

PENGARUH PENAMBAHAN INOKULASI TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN KEKERASAN PRODUK COR DENGAN MATERIAL FC 250

Sabtun Ismi Khasanah^{1*}, Muhammad Zikri Niamillah¹, Danis Aditya Mardani², Suparni²

¹Program Studi Teknologi Pengecoran Logam Politeknik Manufaktur Ceper

²Program Studi Manajemen Industri Politeknik Manufaktur Ceper

*Corresponding author: sabtunismikhasanah@gmail.com

Diterima: 5 Februari 2024

Direvisi: 18 Februari 2024

Disetujui: 19 Februari 2024

Terbit online: 20 Februari 2024

ABSTRAK

Proses inokulasi dalam pengecoran logam diperlukan pada pembuatan besi cor kelabu ataupun besi cor nodular. Inokulasi bertujuan untuk meningkatkan jumlah inti pembekuan dan menyegeramkan struktur mikro. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh pada proses penambahan inokulasi terhadap struktur mikro dan kekerasan pada produk *pressure plate* dengan material FC-250. Perubahan yang dilakukan berupa perubahan proses inokulasi dan perubahan komposisi kimia pada tanur induksi. Perubahan proses inokulasi meliputi perubahan proses inokulasi yang awalnya hanya dilakukan pada ladle dengan berat material inokulasi 0.5 kg menjadi 2 kali proses yaitu pada ladle dengan berat penambahan material inokulasi 0.8 kg dan proses inokulasi pada kowi dengan berat penambahan material 0.4 kg. Hasil pengujian metalografi setelah dilakukan penambahan inokulasi menunjukkan bahwa grafit perlit dan ferit menyebar secara merata dan masuk kedalam grafit Type-A. Hasil pengujian kekerasan menunjukkan bahwa pengaruh penambahan inokulasi merubah tingkat kekerasan sehingga sesuai spesifikasi/standar ASTM 40 yaitu 180 – 302 HB. Nilai kekerasan setelah penambahan proses inokulasi pada area body sebesar 191,7 HB dan pada area ear sebesar 191,85 HB.

Kata kunci: inokulasi, FC-250, struktur mikro, kekerasan

ABSTRACT

The inoculation process in metal casting is needed to make grey cast iron or nodular cast iron. Inoculation aims to increase the number of freezing nuclei and promotes the formation of a homogeneous microstructure. This research aims to determine the effect of the inoculation addition process on the microstructure and hardness of PP products with FC-250 material. The changes made include changes to the inoculation process and changes to the chemical composition of the induction furnace. Changes in the inoculation process include changing the inoculation process which was initially only carried out on ladles with an inoculation material weight of 0.5 kg to 2 processes, namely on ladles with an additional weight of 0.8 kg of inoculation material and an inoculation process on crucible (kowi) with an additional material weight of 0.4 kg. The results of the metallography test after the additional inoculation process showed that the pearlite and ferrite graphite spread evenly and fell into Type-A graphite. The hardness test results show that the effect of adding inoculation changes the level of hardness so that it complies with ASTM 40 specifications/standards, namely 180 – 302 HB. The hardness value after the addition of the inoculation process in the body area was 191.7 HB and in the ear area was 191.85 HB

Keywords: inoculation, FC-250, microstructure, hardness

1. PENDAHULUAN

Besi cor merupakan material yang sangat *consumable* dan selalu digunakan di berbagai industri diantaranya industri otomotif, infrastruktur, dan alat tambang. Besi cor adalah paduan besi-karbon dengan kandungan karbon >2% (pada umumnya sampai dengan 4%). Bahan besi cor relatif murah, memiliki sifat mampu cor (*castability*) yang baik, dan juga memiliki sifat mampu mesin (*machinability*) yang relatif lebih baik [1]. Proses pembuatan bahan ini tidak dapat dilakukan melalui proses pembentukan, melainkan melalui proses pemotongan (pemesinan) maupun pengecoran. Besi cor berperan penting dalam kemajuan di semua sektor industri, hal ini ditunjukkan dengan kebutuhan yang semakin meningkat. Berbagai penelitian yang menggunakan bahan besi cor juga banyak dilakukan. Umardani meneliti pengaruh *austempering* terhadap bentuk dan ukuran grafit serta sifat tribologis besi cor kelabu untuk komponen rem kereta api [2]. Doloksaribu menganalisis pengaruh krom terhadap sifat mekanik dan struktur mikro pada besi cor nodular 400 [3]. Khasanah menganalisis perbandingan komposisi unsur Mg terhadap pembulatan grafit dan kekerasan produk *pressure plate* [4]. Semakin meningkatnya kebutuhan produk dengan material besi cor menuntut setiap industri untuk menghasilkan produk cor yang optimal, efisien dan efektif dan dengan meminimalisir terjadinya cacat atau kegagalan proses dalam pembuatannya.

Sifat mekanik besi cor kelabu bergantung pada mikrostrukturnya yang terdiri dari grafit *lamellar* dan matriks ferit dan/ atau perlit yang terdistribusi ke seluruh produk cor setelah pemadatan [5]. Pada proses pembuatan besi cor terdapat proses yang krusial dan menunjang guna menghasilkan produk yang baik sesuai spesifikasi yang diinginkan, proses itu ialah proses inokulasi. Inokulasi merupakan bagian penting pada proses pembuatan besi cor. Secara garis besar proses inokulasi bertujuan untuk meningkatkan jumlah inti pembekuan sehingga dengan demikian akan meningkatkan pula jumlah grafit eutektik, mengurangi “*under cooling*” serta menurunkan tendensi terbentuknya struktur pembekuan putih (*ledeburit*). Proses inokulasi diperlukan pada pembuatan besi cor kelabu ataupun besi cor nodular. Walaupun inokulasi memiliki efek yang sama terhadap kedua material tersebut, namun apabila dilihat secara spesifik masing-masing memiliki karakteristik yang agak berbeda.

Bahan inokulasi atau *inoculants* merupakan unsur-unsur yang segera bersenyawa dengan O₂ serta membentuk partikel padat yang dibubuhkan kedalam cairan. Partikel-partikel ini segera akan berfungsi sebagai inti pada pertumbuhan baik grafit lamelar ataupun grafit nodular. Unsur-unsur pembentuk partikel ini dicampurkan dalam bahan pembawanya yaitu grafit (*graphite based inoculants*), *ferrosilicon* (*FeSi based inoculants*) atau *calcium silicide* (*CaSi based inoculants*). Bahan inokulan yang sering digunakan saat ini adalah *FeSi based inoculants* dengan kandungan unsur antara lain Al, Ba, Ca, Sr dan Zr.

Pembentukan grafit yang tidak sempurna pada produk diantaranya disebabkan oleh tidak optimalnya proses inokulasi. Inokulasi bertujuan untuk memicu pertumbuhan grafit sekaligus meratakan persebaran grafit di dalam logam cair. Pertumbuhan grafit terjadi karena sementit dipacu oleh silikon untuk bereaksi menjadi ferit dan grafit. Penelitian tentang inokulasi telah banyak dikembangkan diantaranya pengaruh inokulasi terhadap besi cor [6][7], teknologi inokulasi besi cor kelabu FC-250 untuk mencegah pengerasan pada *dove tale* produk ragum tipe 125 [8], pengaruh metode inokulasi terhadap komposisi dan kekerasan besi cor kelabu sutiyoko [9]. Penelitian ini dilakukan untuk mempelajari lebih lanjut pengaruh metode inokulasi terhadap strukturmikro dan kekerasan produk *pressure plate* dengan material FC 250.

2. METODE PENELITIAN

Beberapa peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain: tanur induksi, ladle, mesin cetak *Disamatic* tipe 2110 MK-2 dengan pasir cetak *greensand* untuk pembuatan cetakan, *thermocouple* untuk mengukur temperatur, *spectrometer* untuk melihat komposisi cairan logam yang digunakan saat proses uji coba, *hardness Tester Mitutoyo* untuk melihat tingkat kekerasan produk, *Microscope Olympus GX-71* untuk melihat struktur mikro produk, *digital calipers* digunakan untuk mengecek dimensi, timbangan untuk melakukan penimbangan berat produk. Sedangkan, bahan-bahan yang digunakan antara lain: inokulan produk dari *Elkem* dengan *Type Barinoc Inoculant*, pasir cetak *greensand* dan bahan pembuatan FC-250. Pengambilan data yang diperlukan dalam

penelitian dilakukan di PT Coppal Utama Indomelt dengan metode observasi, wawancara dan praktik langsung.

Metode penelitian ini mencakup pada identifikasi produk, pengumpulan data masalah, pembuatan ulang parameter melting dan proses inoculasi, dan pengujian strukturmikro dan kekerasan. Analisa yang dilakukan pada penelitian ini adalah menganalisa hasil perubahan proses inoculasi pada proses pembuatan *pressure plate* dan membandingkan hasil metalografi sebelum dan yang terjadi saat uji coba pengecoran. Perubahan yang dilakukan berupa perubahan metode inoculasi dan perubahan komposisi kimia pada tanur induksi. Perubahan metode inoculasi meliputi perubahan proses inoculasi yang awalnya hanya dilakukan pada ladle dengan berat material inoculasi 0,8 kg menjadi 2 kali proses yaitu pada ladle dengan berat penambahan material inoculasi 0,8 kg dan proses inoculasi pada kowi dengan berat penambahan material 0,4 kg. Hasil dari beberapa perbaikan dari setiap uji coba dilakukan cek visual pada setiap lokasi dengan module yang berbeda untuk mengetahui grafit yang terbentuk. Uji coba dikatakan berhasil apabila persentase cacat mengalami penurunan. Hasil perbaikan yang paling baik akan dijadikan standar untuk proses produksi selanjutnya.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Identifikasi produk cor adalah langkah yang pertama kali dilakukan untuk mengetahui kualitas *pressure plate*. Proses ini dilakukan untuk mengetahui spesifikasi material dan mekanisme simulasi pengecoran yang akan digunakan. Data yang didapatkan dari identifikasi benda cor sebagai berikut:

- a. Nama Benda : *Pressure plate*
- b. Material : FC 250
- c. Berat Jenis : 7,2 kg/dm³
- d. Berat Benda : 10,37 kg (1 cavity)
- e. Jenis Cetakan : *Greensand*
- f. Metode Cetakan : *Disamatic*
- g. Modul benda cor: 0,822 cm

Temperatur tapping dan temperatur pouring aktual yang dilakukan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 1

Tabel 1 .Temperatur tuang pada *Pressure Plate*

Temperatur (°C)	
<i>Tapping</i>	<i>Pouring</i>
1540-1550	1390-1450

Material inoculasi yang digunakan adalah produk dari *Elkem* dengan *Type Barinoc Inoculant*. Kandungan Silikon (Si) pada material tersebut adalah 75% dengan penambahan 0.3-0.4% dari setiap proses inoculasi. Penamabahan inoculan:

$$\%Si \text{ inoculasi} = \frac{\% \text{ penambahan inoculasi} \times \text{kapasitas ladle}}{\% \text{ Si kandungan inoculasi}}$$

$$\% \text{ Si inoculasi} = \frac{0,3 \times 200}{75} = 0,8 \text{ kg}$$

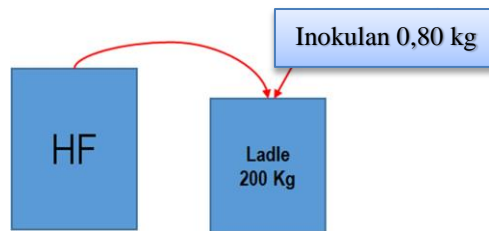
Proses inoculasi metode satu dilakukan satu kali pada ladle dengan berat cairan 200 kg dan penambahan material Inoculasi 0,8 kg seperti yang ditunjukkan Gambar 1. Sedangkan Proses inoculasi metode dua dilakukan dua kali yaitu pada ladle dengan berat cairan 200 kg dan penambahan material inoculan sebesar 0,80 kg dilanjutkan inoculasi kedua yang dilakukan pada kowi dengan berat cairan 100 kg dan berat penambahan material inoculan sebesar 0,4 kg. Semakin banyak volume material inoculan yang ditambahkan maka semakin tinggi persentase silikon (Si). Kenaikan persentase Si dapat ditentukan dengan perhitungan berikut:

$$\text{kenaikan \% Si} = \text{kenaikan \% Si ladle} + \text{kenaikan \% Si kowi}$$

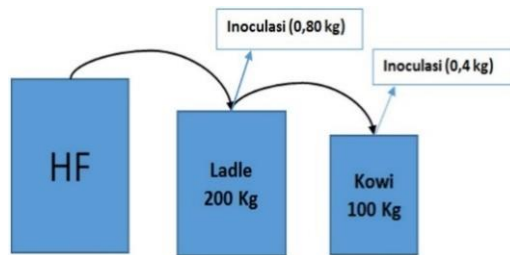
$$\begin{aligned} \text{kenaikan \% Si ladle} &= \frac{\text{mat. inokulasi (Kg)}}{\text{kapasitas ladle}} \times \% \text{ Si material inokulasi} \\ \text{kenaikan \% Si ladle} &= \frac{0,80}{200} \times 75\% = 0,297\% \\ \text{kenaikan \% Si kowi} &= \frac{\text{mat. inokulasi (Kg)}}{\text{kapasitas kowi}} \times \% \text{ Si material inokulasi} \\ \text{kenaikan \% Si kowi} &= \frac{0,40}{100} \times 75\% = 0,297\% \\ \text{kenaikan \% Si inokulasi} &= 0,297 + 0,297 = 0,594\% \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas dapat ditentukan perubahan komposisi pada tanur sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \% \text{ Si tanur} &= \% \text{ Si produk} - \% \text{ Si inokulan} \\ \% \text{ Si tanur} &= 2,1\% - 0,594\% = 1,5\% \end{aligned}$$

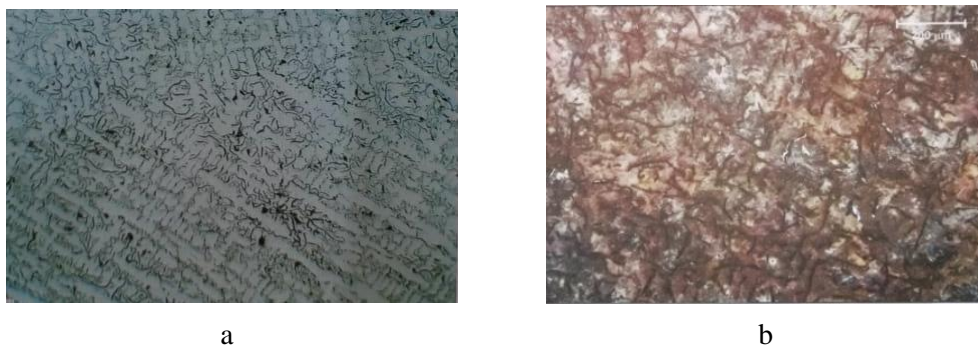


Gambar 1. Proses inokulasi metode satu



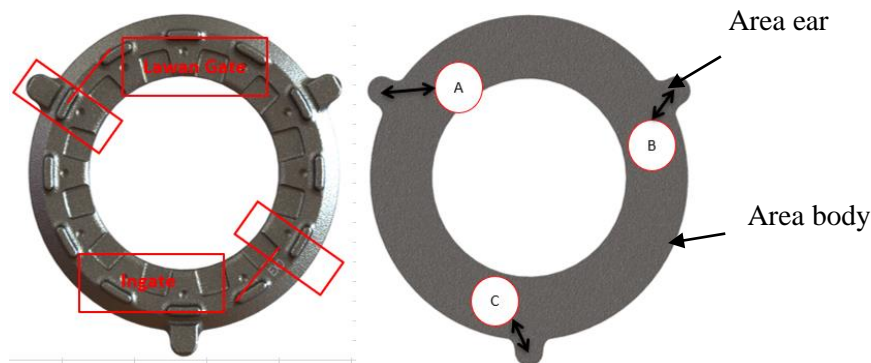
Gambar 3. Proses inokulasi metode dua

Berdasarkan hasil pengujian metalografi dapat dilihat bahwa penambahan inokulan pada metode satu menghasilkan grafit *interdendritic* dan *flake graphite* yang terjadi pada fase *hypoeutectic*. Silikon pada besi cor kelabu dalam proses inokulasi berfungsi untuk mendorong terbentuknya grafit. Struktur mikro tersebut menunjukkan grafit Type-E. Grafit Type E berbentuk *flake interdendritic* [10]. Sedangkan, hasil pengujian metalografi setelah dilakukan penambahan inokulasi pada ladle dan kowi terlihat grafit menyebar secara merata dan masuk kedalam grafit Type-A. Inokulasi berfungsi untuk mendorong terbentuknya struktur mikro yang homogen dengan tanpa sementit sebagai matrik, membentuk grafit, mencegah under cooling [11][12].



Gambar 4. a) metode inokulasi dalam ladle, b) metode inokulasi dalam ladle dan kowi

Besi cor kelabu yang diinokulasi menghasilkan nukleasi grafit lamellar serta diperoleh struktur eutektik yang stabil yang bebas dari karbida atau ledeburit. Grafit yang dihasilkan adalah Grafit tipe A. Grafit tipe A berbentuk serpihan grafit berada dalam distribusi seragam dan orientasi acak [13]. Hasil penelitian pengaruh inokulasi terhadap struktur mikro menunjukkan bahwa pengaturan terbaik yang dapat diperoleh untuk mendapatkan keseragaman struktur mikro dan sifat mekanis pada pengecoran besi tuang kelabu [8]. Keberhasilan dari perubahan proses inokulasi ditunjukkan oleh hasil pengujian tingkat kekerasan dengan hasil yang sesuai dengan spesifikasi. Pengujian kekerasan dilakukan pada beberapa titik seperti terlihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Titik pengecekan kekerasan produk *pressure plate*

Tabel 2. Pengecekan Kekerasan *Area Body*

Area Body	Nilai kekerasan sebelum penambahan	Nilai kekerasan setelah penambahan
	HB	HB
Standart ASTM 40	180 - 302	180 - 302
Ingate	235,6	206,5
Lawan Gate	291	176,9
Rata - rata	263,3	191,7

Tabel 3. Pengecekan Kekerasan *Area Ear*

Area Ear	Nilai kekerasan sebelum penambahan	Nilai kekerasan setelah penambahan
	HB	HB
Standart ASTM 40	180 - 302	180 - 302
Ingate	372,8	190,4
Lawan Gate	383,6	193,3
Rata - rata	378,2	191,85

Hasil pengecekan nilai kekerasan sebelum dan sesudah penambahan proses inokulasi diperoleh nilai kekerasan yang disajikan pada tabel 2 dan 3. Dari tabel 2 dan 3 dapat dilihat bahwa sebelum penambahan proses menghasilkan nilai kekerasan di atas standar dan kualitas produk masih belum sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan. Sedangkan, setelah penambahan proses inokulasi tingkat kekerasan masuk ke dalam range standar ASTM 40. Proses inokulasi dapat menurunkan dan menyerasakan nilai kekerasan [14].

4. KESIMPULAN

Berdasarkan data hasil penelitian dapat disimpulkan:

1. Hasil pengujian metalografi setelah dilakukan penambahan inoculasi menunjukkan bahwa grafit perlit dan ferit menyebar secara merata dan masuk kedalam grafit Type-A.
2. Hasil pengujian kekerasan menunjukkan bahwa pengaruh penambahan inoculasi merubah tingkat kekerasan sehingga sesuai spesifikasi/standar yang diinginkan yaitu 180 – 302 HB. Nilai kekerasan setelah penambahan proses inoculasi pada area body sebesar 191,7 HB dan pada area ear sebesar 191,85 HB.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. D. S. De Jesus and G. Soebiyakto, “Analisis Uji Tarik Dan Metalografi Sifat Mekanik Besi Tuang Kelabu (Fc-20) Dengan Proses Heat Treatment,” *Proton*, vol. 10, no. 1, pp. 25–29, 2018, doi: 10.31328/jp.v10i1.804.
- [2] Y. Umardani et al., “Dengan Metode Fluiditas Strip Mould,” vol. 11, pp. 5–12, 2009.
- [3] M. Doloksaribu and E. Afrilinda, “Pengaruh Krom Terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro pada Besi Cor Nodular 400,” *Met. Indones.*, vol. 38, no. 1, pp. 8–13, 2016, [Online]. Available: <http://jurnalmetal.or.id/jmi/article/view/7>.
- [4] S. I. Khasanah and F. Habib, “Analisa Perbandingan Komposisi Unsur Mg terhadap Pembulatan Grafit dan Kekerasan Prosuk Pressure Plate,” *J. Foundry*, vol. 5, no. 2, pp. 38–45, 2022.
- [5] T. Sarkar and G. Sutradhar, “Influence of austenitizing temperature on microstructure and mechanical properties of austempered gray iron (AGI),” *Mater. Today Proc.*, vol. 4, no. 9, pp. 10138–10143, 2017, doi: 10.1016/j.matpr.2017.06.336.
- [6] E. Fraš and M. Górný, “Inoculation Effects of Cast Iron,” *Arch. Foundry Eng.*, vol. 12, no. 4, pp. 39–46, 2012, doi: 10.2478/v10266-012-0104-z.
- [7] A. Fay, “Influence of inoculation on cast iron machinability: Case studies,” *China Foundry*, vol. 17, no. 2, pp. 150–157, 2020, doi: 10.1007/s41230-020-9152-0.
- [8] A. Suhadi and Seodihono, “Teknologi Inokulasi Besi Cor Kelabu Fc-250 Untuk Mencegah Pengerasan Pada Dove Tale Inoculation Technology of Gray Cast Iron Fc-250 To Prevent Solidification on Done Tale Ragum,” vol. 16, no. 2, pp. 40–48, 2014.
- [9] Sutyoko, M. Z. Al Jufry, and A. Syamsudin, “Effect of Inoculation Method on Composition and Hardness of Grey Cast Iron,” *Pengaruh Metod. Inokulasi Terhadap Komposisi Dan Kekerasan Besi Cor Kelabu*, vol. 6, no. 2, pp. 20–26, 2023, [Online]. Available: <https://www.pinhome.id/kamus-istilah-properti/besi-cor/>.
- [10] W. Huang, Z. Y. Su, C. S. Wang, M. Yeh, and J. H. Chou, “Graphite Classification of Gray Cast Iron in Metallographic via A Deep Learning Approach,” *J. Internet Technol.*, vol. 23, no. 4, pp. 889–895, 2022, doi: 10.53106/160792642022072304023.
- [11] E. E. T. ELSawy, M. R. EL-Hebeary, and I. S. E. El Mahallawi, “Effect of manganese, silicon and chromium additions on microstructure and wear characteristics of grey cast iron for sugar industries applications,” *Wear*, vol. 390–391, no. July, pp. 113–124, 2017, doi: 10.1016/j.wear.2017.07.007.
- [12] P. S. C. Borse and Y. E. Mangulkar, “International Journal of Innovative Research in S

- science , E ngineering and T echnology Review on Grey Cast Iron Inoculation,” vol. 3, no. 4, pp. 30–36, 2014.
- [13] E. P. Elenwa, “Rapid Solidification of Cast Iron,” *Sci. Res. J.*, vol. VII, no. II, pp. 74–81, 2019, doi: 10.31364/scirj/v7.i2.2019.p0219617.
- [14] D. M. Stefanescu, “Solidification and modeling of cast iron - A short history of the defining moments,” *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 413–414, no. December 2005, pp. 322–333, 2005, doi: 10.1016/j.msea.2005.08.180.