4, 5 dengan kandungan unsur magnesium (Mg) berturut-turut adalah 0,0307 %, 0,0336 %, 0,0343 % dan 0,0351 % menghasilkan bentuk grafit

bulat berwarna hitam dengan ukuran cenderung mengecil, bulat dan seragam dengan bertambahnya prosentase komposisi unsur magnesium yang terdapat di dalam besi cor, selain itu pada foto struktur mikro menunjukkan semakin meningkatnya area perlit yang berbentuk lamel-lamel berwarna terang gelap dan berkurangnya area ferit yang berwarna terang mengelilingi grafit pada besi cor.

- b. Hasil uji kekerasan dengan metode Brinell pada spesimen 1 *raw material* FCD dan spesimen 2, 3, 4, 5 hasil variasi penambahan unsur magnesium menghasilkan nilai kekerasan yang cenderung meningkat. Dengan nilai kekerasan secara berturut-turut adalah 210,59 BHN, 225,45 BHN, 248,01 BHN, 257,29 BHN, 296,64 BHN. Semakin banyak fasa perlit pada struktur mikro nilai kekerasannya semakin meningkat, hal ini disebabkan fasa perlit lebih keras dibandingkan fasa ferit dan grafit.

4.2 Saran

Dalam penelitian selanjutnya, penulis mempunyai beberapa saran yang mungkin dapat digunakan untuk mengembangkan penelitian ini, antara lain :

- a. Pemilihan temperatur dan metode pencampuran merupakan faktor-faktor yang sangat menentukan sekali dalam proses pembuatan besi cor nodular, oleh karena itu diharapkan ada penelitian selanjutnya tentang pengaruh faktor-faktor tersebut.
- b. Pada proses pembuatan besi cor nodular perlu penelitian lebih lanjut tentang proses desulfurisasi (mengurangi komposisi sulfur) dengan tujuan mempermudah proses nodularisasi oleh magnesium (Mg).

PERSANTUNAN

Syukur Alhamdulillah, penulis panjatkan kepada Allah SWT atas segala rahmat dan nikmat-Nya sehingga penyusunan laporan penelitian ini dapat terselesaikan.

Tugas akhir berjudul **“PENGARUH VARIASI KANDUNGAN MAGNESIUM (Mg) DALAM PROSES PEMBUATAN BESI COR NODULAR TERHADAP KEKERASAN”**, dapat terselesaikan atas dukungan dari berbagai pihak. Untuk itu dalam kesempatan ini saya selaku penulis dengan segala hormat dan ketulusan hati ingin menyampaikan rasa terima kasih dan penghargaan sebesar – besarnya kepada :

1. Bapak Ir. H. Sri Sunarjono, M.T., Ph.D. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta.
2. Bapak Ir. H. Subroto, M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta.

3. Bapak Ir. Sunardi Wiyono, M.T. selaku Sekretaris dan Koordinator Tugas Akhir Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta yang membantu dalam proses administrasi selama masa perkuliahan.
4. Bapak Patna Partono, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan arahan dan bimbingannya selama masa perkuliahan.
5. Bapak Agung Setyo Darmawan, S.T., M.T. selaku Pembimbing Tugas Akhir yang telah membimbing, mengarahkan, memberi petunjuk dalam penyusunan Tugas Akhir.
6. Jajaran staf dan dosen Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta.
7. Kedua orang tua yang senantiasa selalu memberikan dukungan dan doa sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir dengan baik dan lancar.
8. Terima kasih telah menjadi teman, sahabat, dan keluarga. Menjalani setiap langkah bersama demi tujuan yang sama yaitu wisuda. Semoga kesuksesan selalu mengiringi langkah kita.
9. Semua pihak yang tidak dapat saya sebutkan satu per satu, terima kasih atas dukungannya.

Penulis menyadari bahwa laporan ini jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu kritik dan saran bersifat membangun dari pembaca akan penulis terima dengan senang hati dan penulis ucapkan banyak terima kasih. Semoga semua amal baik yang diberikan semua pihak kepada penulis akan mendapat balasan yang lebih baik dan sempurna dari Allah SWT.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdulah, Dendi. 2008. *Teknik Pengecoran Logam*. <https://indonesia-mekanikal.blogspot.com/2008/03/teknik-pengecoran-logam.html>. Diakses 20 Agustus 2018.
- Awal, Muhammmad. 2014. *Jenis Besi Cor dan Kandungannya*. <https://www.slideshare.net/muhamadawal/jenis-besi-cor-dan-kandungan-nya>. Diakses 27 Agustus 2018.
- Basuki, Arif., Rochim Suratman., dan Tata surdia. 1986. *Pembuatan besi cor nodular dan metode optimasinya*. vol 5, No 1 dan 2. Bandung: ITB.
- Beeley, P., 2001. *Foundry Technology Second Edition*. London: Butterworth Heinemann.
- Budenski, K. Michael. 1999. *Journal of Materials*. The Institute of Materials.
- Callister, Jr., dan William D. 2009. *Materials Science And Engineering An Introduction*. 8th Edition. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc, Hoboken.

- Cholis, Setiawan Noor. 2013. *Pengaruh Penambahan Unsur Magnesium (Mg) Terhadap Kekerasan Dan Struktur Mikro Pada Pengecoran Alumunium*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- Hendro, S., 2010. *Besi Tuang*. <https://teknikmesinindustri.wordpress.com/2010/05/26/besi-tuang/>. Diakses 27 Agustus 2018.
- Jufri, Moh. 2005. *Analisi Penambahan Magnesium dan Cerium Sebagai Pembulat Grafit Bei Tuang Nodular*, Vol 1 No 1: hal 23-33. Malang. Universitas Muhammadiyah Malang.
- Setyo, A.N., dan Sri Widodo. 2008. *Pengaruh Pusaran Pada Proses Nodularisasi Besi Cor Bergrafit Bulat Terhadap Kekuatan Tarik*. Volume 29, No. 1, (hlm. 71-85).
- Siswanto, Rudi. 2014. *Analisis Pengaruh Temperatur dan Waktu Peleburan Terhadap Komposisi Al dan Mg Menggunakan Metode Pengecoran Tuang*. Proceedings Seminar Nasional Teknik Mesin Universitas Trisakti (SNTMUT-2014), Jakarta, ISBN: 978-602-70012-0-6, MET06-6.
- Slamet, Sugeng dan Taufiq Hidayat. 2010. *Pengaruh Model Saluran Tuang Pada Cetakan Pasir Terhadap Hasil Cor Logam*. Kudus: Universitas Muria Kudus.
- Stefanescu, D. M. 1992. *Theory of Solidification and Graphite Growth in Ductile Iron*. In: Ductile Iron Handbook, American Foundrymen's Society.
- Suratman, Rochim., Beny Bandanadjaja. 2002. *Analisis Perubahan Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Besi Cor Nodular 700 Setelah Mengalami Proses Perlakuan Panas*. Bandung: Teknik Mesin ITB.
- Surdia, Tata., dan Chijiwa, Kenji. 2000. *Teknik Pengecoran Logam*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Surdia, Tata., dan Chijiwa, Kenji. 1991. *Teknik Pengecoran Logam Cetakan ke-6*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Surdia, Tata., dan Saito, Shinroku. 1999. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Surdia, Tata., dan Saito, S. 1995. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Surojo, Eko., dkk. 2013. *Studi Pengaruh Struktur Mikro Terhadap Ketahanan Aus Besi Cor*. Simposium Nasional Rapi Xii - 2013 FT UMS. Issn 1412-9612. Solo. UMS.
- Syahroni, Andhy. 2015. *Besi Dan Baja*. <https://slideplayer.info/slide/3994086/>. Diakses 27 Agustus 2018.
- Tjitro, S., dan Gunawan, H. 2003. *Analisa Pengaruh Bentuk Penampang Riser Terhadap Cacat Porositas*. Jurnal Teknik Mesin, 5 (1): 1-4.