

PERBANDINGAN INOKULASI MENGGUNAKAN METODE *LADLE INOCULATION* DAN METODE *STREAMING* PADA PRODUK FLANGE 32A DENGAN MATERIAL FCD 450

Sabtun Ismi Khasanah^{1*}, Laurensius Parulian¹

¹Politeknik Manufaktur Ceper

*Corresponding author: sabtunismikhasanah@gmail.com

Diterima: 20 Mei 2023

Direvisi: 10 Juli 2023

Disetujui: 15 Juli 2023

Terbit online: 15 Juli 2023

ABSTRAK

Penambahan inokulasi pada besi cor berfungsi sebagai pencegahan cacat akibat *undercooling*. Fungsi lainnya juga bermanfaat untuk proses pembentukan grafit pada besi cor. Penambahan inokulasi pada besi cor memiliki banyak metode dalam prosesnya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbedaan metode penambahan inokulasi khususnya terhadap kekerasan produk Flange 32A dengan jenis material yang digunakan yaitu FCD (*Ferrous Casting Ductile*) 450. Metode penambahan inokulasi yang dilakukan dalam penelitian ini adalah metode *non streaming inoculation (ladle inoculation)* dan *streaming inoculation*. Proses inokulasi ladle dilakukan dengan penambahan bahan inokulan yang diletakkan pada dasar ladle bersamaan dengan bahan *Mg-treatment*, sedangkan metode *streaming* dilakukan penambahan inokulasi pada ladle dan dilanjutkan inokulasi secara langsung pada saat proses *pouring*. Sampel yang didapatkan dari kedua metode ini kemudian akan di analisa melalui beberapa pengujian yaitu uji komposisi kimia, uji kekerasan HRB (*Hardness Rockwell B*) dan uji metalografi. Perbedaan metode inokulasi menghasilkan nilai kekerasan yang jauh berbeda. Nilai kekerasan yang dihasilkan melalui metode inokulasi *non streaming* sebesar 113-118 HRB, sedangkan melalui metode inokulasi *streaming* sebesar 93-94 HRB. Berdasarkan nilai kekerasan standart JIS G5502 mengenai spesifikasi besi cor nodular, nilai kekerasan yang masuk ke dalam range standar diperoleh dari metode inokulasi *streaming*. Grafit yang terbentuk terdiri dari grafit bentuk VI dengan persebaran fasa perlit dan ferit berturut-turut dan 50,75% dan 49,25%.

Kata kunci: *inokulasi streaming*, kekerasan, metalografi

ABSTRACT

The addition of inoculation to cast iron has a function to prevent defects due to *undercooling*. The other functions are also useful for the process of graphite formation in cast iron. The addition of inoculation to cast iron has many methods in the process. This study aims to determine the difference in the method of adding inoculation, especially the hardness of Flange 32A products, with the type of material used is FCD (*Ferrous Casting Ductile*) 450. The method of adding inoculation carried out in this study is *non-streaming inoculation (ladle inoculation)* and *streaming inoculation*. The ladle inoculation process is carried out by adding the inoculant material placed on the bottom of the ladle together with the *Mg-Treatment* material, while the *streaming* method is added to the addition of inoculation to the ladle and continued inoculation directly during the pouring process. The samples obtained from these two methods will be analyzed through several tests, namely chemical composition tests, HRB (*Hardness Rockwell B*) hardness tests and metallographic tests. The difference in the inoculation method produces a much different hardness value. The hardness produced through the *non-streaming inoculation* method is 113-118 HRB, whereas the *streaming inoculation* method is 93-94 HRB. Therefore, based on the standard, the value of JIS G5502's standard regarding the specifications of nodular cast iron, the value of hardness that enters the standard range is obtained from the *streaming inoculation* method. The graphite formed consists of VI graphite with the distribution of the perlite and ferrite phases, respectively and 50.75% and 49.25%.

Keywords: *streaming inoculation*, hardness, metallography

1. PENDAHULUAN

Flange merupakan komponen yang berfungsi untuk menggabungkan dua elemen pipa dengan *valve* atau pipa dengan kegunaan lainnya. Jenis dan ukuran *flange* yang digunakan cukup variatif bergantung pada fungsinya. Media perekat yang digunakan untuk menghubungkan pipa ini dengan menggunakan baut. Salah satu bahan untuk membuat *flange* adalah besi cor. Besi cor mengandung unsur yang bervariasi seperti Si, Mn, P, S, dan unsur bawaan seperti Ti, Sb, and Sn.

Besi cor pada saat ini merupakan material yang sangat consumable dan digunakan pada hampir berbagai lini industri diantaranya industri otomotif, infrastruktur, alat tambang dan lain – lain. Paduan ini memiliki sifat mampu cor yang sangat baik namun memiliki elongasi (kemampuan bahan logam untuk bertambah panjang ketika diberi beban atau gaya tarik) yang relatif rendah.

Pembuatan benda cor berbahan besi memiliki tahapan-tahapan yang terbilang cukup krusial dalam prosesnya. Detail dalam proses pembuatan benda cor sangat mempengaruhi produk hasil. Proses yang menjadi salah satu faktor keberhasilan tersebut adalah proses inokulasi pada besi cor. Proses inokulasi bertujuan untuk meningkatkan jumlah inti pembekuan, meningkatkan jumlah grafit eutektik, dan mengurangi *under cooling* serta menurunkan tendensi terbentuknya struktur pembekuan putih (*ledeburite*) [1]. Penambahan inokulan ke besi cor cair disarankan dan bahkan diperlukan dalam banyak kasus. Proses ini dapat menghasilkan coran yang memenuhi kualitas persyaratan [2]. Pengaruh inokulan terhadap besi cor akan meningkatkan jumlah sel eutektik dengan grafit serpih dan jumlah nodul grafit dalam besi cor nodular, sekaligus mengurangi *under cooling* [3]. Inokulasi besi cor akan mempengaruhi mekanisme nukleasi grafit pada besi cor kelabu dan besi cor nodular meskipun jumlah inokulannya sedikit. Pemilihan ukuran butir inokulan juga merupakan faktor yang sangat penting yang mempengaruhi disolusi dan efisiensi inokulan [4]. Pada pengujian tarik penambahan Mn menunjukkan hasil kekuatan tarik paling tinggi 209,81 N/mm² dengan nilai kekerasannya didapat 41,14 HRB. Berdasarkan data tersebut dapat di simpulkan bahwa penambahan mangan dapat meningkatkan nilai kekerasan dan juga kekuatan tarik [5].

Bahan inokulasi atau inoculants merupakan unsur-unsur yang dapat segera bersenyawa dengan O₂ membentuk SiO₂ (silica) serta membentuk partikel padat dengan cara dibubuhkan atau dicurahkan ke dalam cairan. Partikel-partikel ini berfungsi sebagai pembentuk inti grafit dengan bentuk lamelar dan nodular. Unsur-unsur pembentuk partikel ini dicampurkan dalam bahan pembawanya yaitu grafit (*graphit based inoculants*), *ferrosilicon* (FeSi based inoculants) atau kalsium silida (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. N. Kandungan unsur tersebut adalah unsur kimia kunci, sedangkan *ferosilikon* hanya berfungsi sebagai median pembawa unsur-unsur aktif yang kritis, yang diperlukan dalam rangka untuk memberikan elemen-elemen kecil untuk menghasilkan konsentrasi yang tepat dan untuk menghasil kinerja kelarutan inokulasi yang optimal [6]. Penelitian lain menunjukkan bahwa kalsium silisida merupakan inokulan potensial yang lebih baik jika dibandingkan dengan inokulan lain yang telah dicoba [7], padai nokulan Ca dan Ba yang mengandung ferosilikon terhadap struktur mikro dan sifat tarik IS-210, dan besi tuang IS-1862 [8].

Kegagalan atau kekurangan proses inokulasi mengakibatkan benda cor cenderung membuat proses pembekuan cairan membeku secara metastabil dan dapat memunculkan struktur putih (*ledeburit*). Struktur ini keras serta memiliki *machinability* yang kurang baik sehingga harus dihindari. Sebagian unsur C yang bersenyawa dengan Fe menjadi karbida dan dapat membentuk struktur *ledeburite*. Berkurangnya kemampuan untuk pemuai ini diakibatkan oleh adanya panas yang terjebak di bagian dalam casting dan hal ini berpotensi meningkatkan cacat pada produk.

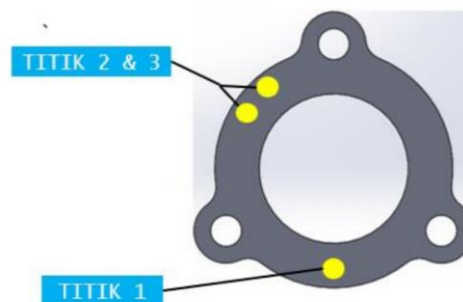
Penambahan inokulan dapat dilakukan dengan berbagai metode seperti *pre inoculation*, *ladle inoculation*, *wire inoculation*, *pouring stream inoculation*, *mold inoculation* [2]. Penelitian ini dilakukan untuk meneliti lebih lanjut penggunaan inokulan terhadap besi cor. Penelitian ini membandingkan pengaruh penambahan inokulasi dengan metode *non streaming* (*ladle inoculation*) dan metode *streaming* (metode *non streaming* dan metode *streaming*) terhadap kekerasan dan metalografi produk flange 32A dengan material FCD 450. Metode *streaming* merupakan metode penambahan inokulan secara langsung ke aliran besi selama penuangan. Metode ini dilakukan setelah perlakuan inokulasi ladel.

2. METODE PENELITIAN

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain: material FCD 450, inoculan FeSi 75 dan larutan etsa. Alat uji yang digunakan dalam penelitian ini adalah spektrometer *Hitachi Foundry-Master Smart* (uji komposisi kimia), mesin uji *Optical Microscope Olympus GX71* (uji metalografi) dan mesin *Mitutoyo Rockwell Hardness Tester HR - 420MR* dengan penekanan maksimum 150 Kgf (uji kekerasan).

Penelitian perbandingan metode inoculasi terhadap kekerasan dan struktur metalografi besi cor nodular diawali dengan melakukan perhitungan bahan inoculasi yang digunakan. Bahan inoculasi yang digunakan adalah inoculan FeSi 75. Penggunaan jumlah inoculan disesuaikan dengan cairan yang akan dituangkan dari seluruh berat casting termasuk *feeder* dan *gating system*, serta kapasitas ladle. Terdapat dua sample uji dalam penelitian ini, yaitu sampel hasil inoculasi metode *non streaming* dan sampel hasil inoculasi metode *streaming*. Inoculan yang ditambahkan pada metode *streaming* adalah FeSi 75 sebesar 0,2% dari total berat casting dan 0,1% dari total kapasitas ladle tapping.

Pengujian yang dilakukan pada sampel yaitu pengujian komposisi kimia, kekerasan dan metalografi. Pengujian komposisi kimia bertujuan untuk mengetahui komposisi kimia pada sampel uji. Material dari produk yang digunakan untuk pengujian komposisi kimia diambil dari sampel *chill* yang dibuat secara khusus untuk mengetahui komposisi material pada produk flange 32A. Pengujian kekerasan menggunakan 3 (tiga) buah sampel dari masing masing casting. Proses uji kekerasan diambil dari tiga titik pada casting. Titik pertama diambil di dekat *necking* dari *runner*. Titik kedua dan ketiga diambil di dekat *necking* pada *riser*. Gambar 1 menunjukan lokasi titik pengujian kekerasan.



Gambar 1. Lokasi titik pengambilan uji kekerasan

Pengujian metalografi digunakan untuk menentukan struktur mikro dari FCD 450. Pengujian metalografi diambil dari masing-masing sampel kedua metode inoculasi. Sampel uji metalografi merupakan produk flange 32A yang diambil dari hasil sample uji kekerasan yang memiliki kekerasan tertinggi. Analisa yang dilakukan berupa Analisa bentuk grafit, perhitungan persentase fasa perlit dan ferit dan analisa akhir keterkaitan seluruh pengujian.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian komposisi kimia sampel uji inoculasi melalui metode *non streaming* dan metode *streaming* FeSi75 dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi Kimia Produk Flange 32A

Jenis Unsur	Komposisi Unsur Kimia		
	Standar JIS G5502	Metode Inoculasi <i>Non Streaming</i>	Metode Inoculasi <i>Streaming</i>
C	3,7-3,9	3,74	3,89
Si	2,6-2,8	2,68	2,81
Mn	0,2-0,37	0,399	0,329
P	0,03 Max	0,0166	0,0117
S	0,01 Max	0,0136	0,0125
Mg	0,03-0,05	0,0407	0,0412

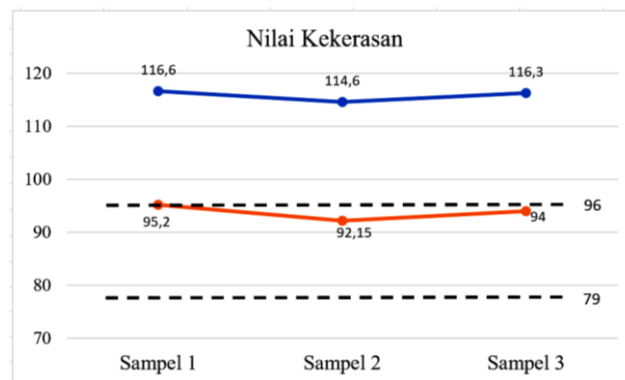
Dari tabel 1 dapat dilihat bahwa beberapa unsur mengandung komposisi di atas Standar JIS G5502. Hasil uji komposisi kimia Produk Flange 32A dengan kedua metode inokulasi menjadi acuan dalam menganalisis kekerasan dan struktur mikro produk.

Uji kekerasan HRB dilakukan pada enam buah produk. Tiga sampel merupakan produk hasil inokulasi non streaming dan tiga sampel lainnya merupakan produk hasil inokulasi streaming. Uji kekerasan yang dilakukan pada tiga buah titik pada masing-masing sampel dapat dilihat dalam Tabel 2.

Tabel 2. Nilai Pengujian HRB

Metode	Sampel	Nilai Kekerasan (HRB)		Rata-rata nilai kekerasan (HRB)
		T (Titik 1)	R (Titik 2/3)	
Non Streaming	1	117,5	115,7	116,6
	2	119,4	109,8	114,6
	3	117,3	115,3	116,3
Streaming	1	96	94,4	95,20
	2	92,9	91,4	92,15
	3	94,5	93,5	94,00

Huruf T merupakan hasil uji kekerasan dari titik satu. Huruf R ini bermakna tinggi dimana pada titik ini diperoleh nilai kekerasan produk yang tertinggi. Sedangkan, huruf R bermakna rendah dimana hasil pengujian antara titik dua dan titik tiga yang akan digunakan adalah nilai yang terendah. Rata-rata nilai kekerasan dari kedua metode disajikan pada Gambar 2.



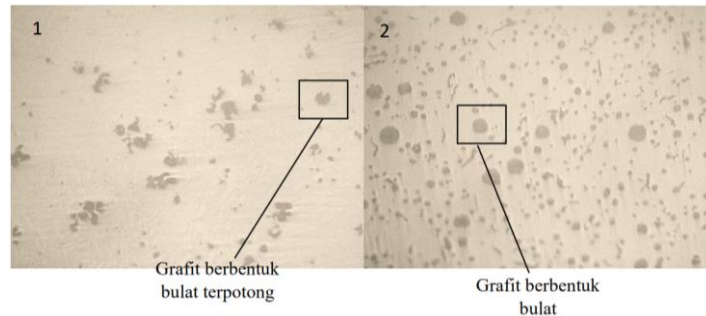
Gambar 2. Rata-rata nilai kekerasan

Rata-rata nilai kekerasan dari hasil perlakuan inokulasi *non streaming* adalah 115,83 HRB, sedangkan rata-rata nilai kekerasan dari hasil perlakuan inokulasi *streaming* adalah 93,78 HRB. Dari kedua metode perlakuan inokulasi, perlakuan yang menghasilkan sifat mekanik masuk ke dalam standar JIS G5502 yakni perlakuan metode inokulasi *streaming*. Spesifikasi data sifat mekanik FCD 450 berdasarkan standar JIS G5502 memiliki range nilai kekerasan 79-96 HRB.

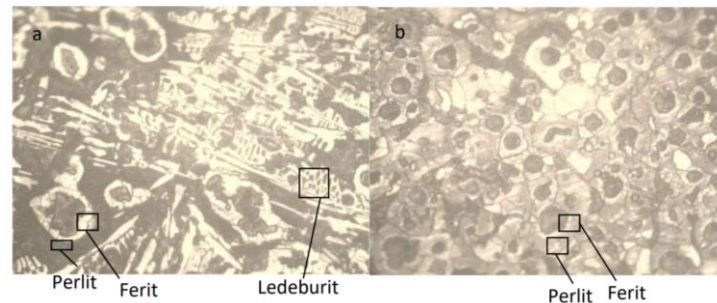
Pengamatan grafit dan struktur mikro dilakukan pada sampel dengan kedua metode perlakuan inokulasi. Pengamatan ini dilakukan untuk mengetahui bentuk, ukuran, dan penyebaran matrik penyusunnya agar struktur mikro disekitar grafit menjadi lebih jelas. Analisa bentuk grafit dan struktur mikro sebelum dan sesudah perlakuan etsa ditunjukkan pada Gambar 3. Gambar 3 yang disajikan merupakan hasil pengujian metalografi dengan perbesaran 100x.

Pembulatan grafit dapat terjadi karena adanya kandungan magnesium (Mg) pada logam cair. Pembulatan grafit pada perlakuan inokulasi *non streaming* terlihat tidak begitu jelas. Hal ini ditandai dengan adanya potongan yang tidak sempurna dan grafit lainnya tidak berbentuk bulat. Grafit yang terbentuk yakni grafit V, sedangkan pada perlakuan inokulasi *streaming* terlihat grafit dengan bentuk VI. Ketidaktepatan proses pembentukan grafit perlakuan inokulasi *non streaming* terjadi karena pembekuan cairan yang terlalu cepat mendahului proses pembentukan

grafit. Di samping itu, peningkatan kandungan Magnesium pada perlakuan streaming mengakibatkan grafit yang dihasilkan berbentuk bulat, cenderung mengecil dan seragam. Bentuk grafit bulat menunjukkan bahwa telah cukup unsur magnesium (Mg) yang terkandung di dalam paduan besi cor nodular [9].



Gambar 3. Analisis bentuk grafit sebelum etsa, 1) metode inokulasi *non streaming*, 2) metode inokulasi *streaming*



Gambar 3. Analisis bentuk grafit sebelum etsa, a) metode inokulasi *non streaming*, b) metode inokulasi *streaming*

Pengamatan hasil uji struktur mikro setelah dilakukan etsa ditunjukkan pada Gambar 4. Hasil uji metalografi memperlihatkan dengan jelas adanya fasa-fasa dalam besi cor nodular yaitu perlit dan ferit. Fasa ferit ditunjukkan pada daerah yang terang, sedangkan fasa perlit pada daerah yang gelap. Struktur mikro metode perlakuan *non streaming* terlihat heterogen, secara keseluruhan bentuk grafitnya berbeda dan tidak beraturan. Sedangkan, pada metode *streaming* secara keseluruhan bentuk grafitnya homogen. Pembulatan grafit nodular terlihat jelas dan lebih banyak dengan ditambahkan proses inokulasi *streaming*.

Perhitungan fasa dilakukan terhadap kedua struktur mikro dengan kedua metode inokulasi. Perhitungan dilakukan untuk mengetahui fasa ferit dan perlit pada produk Flange 32A. Berdasarkan hasil perhitungan, fasa perlit dan fasa ferit pada perlakuan inokulasi *non streaming* dan *streaming* berturut turut 57,5% dan 42,5% untuk perlakuan *non streaming* dan 50,75% dan 49,25% untuk perlakuan *streaming*. Persebaran perlit yang lebih besar pada metode inokulasi *non streaming* menyebabkan kekerasan produk yang lebih tinggi dan hal ini dapat dilihat pada nilai kekerasan produk *non streaming*, nilai kekerasan di atas standar yang telah ditentukan.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa yang telah dilakukan dalam penelitian ini, maka diperoleh kesimpulan:

1. Metode penambahan inokulasi *streaming* menghasilkan nilai kekerasan yang memasuki range standart FCD 450 (JIS G5502 (79-96) HRB). Nilai kekerasan dari inokulasi *streaming* menghasilkan 93-96 HRB, sedangkan metode inokulasi *non streaming* memiliki nilai kekerasan sebesar 113 -118 HRB.

2. Pembentukan inti grafit nodular dihasilkan lebih banyak dari proses inoculasi *streaming*. Bentuk grafit yang dihasilkan yaitu grafit bulat dengan bentuk VI. Fasa perlit yang dihasilkan sebesar 50,75 lebih rendah dari pada inoculasi *non streaming* yaitu sebesar 57,5.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada mitra industri yang telah menjadi mitra dalam menyelesaikan penelitian ini. Penulis juga mengucapkan terimakasih kepada rekan-rekan pengajar di Politeknik Manufaktur Ceper yang berkenan untuk sharing ilmu dan pengalamannya sehingga dapat diselesaikan tulisan ini.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. R. Brown, “Foseco Ferrous Foundryman ’ s Handbook Foseco Ferrous Foundryman ’ s Handbook Edited by,” pp. 1–352, 2000.
- [2] W. Maschke and M. Jonuleit, *Inoculation of cast iron*, vol. 124, no. 9. 1996.
- [3] 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.
- [4] M. Koch and K. Soulas, “Inoculation of Grey and Ductile Iron,” in *International Ankiros Foundry Congress*, 2013, vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699.
- [5] A. Nugroho, “Pengaruh Inokulasi Mangan Pada Besi Cor Kelabu Terhadap Kekuatan Tarik,” 2016.
- [6] Soedihono, “Pencegahan Pembekuan Putih Pada Besi Cor Kelabu Fc-250,” *STEMAN*, pp. 1–6, 2012.
- [7] N. Shashikantha, V. Reddy, and T. N. Raju, “Effect of Inoculants on Grey Cast Iron,” *Int. Res. J. Eng. Technol.*, vol. 4, no. 9, pp. 171–174, 2017, [Online]. Available: <https://irjet.net/archives/V4/i9/IRJET-V4I933.pdf>.
- [8] D. Patel, P. Nanavati, and C. Chug, “Effect of Ca and Ba Containing Ferrosilicon Inoculants on Microstructure and Tensile Properties of IS-210, and IS-1862 Cast Irons.,” *Natl. Conf. Emerg. trends Eng. Technol. Manag.*, pp. 1–8, 2013.
- [9] 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.