

**PENGARUH PENAMBAHAN NIKEL 4% DAN MAGNESIUM
4% TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN KEKERASAN
PADA BESI COR NODULAR**



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

Oleh:

ZUFAR ALFARROS

D200180065

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

2022

HALAMAN PERSETUJUAN

**PENGARUH PENAMBAHAN NIKEL 4% DAN MAGNESIUM
4% TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN KEKERASAN
PADA BESI COR NODULAR**

PUBLIKASI ILMIAH

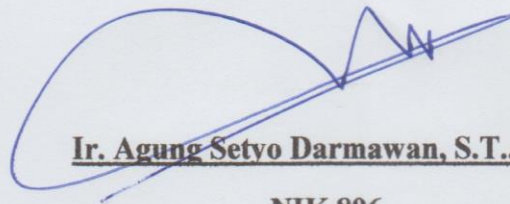
Oleh:

ZUFAR ALFARROS

D200180065

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh:

Dosen Pembimbing



Ir. Agung Setvo Darmawan, S.T., M.T

NIK.896

HALAMAN PENGESAHAN
PENGARUH PENAMBAHAN NIKEL 4% DAN MAGNESIUM
4% TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN KEKERASAN
PADA BESI COR NODULAR

Oleh:

ZUFAR ALFARROS

D200180065

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta

Pada hari Sabtu, 6 Agustus 2022

dan dinyatakan memenuhi Syarat

Dewan Penguji:

1. **Ir. Agung Setyo Darmawan, S.T., M.T**

(Ketua Dewan Penguji)

(.....)

2. **Dr. Ir. Tri Tjahjono, M.T**

(Anggota I Dewan Penguji)

(.....)

3. **Dr. Agus Yulianto, S.T., M.T**

(Anggota II Dewan Penguji)

(.....)



Dekan Fakultas Teknik

Rois Fathoni, S.T., M.Sc., Ph.D

NIK.892

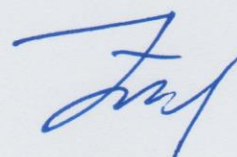
PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam publikasi ilmiah ini tidak terdapat karya 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, 13 Agustus 2022

Penulis



ZUFAR ALFARROS

D200180065

PENGARUH PENAMBAHAN NIKEL 4% DAN MAGNESIUM 4% TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN KEKERASAN PADA BESI COR NODULAR

Abstrak

Perkembangan pesat dalam industri logam pada saat ini, menuntut ketersediaan material berkualitas baik, sifat mekanik material logam seperti: ketangguhan, kekerasan dan ketahanan aus. Untuk memperbaiki sifat mekanik material logam diperlukan penambahan unsur paduan pada komposisi material logam. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan nikel dan magnesium terhadap komposisi, struktur mikro, dan kekerasan besi cor nodular. Penelitian ini menggunakan FCD sebagai bahan utama kemudian dilebur di dalam tungku induksi. Proses pembentukan besi cor grafit bulat dilakukan dengan sistem ladle terbuka, penambahan nikel 400 gram dan magnesium 400 gram yang diletakkan didasar ladle berkapasitas 10 kg sesaat sebelum logam cair dituangkan ke dalam ladle. Hasil penelitian menunjukkan bahwa komposisi paduan dari besi cor memiliki kadar kandungan magnesium melebihi kadar yang disyaratkan AFS. Meningkatnya persentase kandungan nikel dan magnesium dalam besi cor nodular menghasilkan butiran grafit bulat lebih besar, ferit semakin banyak dan perlit berkurang. Sedangkan berdasarkan pengujian kekerasan metode nilai kekerasan mengalami penurunan sebesar 7,809% dengan bertambahnya persentase nikel dan magnesium.

Kata kunci : besi cor nodular, kekerasan, magnesium, nikel, struktur mikro.

Abstract

The rapid development in the metal industry at this time demands the availability of good quality materials, mechanical properties of metal materials such as: toughness, hardness and wear resistance. To improve the mechanical properties of metal materials, it is necessary to add alloying elements to the composition of metal materials. This study aims to determine the effect of the addition of nickel and magnesium on the composition, microstructure, and hardness of nodular cast iron. This study uses FCD as the main material and then melted in an induction furnace. The process of forming spherical graphite cast iron is carried out with an open ladle system, adding 400 grams of nickel and 400 grams of magnesium which are placed at the bottom of the 10 kg capacity ladle just before the molten metal is poured into the ladle. The results showed that alloy compositions of cast iron having a magnesium content exceeding AFS required levels. The increasing percentage of Ni and Mg content in nodular cast iron resulted in larger spherical graphite grains, more ferrite and less pearlite. Meanwhile, based on the hardness test method, the hardness value decreased by 7.809% with the increase in the percentage of nickel and magnesium.

Keywords : nodular cast iron, hardness, magnesium, nickel, micro structure.

1. PENDAHULUAN

Perkembangan yang pesat dalam industri logam dan mesin akan meningkatkan persaingan dalam upaya peningkatan efisiensi produk. Perkembangan tersebut secara tidak langsung menuntut ketersediaan bahan untuk komponen-komponen permesinan yang memiliki karakteristik tertentu sesuai dengan penggunaannya. Industri logam adalah salah satu industri pendukung (*supporting industries*) yang memasok berbagai jenis suku cadang dari produk hasil pengecoran bagi industri permesinan (*engineering*) yang banyak digunakan diberbagai sektor. Sedemikian luasnya pemakai produk cor sehingga ditempatkan pada posisi strategis dalam struktur industri suatu negara (Abdullah & Pribadi, 2020).

Besi cor adalah paduan besi yang mengandung karbon, silisium, mangan, fosfor dan belerang, besi cor ini digolongkan menjadi enam macam yaitu: besi cor kelabu, besi cor kelas tinggi, besi cor kelabu paduan, besi cor bergrafit bulat, besi cor mampu tempa dan besi cor cil. Struktur mikro dari besi cor terdiri dari ferit atau perlit dan serpih karbon bebas. Karbon dan silisium ternyata mempengaruhi struktur mikro, ukuran serta bentuk dari karbon bebas dan keadaan struktur dasar berubah sesuai dengan mutu dan kuantitasnya. Disamping itu, ketebalan dan laju pendinginan mempengaruhi struktur mikro (Surdia & Chijjiwa, 1996).

Besi cor nodular (*Nodular Cast Iron*) sejak ditemukan pada tahun 1948, sampai sekarang merupakan material yang paling banyak digunakan untuk pembuatan komponen-komponen otomotif. Bentuk grafit yang bulat diakibatkan adanya unsur pembuat grafit yaitu dengan jalan mencampurkan magnesium, kalsium atau serium ke dalam cairan logam sehingga grafit bulat akan mengendap yang disebut nodularisasi. Akibat bentuk grafit yang bulat, maka kekuatan tarik besi cor nodular dalam kondisi *ascast* meningkat dibandingkan bentuk grafit serpihan dari 10-30 Kg/mm² menjadi 60 Kg/mm². Besi cor nodular memiliki karakteristik kekuatan tinggi, ketangguhan, kekerasan dan ketahanan aus, dan sering digunakan untuk memproduksi suku cadang dengan tegangan kompleks dan persyaratan kekuatan, ketangguhan dan ketahanan aus yang tinggi seperti poros engkol, noken as, traktor, mesin pembakaran dalam, dan katup tekanan (Wu, dkk, 2021).

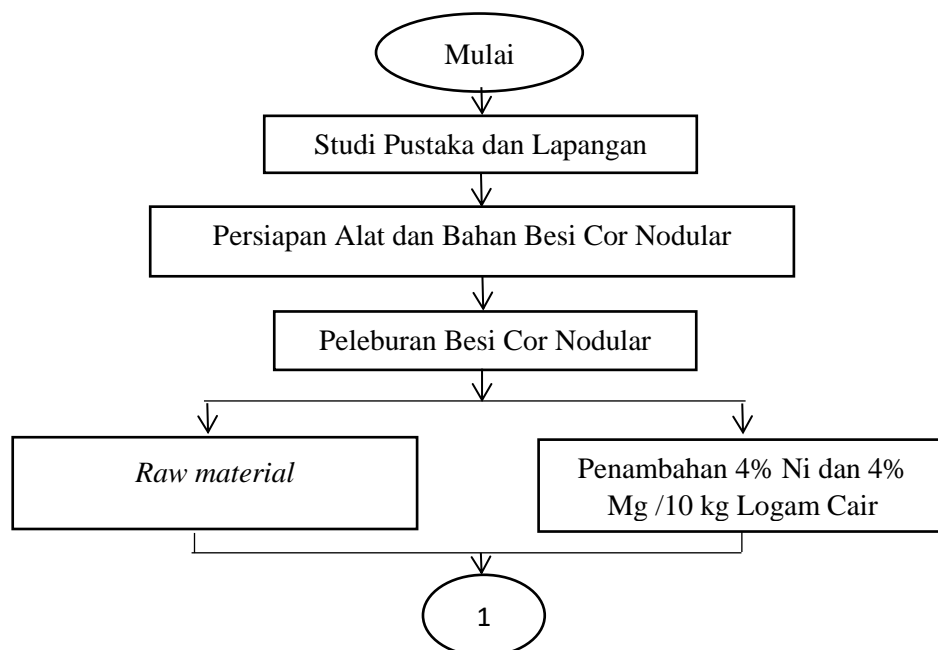
Salah satu pengembangan proses untuk mendapatkan sifat-sifat mekanik yang lebih baik dari besi cor nodular dapat dilakukan melalui perlakuan pada saat cair (*liquid treatment*) dengan cara mengatur komposisi paduan pada proses peleburannya yaitu mengatur kadar C, Si, Mn, S, P, dan Mg serta penambahan paduan khusus seperti Cu, Cr, dan Ni (Bandanadjaja, 2012).

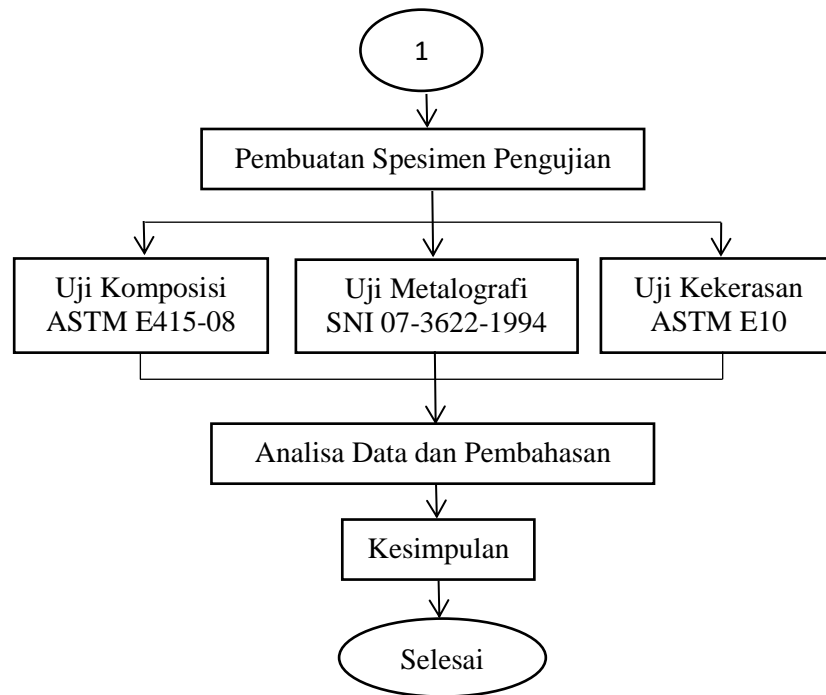
Nikel merupakan sumber daya strategis yang penting dengan kekuatan tinggi, keuletan yang baik, ketahanan suhu tinggi, ketahanan korosi dan ketahanan oksidasi. Nikel banyak digunakan dalam industri kedirgantaraan, militer dan industri modern (Zhang, dkk, 2020). Penambahan unsur nikel (Ni) memperkuat ferit serta berperan untuk mengurangi karbida kotor seperti sebagai pembentukan grafit dengan lebih kurang 50 % dari keefektifan silikon (Si). Pengaruh kandungan Ni pada besi cor nodular adalah penambahan Ni pada *ascast*, sebagian terjadi matrik ferit, selama pembentukan pearlite atau acicular sampai 4 %, kualitas austenitic dari 18 % sampai 36 % yang kualitasnya baik (Sudarmanto, 2016).

2. METODE

2.1 Diagram Alir Penelitian

Penelitian dilakukan dengan melalui beberapa tahapan yang telah direncanakan seperti terlihat pada gambar 3.1.





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

2.2 Alat Penelitian

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini meliputi tungku induksi, ladle, cetakan pasir, mesin poles, mesin bubut, perangkat uji komposisi kimia, perangkat uji metalografi dan perangkat uji kekerasan Brinell.

2.3 Bahan Penelitian

Bahan yang dipakai dalam penelitian ini adalah nikel, magnesium, dan besi cor nodular.

2.4 Proses Pembuatan Besi Cor Nodular

Pada penelitian ini proses pembuatan besi cor nodular dengan penambahan 4% nikel dan 4% magnesium melalui langkah-langkah sebagai berikut:

1. Memasukkan bahan utama FCD ke dalam tungku pelebur.
2. Melakukan peleburan selama ± 1 jam atau sampai temperatur 1500°C.
3. Menyiapkan pola dan cetakan dengan memadatkan pasir pada cetakan.

4. Menimbang nikel dan magnesium dengan berat 400 gram sesuai dengan penambahan unsur nikel dan magnesium yang akan diteliti.
5. Meletakkan nikel dan magnesium yang telah ditimbang ke dalam ladle dengan kapasitas 10 kg.
6. Menuangkan logam cair ke dalam ladle untuk mencampur logam cair dengan nikel dan magnesium menggunakan sistem ladle terbuka (*open ladle*) dan mengaduk cairan logam dengan harapan nikel dan magnesium dapat tercampur secara merata.
7. Menuangkan logam cair hasil penambahan nikel dan magnesium ke dalam cetakan pasir.
8. Membongkar hasil pengecoran dan membersihkannya.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengujian Komposisi Kimia

Pengujian komposisi kimia dilakukan menggunakan alat uji *spektrometer*. pengujian ini bertujuan untuk mengetahui persentase kandungan unsur-unsur kimia yang terdapat pada spesimen uji. Tabel 4.1 menunjukkan hasil uji pada *raw material* mengandung komposisi nikel (Ni) 0,091% dan magnesium (Mg) 0,026%. Spesimen 2 dengan penambahan Ni 4% dan Mg 4% menunjukkan komposisi 0,642%, Ni dan 0,133% Mg.

Tabel 4.1 Hasil Uji Komposisi

Unsur	<i>Raw Material</i> (% berat)	Penambahan 400 gram Ni
		Dan 400 gram Mg (% berat)
C	3,173	3,263
Si	3,036	4,068
Mn	0,199	0,248
P	0,028	0,032

Tabel 4.1 (lanjutan)

Unsur	<i>Raw Material</i> (% berat)	Penambahan 400 gram Ni
		Dan 400 gram Mg (% berat)
S	0,029	0,033
Cr	0,026	0,033
Mo	<0,0050	0,011
Ni	0,091	0,642
Cu	0,040	0,034
Al	0,023	0,023
Co	<0,0030	0,0058
Mg	0,026	0,133
Nb	0,0079	0,020
Ti	0,057	0,074
V	<0,0030	<0,0030
W	<0,0010	<0,020
B	<0,0010	<0,0010
Sn	0,0069	0,014
Fe	93,25	91,35

Berdasarkan persyaratan *Atomic Fluorescence Spectrometry (AFS)* 1992 dimana kadar kandungan magnesium (Mg) pada besi cor bergrafit bulat adalah antara 0,020% - 0,08%. Dan berdasarkan hasil penelitian dengan penambahan 400 gram nikel dan 400 gram magnesium menghasilkan sisa persentase magnesium 0,133% pada ladel kapasitas 10 kg.

Dari hasil penelitian ini menunjukkan bahwa persentase kadar magnesium (Mg) setelah penambahan nikel 400 gram dan magnesium 400 gram melebihi kadar kandungan yang dianjurkan untuk besi cor bergrafit bulat menurut standar AFS. Kadar kandungan magnesium setelah perlakuan yang melebihi pada batasan kadar yang dianjurkan ini berpengaruh terhadap struktur grafit bulat yang dihasilkan,

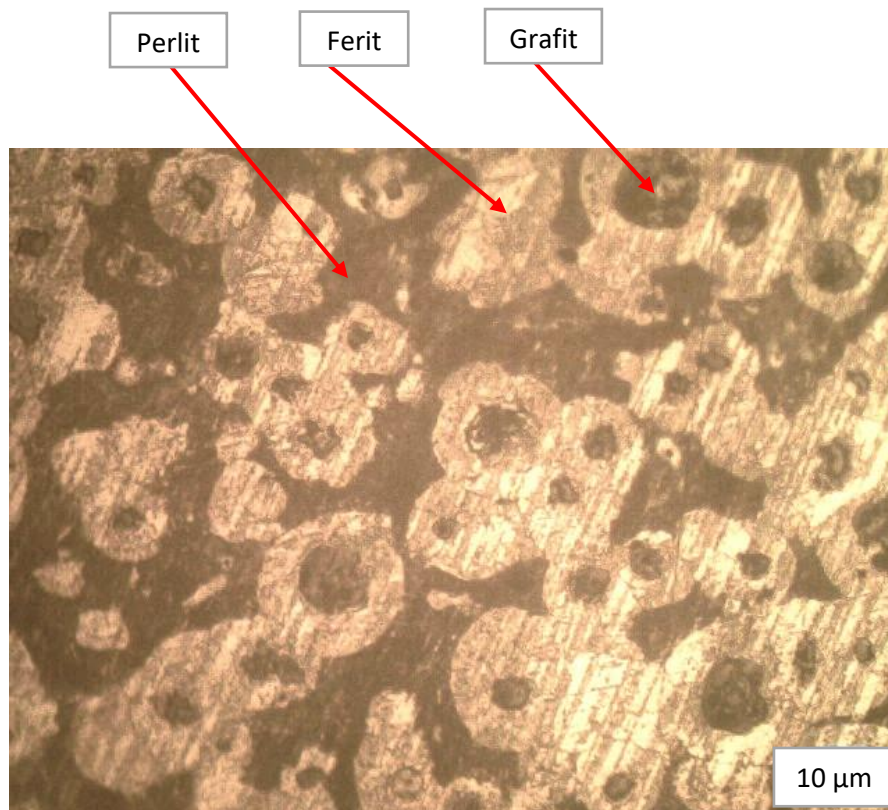
dimana dimungkinkan jumlah grafit bulat yang terbentuk bertambah akibat kelebihan unsur pembulat grafit, yang dalam penelitian ini adalah magnesium (Mg).

3.2 Pengujian Struktur Mikro

Pengujian metalografi dilakukan sesuai standar SNI 07. Larutan etsa yang digunakan adalah campuran asam nitrat 3% + 97% alkohol. Pengamatan metalografi pada spesimen 1 *raw material* dan spesimen 2 bertujuan untuk mengetahui pengaruh kandungan nikel (Ni) dan magnesium (Mg) terhadap struktur mikro besi cor nodular. Pengamatan ini dilakukan untuk mengetahui bentuk, ukuran, dan penyebaran matrik penyusunnya. Hasil pengujian metalografi spesimen 1 dan 2 dapat dilihat pada gambar 4.1.



(a) Spesimen 1 (0,091% Ni & 0,026% Mg)



(b) spesimen 2 (0,642% Ni & 0,133% Mg)

Gambar 4.1 Struktur Mikro Besi Cor Nodular

Hasil uji struktur mikro pada gambar 4.1 memperlihatkan adanya fasa-fasa dalam besi cor nodular yaitu grafit, ferit, dan perlit. Grafit berbentuk bulat berwarna gelap terlihat dikelilingi fasa ferit berwarna terang dalam matrik perlit yang berwarna gelap. Hal ini berdasarkan pengujian yang dilakukan Hsu dkk (2006) pada besi cor liat menunjukkan bahwa hasil struktur mikro penambahan 4% kobalt dan nikel terdiri dari fasa grafit, ferit dan perlit (Gambar 2.4).

Gambar 4.1 juga memperlihatkan struktur mikro spesimen 2 hasil penambahan Ni 4% dan Mg 4% mengalami perubahan ukuran dan jumlah grafit yang mayoritas menjadi lebih besar dibandingkan dengan spesimen 1. Hal ini menunjukkan bahwa struktur grafit selain dipengaruhi oleh laju pendinginan juga

dipengaruhi oleh komposisi kimia dimana persentase Ni dan Mg pada spesimen 2 sebesar 0,642% Ni dan 0,133% Mg. Selain itu dapat dilihat pula bahwa ferit akan meningkat dan perlit berkurang dengan bertambahnya persentase Ni dan Mg.

3.3 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan dengan menggunakan metode uji kekerasan brinell dengan standar ASTM E10. Menggunakan bola baja dengan diameter 2,5 mm dan beban 187,5 kgf. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui dan membandingkan nilai kekerasan dari besi cor nodular *raw material* dan sesudah penambahan nikel (Ni) dan magnesium (Mg). Tabel 4.2 menunjukkan data hasil pengujian kekerasan dan diagram hasil pengujian dapat dilihat pada gambar 4.2.

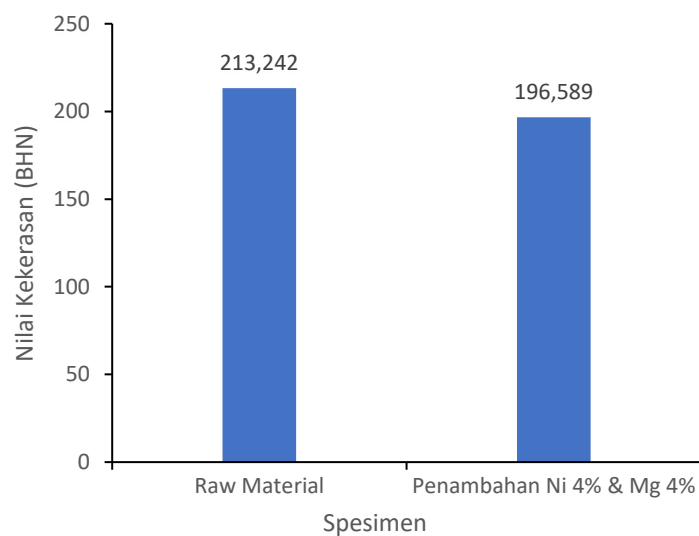
Tabel 4.2 Data Hasil Pengujian Kekerasan Brinell

No.	Sampel	Titik Uji	d ₁ (mm)	d ₂ (mm)	Kekerasan pada Titik Uji (BHN)	Kekerasan Rata-rata (BHN)	
1	<i>Raw</i>	1	1,027	1,074	206,147	213,242	
	<i>Material</i>	2	1,013	1,065	210,887		
		3	1,013	1,012	222,692		
2	Ni 4% & Mg 4%	Penambahan	1	1,077	1,077	195,463	196,589
		2	2	1,098	1,045	197,598	
			3	1,074	1,074	196,706	

Hasil pengujian kekerasan pada *raw material* besi cor nodular pada titik uji 1 didapatkan nilai kekerasan 206,147 BHN, pada titik uji 2 didapatkan nilai kekerasan 210,887 BHN, sedangkan pada titik uji 3 didapatkan nilai kekerasan 222,692 BHN. Maka dari itu didapatkan nilai kekerasan rata-rata sebesar 213,242 BHN.

Setelah dilakukan penambahan Ni 4% dan Mg 4% nilai kekerasan pada titik uji 1 didapatkan hasil 195,463 BHN, pada titik uji 2 didapatkan nilai kekerasan 197,598 BHN, sedangkan pada titik uji 3 didapatkan nilai kekerasan 196,706 BHN, maka didapatkan nilai kekerasan rata-rata sebesar 196,589 BHN. Dengan demikian

penambahan Ni 4% dan Mg 4% dapat mengakibatkan penurunan nilai kekerasan. Hal ini disebabkan karena pada spesimen 2 hasil pengujian struktur mikronya menunjukkan bahwa grafit berukuran lebih besar dibandingkan dengan spesimen 1, dimana grafit memiliki kekerasan yang lebih rendah dibandingkan ferit dan perlit meskipun matrik yang mendominasi disekitar grafit adalah ferit. Penurunan nilai kekerasan yang terjadi sebesar 7,809%.



Gambar 4.2 Histogram Nilai Kekerasan

4. Penutup

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, analisis data dan pembahasan tentang pengaruh penambahan nikel 4% dan magnesium 4% terhadap struktur mikro dan kekerasan pada besi cor nodular maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Komposisi kimia hasil penambahan nikel dan magnesium menunjukkan kadar kandungan nikel sebesar 0,642% dan kandungan magnesium sebesar 0,133%. Data unsur paduan dari besi cor tersebut memiliki kadar kandungan magnesium (Mg) melebihi kadar yang disyaratkan dalam besi cor nodular yaitu antara

0,020% - 0,08% berdasarkan persyaratan *Atomic Fluorescence Spectrometry* (AFS) 1992.

2. Penambahan nikel dan magnesium mempengaruhi hasil foto struktur mikro. Dengan bertambahnya nikel dan magnesium menghasilkan ukuran grafit bulat yang terbentuk menjadi lebih besar dan jumlahnya bertambah. Ferit semakin banyak dan perlit berkurang.
3. Penambahan nikel dan magnesium dapat mempengaruhi nilai kekerasan. Nilai kekerasan rata-rata pada *Raw Material* sebesar 213,242 BHN setelah penambahan Ni 4% dan Mg 4% nilai kekerasan rata-rata menjadi 196,589 BHN. Dengan bertambahnya kandungan nikel dan magnesium mengakibatkan nilai kekerasan mengalami penurunan sebesar 7,809%.

4.2 Saran

Setelah melakukan penelitian ini, terdapat beberapa saran yang dapat digunakan untuk mengembangkan penelitian ini, antara lain:

1. Perlu dilakukan pengujian mekanik lainnya seperti uji fatik, uji tarik, uji impact dan lain sebagainya untuk mengetahui sifat mekanik yang lain dari bahan ini.
2. Untuk dikembangkan lebih lanjut bisa dilakukan proses perlakuan panas pada penelitian selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, H., & Pribadi, J. (2020). *Pengembangan IKM Melalui Program Hibah DAPATI Sebagai Upaya Peningkatan Produktivitas Perusahaan (Studi Kasus: di IKM Pengecoran Logam PT. XYZ)*. *ISEI Business and Management Review*, 4(1), 17-25. <http://jurnal.iseibandung.or.id/index.php/ibmr>
- Arshad, W., Mehmood, A., Hashmi, M. F., & Rauf, O. U. (2018). *The Effect of Increasing Silicon on Mechanical Properties of Ductile Iron*. *Journal of Physics: Conference Series*, 1082(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1082/1/012059>
- Avner, S. H. (1974). *Introduction to physical metallurgy* (Vol. 2, pp. 481-497). New York: McGraw-hill.
- Bandanadjaja, B. (2012). *The Influence of Silicon (Si) Alloying to Homogenize the Bainitic Structure Formation on Bainitic Nodular Cast Iron*. In *Proceeding of Annual South East Asian International Seminar (ASAIS)* (p. 127). <https://www.researchgate.net/publication/326169696>
- Callister, W. D., & David Rethwisch, J. G. (2014). *Materials Science and Engineering*.
- Darmawan, A. S. (2020). *Ilmu Bahan Teknik*. Surakarta: Muhammadiyah University Press.
- Doloksaribu dan Eva Afrilinda. (2016). *Pengaruh Krom Terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro pada Besi Cor Nodular 400* *Effect of Crom on Mechanical Properties and Metalography of Fcd 400*. in *metal indonesia journal homepage* (vol. 38, issue 1). <http://www.jurnalmetal.or.id/index.php/jmi>
- Groover, M. P. (2010). *Fundamentals of modern manufacturing: materials, processes and systems*, USA: Jhon Wiley & Sons.

- Jeyaprakash, N., Yang, C. H., Duraiselvam, M., & Prabu, G. (2019). *Microstructure and Tribological Evolution During Laser Alloying WC-12%Co and Cr₃C₂-25%NiCr Powders on Nodular Iron Surface*. *Results in Physics*, 12, 1610–1620. <https://doi.org/10.1016/j.rinp.2019.01.069>
- Kumar, P. *Basic Mechanical Engineering (Vel Tech)*. Pearson Education India.
- Sari, N. H. (2018). *Material teknik*. Deepublish.
- Saripuddin. (2021). *Mengenal Logam Sebagai Bahan Teknik*. Deepublish.
- Sofyan, B. T. (2021). *Pengantar Material Teknik*.
- Sudjana, H. (2008). *Teknik Pengecoran*.
- Sudarmanto, S. (2016). *Pengaruh Penambahan Nikel terhadap Kekuatan Tarik dan Kekerasan pada Besi Tuang Nodular 50*. *Angkasa: Jurnal Ilmiah Bidang Teknologi*, 8(2), 41-46.
- Supriyono. (2017). *Material Teknik*. Surakarta: Muhammadiyah University Press
- Tata, S., & Shinroku, S. (1999). *Pengetahuan Bahan Teknik*. *Pradnya Paramita, Jakarta*.
- Vaško, A. (2019). *Comparison of Mechanical and Fatigue Properties of SiMo- And SiCu-types of Nodular Cast Iron*. *Materials Today: Proceedings*, 32, 168–173. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.04.184>
- Wu, H., Peng, H., Liu, Y., Tu, H., Wang, J., & Su, X. (2021). *Effect Of Selective Pre-oxidation On The Growth And Corrosion Resistance Of Hot-dip zinc Coating Of Nodular Cast Iron*. *Corrosion Science*, 186. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2021.109463>
- Zhang, Y., Cui, K., Wang, J., Wang, X., Qie, J., Xu, Q., & Qi, Y. (2020). *Effects Of Direct Reduction Process On The Microstructure And Reduction Characteristics Of Carbon-bearing Nickel Laterite Ore Pellets*. *Powder Technology*, 376, 496–506. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2020.08.059>

Zhu, R., Su, Y., & Qin, X. (2017). *Study on the Influence of Nano-SiC on the Structure and Properties of Nodular Cast Iron*. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 250(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/250/1/012051>