

**Karakterisasi Material Besi Cor Kelabu Akibat Pengaruh
Fero Silikon (Fe-Si)2% dan Fero Mangan(Fe-Mn)2%
pada Proses Pengecoran dengan Cetakan Logam dan Pasir**



**Disusun Sebagai Salah Satu Syarat Menyelesaikan Program Studi
Strata I Pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik**

Oleh:

Sheliawan Fatahusabilhaq

D 200 160 067

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA
2021**

HALAMAN PERSETUJUAN

**Karakterisasi Material Besi Cor Kelabu Akibat Pengaruh
Fero Silikon (Fe-Si)2% dan Fero Mangan(Fe-Mn)2%
pada Proses Pengecoran dengan Cetakan Logam dan Pasir**

PUBLIKASI ILMIAH

Oleh:

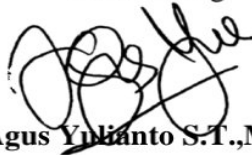
Sheliawan Fatahusabilhaq

D 200 160 067

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh:

Dosen

Pembimbing



Agus Yulianto S.T., M.T.

NIK.0622017101

HALAMAN PENGESAHAN

**Karakterisasi Material Besi Cor Kelabu Akibat Pengaruh
Fero Silikon (Fe-Si)2% dan Fero Mangan(Fe-Mn)2%
pada Proses Pengecoran dengan Cetakan Logam dan Pasir**

OLEH

Sheliawan Fatahusabilhaq

D 200 160 067

**Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Surakarta
Pada hari Sabtu, 29 Mei 2021
Dan dinyatakan telah memenuhi syarat**

Dewan Penguji:

- 1. Agus Yulianto S.T.,M.T.**
(Ketua Dewan Penguji)
- 2. Bambang Waluyo F S.T.,M.T.**
(Anggota I Dewan Penguji)
- 3. Pramuko Ilmu Purboputro,Ir.MT.**
(Anggota II Dewan Penguji)

(.....)

(.....)

(.....)



Dekan Fakultas Teknik

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

NIK/NIDN: 0603027401

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 diatas, maka akan saya pertanggung jawabkan sepenuhnya.

Surakarta, 21 Juni 2021

Penulis



Sheliawan Fatahusabilhaq

D 200 160 067

Karakterisasi Material Besi Cor Kelabu Akibat Pengaruh Fero Silikon (Fe-Si)2% dan Fero Mangan(Fe-Mn)2% pada Proses Pengecoran dengan Cetakan Logam dan Pasir

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakterisasi material besi cor kelabu akibat pengaruh Fero Silikon (Fe-Si) 2% dan Fero Mangan (Fe-Mn) 2% pada proses Pengecoran dengan Cetakan Logam dan Pasir. Pembuatan spesimen dari bahan material besi cor kelabu proses pembuatan spesimen menggunakan pengecoran metode *sand casting* dan *iron casting*. Dari hasil pengujian kekerasan didapatkan hasil pengujian kekerasan dengan cetakan logam bagian atas sebesar 200 BHN. Kemudian pada cetakan logam bagian tengah sebesar 218 BHN. Lalu untuk cetakan logam bagian bawah sebesar 232 BHN. Sedangkan nilai kekerasan material pada cetakan peralihan bagian atas sebesar 173 BHN. Untuk cetakan peralihan bagian tengah sebesar 214 BHN. Dan cetakan peralihan bagian bawah sebesar 227 BHN. Kemudian pada cetakan pasir bagian atas sebesar 197 BHN. Lalu untuk cetakan pasir bagian tengah sebesar 212 BHN. Dan cetakan pasir bagian bawah sebesar 226 BHN. Dari hasil pengujian kekerasan dari penambahan Fero Silikon (Fe-Si) 2% dan Fero Mangan (Fe-Mn) 2% didapatkan nilai paling tinggi pada cetakan logam bagian bawah dengan nilai kekerasan 232 BHN.

Kata kunci: besi cor kelabu, *sand casting*, *iron casting*, dan pengujian kekerasan.

Abstract

This study aims to determine the characterization of gray cast iron material due to the influence of Silicon Fero (Fe-Si) 2% and Fero Manganese (Fe-Mn) 2% in the casting process with Metal and Sand Molds. Making specimens from cast iron material gray specimen making process using casting method sand casting and iron casting. From the hardness test results obtained the results of hardness testing with a top metal mold of 200 BHN. Then on the middle metal mold of 218 BHN. Then for the bottom metal mold of 232 BHN. While the value of material hardness in the upper transition mold is 173 BHN. For the middle transition mold is 214 BHN. And the bottom transition mold is 227 BHN. Then on the upper sand mold of 197 BHN. Then for the middle sand mold of 212 BHN. And the bottom sand mold is 226 BHN. From the hardness test results from the addition of Silicon Fero (Fe-Si) 2% and Fero Manganese (Fe-Mn) 2% obtained the highest value in the lower metal mold with a hardness value of 232 BHN.

Keywords: gray cast iron, sand casting, iron casting, and hardness testing.

1. PENDAHULUAN

Besi cor (Cast Iron) adalah paduan besi yang mengandung karbon, silisium, mangan, fosfor dan belerang. Besi cor ini digolongkan menjadi: besi cor kelabu, besi cor kelas tinggi, besi cor kelabu paduan, besi cor bergrafit bulat, besi cor mampu tempa dan besi cor cil. Besi cor merupakan salah satu

material yang paling banyak digunakan dalam industri logam baik di gunakan sebagai bahan dasar seperti komponen-komponen kendaraan bermotor, pump casing, sistem perpindahan maupun dalam komponen generator, dan sifatnya yang tahan terhadap gesekan, besi cor kelabu banyak digunakan untuk bagian dudukan atau luncuran bagian mesin yang bergerak (Umardani & Rizal Nurferdian, 2009).

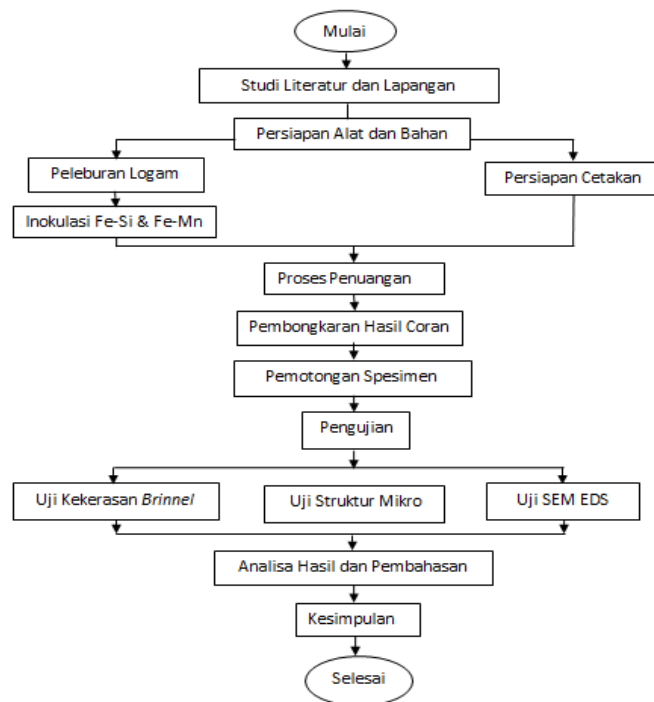
Besi cor kelabu atau gray cast iron merupakan paduan dari besi dan karbon seperti halnya baja. Material ini merupakan salah satu material teknik yang banyak digunakan, hal ini disebabkan oleh kemudahan proses pembuatan, mampu dibuat secara masal, dan biaya produksi yang kompetitif, meskipun banyak menawarkan keuntungan, tetapi terdapat beberapa kekurangan yaitu sifat keliatan dan ketangguhan tidak setinggi baja (Surdia, 2005).

Penambahan bahan silicon (Si) pada besi cor kelabu menimbulkan terjadinya disperse grafit menjadi lebih kecil dan lebih merata serta menjadikan besi cor kelabu lebih keras (Ekaputra et al., 2019). Penambahan bahan Mangan (Mn) pada besi cor kelabu memiliki kapasitas redaman yang tinggi karena adanya austenit (fasa γ) dan martensit (fasa ϵ) pada suhu kamar. kapasitas redaman harus bergantung pada kepadatan sesar dan fraksi volume martensit pada penelitian sebelumnya (Sun et al., 2019).

Peleburan logam merupakan solusi yang kompleks untuk menghasilkan komponen yang berkualitas tinggi dan untuk meminimalkan masalah yang mungkin terjadi karena adanya unsur yang tidak sesuai dari segi pandang industri bahan dapat dipadukan untuk mencapai sifat yang baik (Srivastava et al., 2019).

2. METODE

2.1 Diagram Alir Penelitian



2.2 Alat dan Bahan Penelitian

2.2.1 Alat Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- | | |
|---------------------|--------------------------------------|
| 1. Cetakan | 10. Cetakan kayu |
| 2. Tungku Peleburan | 11. Gerinda potong. |
| 3. Kowi | 12. Kertas amplas. |
| 4. Ladel tuang | 13. Kain Poles |
| 5. Kompor | 14. Alat uji kekerasan brinell. |
| 6. Cobek | 15. Alat uji struktur mikro |
| 7. Sekop Kecil | 16. Alat uji foto mikrostruktur (SEM |
| 8. Kayu Penumbuk | EDS). |
| 9. Cetakan Spreu | |

2.2.2 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- | | |
|----------------------|-----------------|
| 1. Besi Cor Kelabu | 4. Mangan (Mn) |
| 2. Resin Coated Sand | 5. Silicon (Si) |
| 3. Serbuk Batu Kapur | 6. Pasir Cetak |

2.3 Rancangan Penelitian

Penelitian dilakukan dengan membuat spesimen dengan proses pengecoran, kemudian mengambil sebagian spesimen untuk diuji dan untuk pengambilan data. Sebelum pembuatan produk, terlebih dahulu dilakukan perancangan produk 2D dan 3D menggunakan aplikasi *Solidworks* dengan satuan millimeter (mm).

2.4 Proses Penelitian

2.4.1 Proses Pengecoran

1. Mempersiapkan Alat dan Bahan
2. Melakukan Peleburan Besi Cor Kelabu
3. Menghaluskan FeSi dan FeMn agar halus
4. Mempersiapkan Cetakan Logam dan Cetakan Pasir
5. Melakukan Inokulasi FeSi dan FeMn dengan Logam Cair pada Ladel
6. Menuangkan Logam Cair Pada Cetakan
7. Melakukan Pembongkaran Hasil Coran

2.4.2 Pengujian Kekerasan Brinell

Langkah-langkah pengujian kekerasan brinell sebagai berikut:

1. Menghaluskan permukaan benda uji menggunakan amplas dengan kekasaran dari 100Cw, 400 Cw, 600 Cw, 800 Cw dan 1000 Cw agar permukaan benda uji menjadi rata dan sejajar
2. Setelah proses pengamplasan selesai, benda uji dibersihkan dengan digosok memakai autosol hingga benar-benar bersih.
3. Setelah itu alat uji di siapkan dan posisikan spesimen uji tegak lurus terhadap indenter agar pembebanan yang di berikan dapat maksimal.
4. Menentukan beban penekanan (dalam penelitian ini pembebanannya 187kgf) dan syarat batas bekas injakan bola indenter (dari perhitungan diperoleh $d_{min} = 0,625\text{mm}$ dan $d_{maks} = 1,25\text{mm}$).
5. Lakukan penekanan indenter ke permukaan benda uji dengan cara memutar handel penekanan, kemudian tunggu.

6. Putar handel penekan ke arah sebaliknya untuk menghilangkan pembebanan dan lakukan kembali pada permukaan yang berbeda.
7. Ambil dan amati bekas lekukan injakan indenter pada spesimen uji menggunakan mikroskop.
8. Pengujian kekerasan dilakukan pada daerah yang berbeda di setiap spesimen.

2.4.3 Pengujian Struktur Mikro

1. Sama seperti pada uji kekerasan, pertama adalah menghaluskan permukaan benda uji menggunakan amplas dengan kekasaran dari 100Cw, 400 Cw, 600 Cw, 800 Cw, 1000 Cw, dan 1200 Cw agar permukaan benda uji menjadi rata dan sejajar dilanjutkan dengan pembersihan menggunakan autosol.
2. Kemudian, menetsa benda uji dengan larutan NaOH lalu diamkan selama kurang lebih 1 menit.
3. Setelah itu, membersihkan bahan uji dengan alkohol agar kembali netral dari bahan etsa lalu cuci dengan aquades kemudian keringkan.
4. Mengamati permukaan benda uji yang telah di etsa dengan menggunakan mikroskop, lalu lakukan pengambilan gambar dan analisa.
5. Melakukan langkah seperti di atas untuk benda uji yang lain yang memiliki kondisi yang berbeda-beda. Gambar 3.34 Mikroskop Alat Uji Struktur Mikro.

2.4.4 Pengujian SEM-EDS

1. Mempersiapkan alat dan bahan.
2. Meratakan permukaan spesimen dengan menggunakan gerinda.
3. Berikutnya dilakukan proses pengamplasan dengan kertas amplas nomer 100, 400, 600 dan 1000.
4. Kemudian diberi autosol dan digosok dengan menggunakan kain supaya mendapatkan hasil yang maksimal.
5. Melakukan pengamatan struktur mikro dengan menggunakan mikroskop optik dengan pembesaran lensa 2000x.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

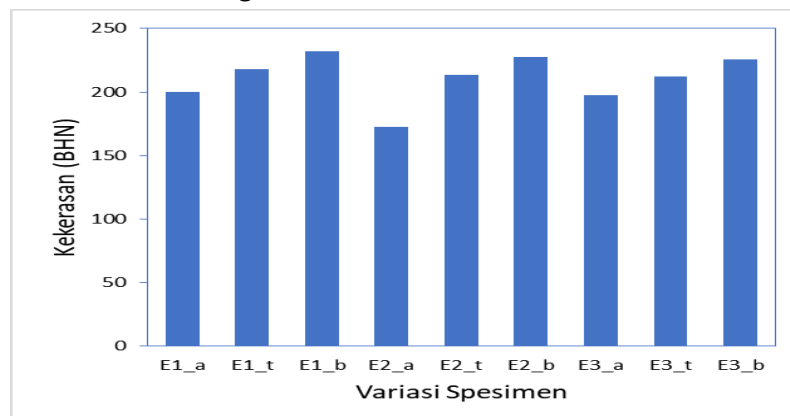
3.1 Hasil Pengujian Kekerasan Brinell

Penelitian ini menggunakan metode pengujian kekerasan Brinell dengan diameter bola indentor 2,5 mm dengan pembebanan 187,5 kgf. Dilakukan pada material besi cor kelabu dengan paduan Fero Silikon (Fe-Si) 2% dan Fero Mangan (Fe-Mn) 2%.

Tabel 1. Hasil Uji Kekerasan *Brinell*

No	spesimen	Uji 1	Uji 2	Uji 3	Kekerasan (BHN)			Kekerasan rata-rata (BHN)
		D ₁ (mm)	D ₂ (mm)	D ₃ (mm)	Uji 1	Uji 2	Uji 3	
1	E1_a	1.07	1.07	1.06	199	199	203	200
2	E1_t	1.02	1.03	1.02	220	215	220	218
3	E1_b	1.00	0.99	0.99	229	234	243	232
4	E2_a	1.14	1.15	1.14	174	170	174	173
5	E2_t	1.04	1.03	1.03	211	215	215	214
6	E2_b	1.00	1.01	1.00	229	224	229	227
7	E3_a	1.07	1.07	1.08	199	199	195	197
8	E3_t	1.03	1.04	1.04	215	211	211	212
9	E3_b	1.01	1.00	1.01	224	229	224	226

Keterangan
 E: FeSi 2% + FeMn 2%
 1: Cetakan logam
 2: Cetakan peralihan antara logam dan pasir
 3: Cetakan pasir
 a: Bagian atas
 t: Bagian tengah
 b: Bagian bawah



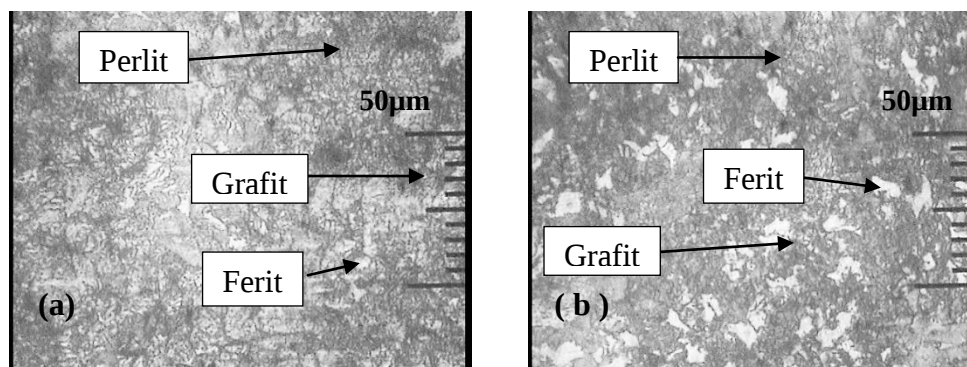
Gambar 2. Diagram Hasil Pengujian pengujian Brinell dengan paduan Fero Silikon (Fe-Si) 2% dan Fero Mangan (Fe-Mn) 2%.

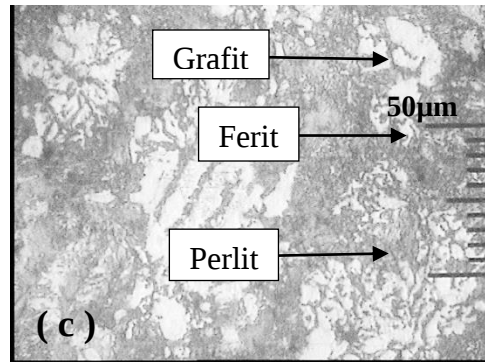
Dari hasil pengujian kekerasan brinell menunjukkan bahwa nilai rata-rata kekerasan material besi cor kelabu dengan paduan Fero Silikon (Fe-Si) 2% dan Fero Mangan (Fe-Mn) 2% diketahui bahwa semakin bawah bagian benda uji semakin tinggi kekerasannya. Peningkatan kekerasan tersebut terjadi karena proses pendinginan bagian bawah benda uji lebih cepat dibandingkan dengan bagian tengah atau atas.

Nilai kekerasan rata-rata dari material benda uji tertinggi terjadi pada cetakan logam. Dengan nilai kekerasan rata-rata pada cetakan logam bagian atas sebesar 200 BHN. Kemudian terjadi peningkatan pada cetakan logam bagian tengah sebesar 218 BHN. Lalu untuk peningkatan tertinggi terjadi pada cetakan logam bagian bawah sebesar 232 BHN. Sedangkan nilai kekerasan rata-rata material benda uji dengan cetakan peralihan bagian atas sebesar 173 BHN. Dan terjadi peningkatan lagi di cetakan peralihan bagian tengah sebesar 214 BHN. Lalu terjadi peningkatan tertinggi pada cetakan peralihan bagian bawah sebesar 227 BHN. Nilai kekerasan rata-rata dari cetakan pasir bagian atas sebesar 197 BHN. Lalu terjadi peningkatan kekerasan untuk cetakan pasir bagian tengah sebesar 212 BHN. Dan peningkatan tertinggi pada cetakan pasir bagian bawah sebesar 226 BHN.

3.2 Hasil Pengujian Struktur Mikro

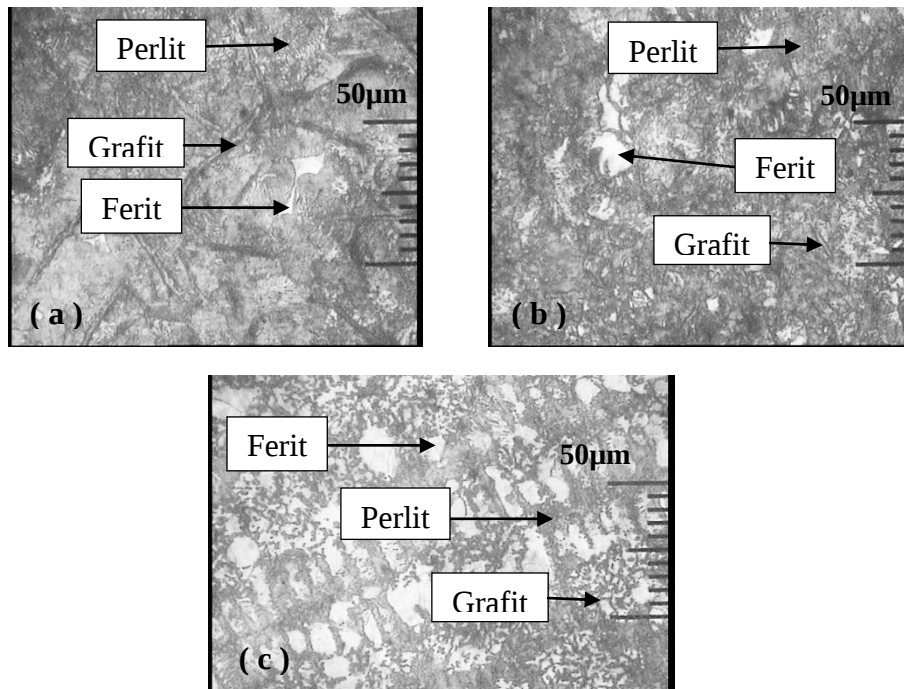
Pengujian struktur mikro bertujuan untuk mengamati bentuk, ukuran, dan penyebaran butiran pada specimen besi cor kelabu setelah proses peleburan besi cor kelabu dengan inokulasi Si 2% dan Mn 2% dengan cetakan logam, cetakan pasir, dan peralihan cetakan logam dan pasir. Foto struktur mikro dengan menggunakan pembesaran 200x. Berikut merupakan Foto Struktur Mikro Cetakan Logam :





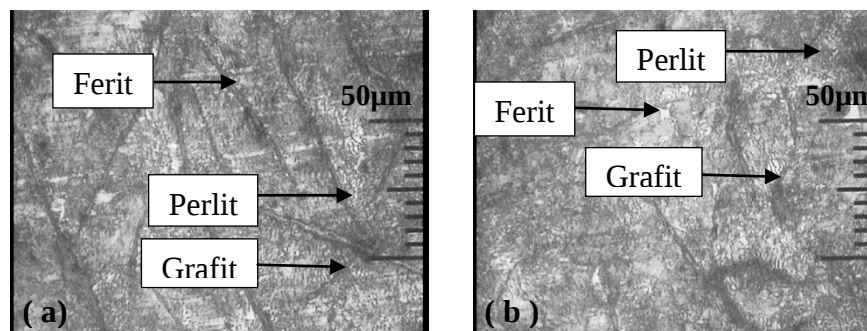
Gambar 3. Foto Struktur Mikro Cetakan Logam (a) Bagian Atas (b) Bagian Tengah (c) Bagian Bawah.

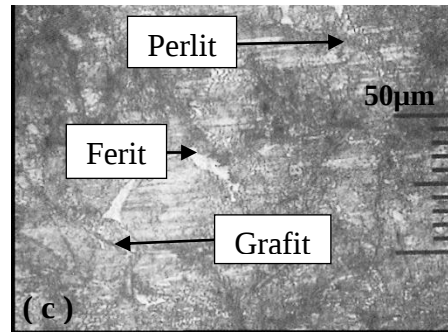
Foto stuktur Mikro Cetakan Peralihan :



Gambar 4. Foto Struktur Mikro Cetakan Peralihan (a) Bagian Atas (b) Bagian Tengah (c) Bagian Bawah.

Foto Struktur Mikro Cetakan Pasir :



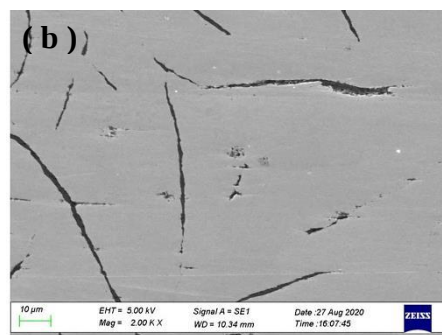
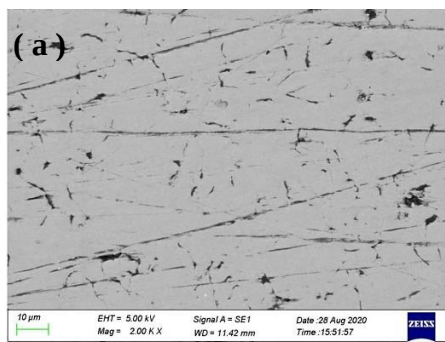


Gambar 5. Foto Struktur Mikro Cetakan Pasir (a) Bagian Atas (b) Bagian Tengah (c) Bagian Bawah.

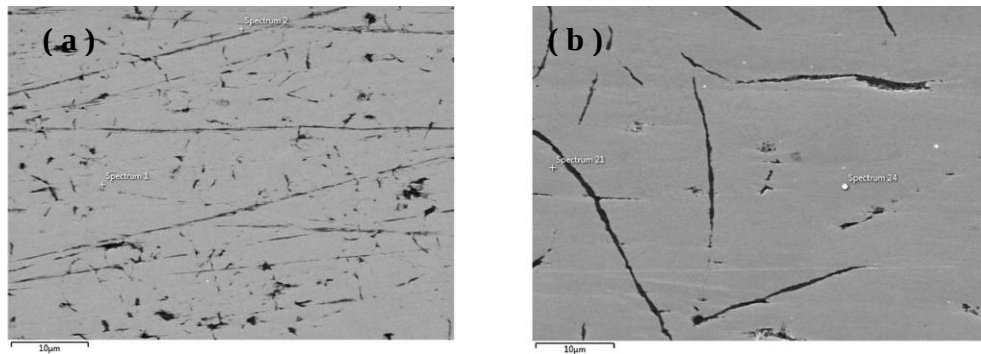
Dari hasil pengujian struktur mikro pada besi cor kelabu dengan inokulasi Ferro Silikon (Fe-Si) 2% dan Ferro Mangan (Fe-Mn) 2% dari semua cetakan dapat dilihat bahwa butiran ferit semakin kebawah semakin besar. Hal ini dikarenakan semakin kebawah pendinginan pada spesimen semakin cepat. Selain itu celah atau kerapatan butiran pada besi cor kelabu dengan inokulasi Ferro Silikon (Fe-Si) 2% dan Ferro Mangan (Fe-Mn) 2% cetakan logam lebih baik dibandingkan cetakan pasir. Masalah tersebut dikarenakan cetakan logam mempunyai kerapatan yang lebih baik daripada cetakan pasir. Yaitu lebih meminimalisir udara yang masuk. Sedangkan pada cetakan pasir memiliki kerapatan yang lebih rendah dibandingkan dengan cetakan logam, sehingga udara yang masuk lebih besar dan menyebabkan celah atau retakan pada spesimen yang lebih besar dibandingkan cetakan logam.

3.3 Hasil pengujian SEM-EDS

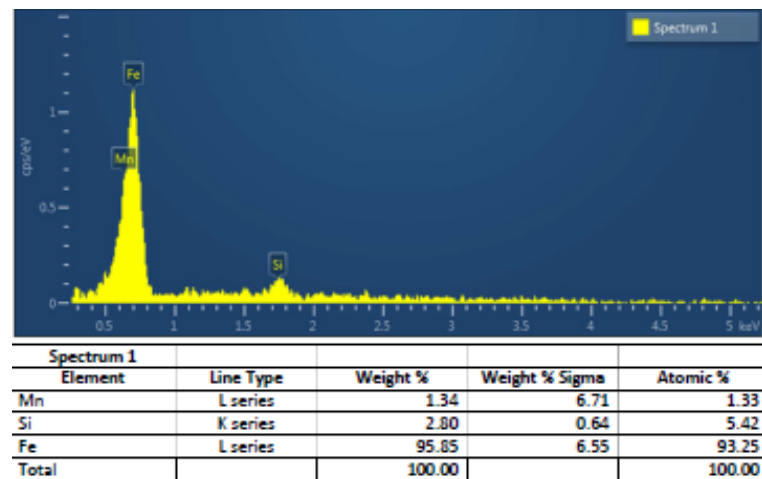
Pengujian SEM bertujuan untuk melihat topografi dari permukaan spesimen serta menggunakan SEM dan mengenali jenis atom di permukaannya dengan teknologi EDS. Pengamatan dilakukan pada besi cor dengan inokulasi Si 2% + Mn 2% dengan cetakan logam dan cetakan pasir.



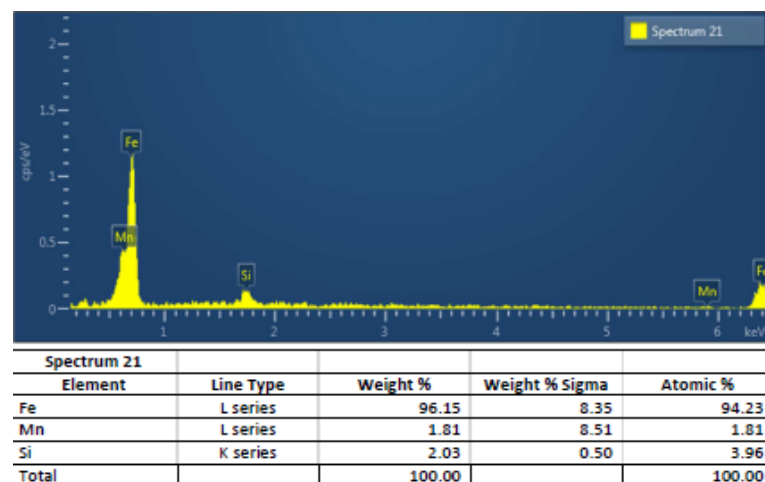
Gambar 6. Foto SEM Pembesaran 2000x (a) Cetakan logam (b) Cetakan Pasir
Titik Pengujian EDS :



Gamabr 7. Titik Pengujian EDS (a) Cetakan logam (b) Cetakan Pasir



Gambar 8. Grafik dan Hasil Pengujian EDS Cetakan Logam



Gambar 9. Grafik dan Hasil Pengujian EDS Cetakan pasir.

Dari hasil pengamatan pengujian SEM besi cor kelabu dengan inokulasi Fero Silikon (Fe-Si) 2% dan Fero Mangan (Fe-Mn) 2% pada cetakan logam dan pasir, didapatkan hasil bahwa pada cetakan pasir terdapat lebih besar celah atau retakan dibandingkan pada cetakan logam. Hal ini dikarenakan pada cetakan pasir kerapatannya lebih rendah dibandingkan cetakan logam. Sehingga pada cetakan pasir lebih banyak udara yang masuk, yang menyebabkan celah atau retakan pada spesimen.

Dari hasil pengujian EDS tersebut komposisi dengan jumlah atom pada cetakan logam terdapat Fero Silikon (Fe-Si) 2,80% dan Fero Mangan (Fe-Mn) 1,34%. lalu pada cetakan pasir didapatkan hasil Fero Silikon (Fe-Si) 2,03% dan Fero Mangan (Fe-Mn) 1,81%. Jumlah penyebaran Fero Silikon (Fe-Si) dan Fero Mangan (Fe-Mn) juga tidak terlalu jauh dari kedua cetakan. Hal ini disebabkan karena pada kedua benda uji menggunakan bahan dasar yang sama yaitu besi cor kelabu dan dengan campuran yang sama pula yaitu Fero Silikon (Fe-Si) 2% dan Fero Mangan (Fe-Mn) 2% serta dilakukan dalam proses yang sama yaitu dalam sekali proses pencetakan.

4. PENUTUP

4.1 Kesimpulan

1. Dari hasil pengujian kekerasan harga kekerasan material setelah dilakukan penambahan Fero Silikon (Fe-Si) 2% dan Fero Mangan (Fe-Mn) 2%, mangan berfungsi untuk menetralsir sulfur pada besi cor kelabu sedangkan silicon menyebabkan dispersi grafit lebih merata sehingga pada cetakan logam nilai kekerasannya 232BHN sedangkan pada cetakan pasir nilai kekerasannya 226 BHN.
2. Berdasarkan hasil pengujian struktur mikro, didapatkan hasil gambar dengan grafite yang lebih merata pada cetakan logam bagian bawah.
3. Berdasarkan hasil pengujian SEM EDS, didapatkan hasil Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy dengan spesifikasi kadungan unsur Fe-Si 2.80% dan Fe-Mn 1.34% pada cetakan logam, serta Fe-Si 2.03% dan Fe-Mn 1.81% pada cetakan pasir

DAFTAR PUSTAKA

- Agunsoye, J. O., Ochulor, E. F., Talabi, S. I., & Olatunji, S. (2012). Effect of manganese additions and wear parameter on the tribological behaviour of NFGrey (8) cast iron. *Tribology in Industry*, 34(4), 239–246.
- Avner, S. H. (1974). *Introduction To Physical Metallurgy Second Edition*. <http://www.vitamenggcollege.com/uploads/images/MMS.pdf>
- Bayuseno, A. P. (2010). Penambahan Magnesium-Ferrosilikon Evaluasi Terhadap Peningkatan Sifat Mekanik Dan Impak. *Jurnal Rotasi, Universitas Diponegoro*, 12, 43–50.
- Dana, S. (2016). *Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember*. *Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember*.
- Daryanto, T., & Hidayat, M. (2020). Perbaikan Teknik Relining Tanur Induksi Untuk Mencegah Terbentuknya Rongga Lining dan Penghematan Biaya Proses Peleburan. 1(2), 72–81.
- Ekaputra, I. M. W., Litaay, A. A. I., & Setyahandana, B. (2019). Pengaruh Komposisi 2.9% dan 3.8% Si terhadap Kekuatan Lelah Besi Cor Kelabu. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 10(3), 227–234. <https://doi.org/10.21776/ub.jrm.2019.010.03.3>
- Febrina, L., & Ayuna, A. (2015). UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH JAKARTA STUDI PENURUNAN KADAR BESI (FE) DAN MANGAN (MN) DALAM AIR TANAH MENGGUNAKAN SARINGAN KERAMIK. In *Januari* (Vol. 7, Issue 1). <https://doi.org/10.24853/jurtek.7.1.35-44>
- Fraś, E., & Górny, M. (2012). Inoculation Effects of Cast Iron. *Archives of Foundry Engineering*, 12(4), 39–46. <https://doi.org/10.2478/v10266-012-0104-z>
- Herman Pollack, by W. (1995). *Materials Science And Metallurgy*. In *Amazon.com: Materials Science and Metallurgy*. <http://www.sciepub.com/journal/msme>.
- Nugroho, P. J., Teknik, J., Fakultas, M., & Surakarta, U. M. (2015). *Naskah publikasi tugas akhir pengaruh waktu kecepatan pendinginan pada besi cor inokulasi whisker terhadap struktur mikro dan sifat mekanis*.

- Rao, T. V. (2003). *Metal Casting: Principles and Practice*. New Age International.
- Rosyidin, A. (2019). Proses Pembuatan Alat Pembuka Kaleng Cat Dengan Metode Cetak Pasir (Sand Casting). *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.
- Setyana, L. D. (2015). Jurnal Material Teknologi Proses. *Studi Ukuran Grafit Besi Cor Kelabu Terhadap Laju Keausan Pada Produk Blok Rem Metalik Kereta Api*, 1(1), 17–21.
- Srivastava, R., Singh, B., & Saxena, K. K. (2019). Influence of S and Mn on mechanical properties and microstructure of grey cast iron: An overview. *Materials Today: Proceedings*, 26, 2770–2775. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.02.577>
- Suhadi, A., & Seodihono. (2014). *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*. 16(2), 40–48.
- Sun, H., Giron-Palomares, B., Qu, W., Chen, G., & Wang, H. (2019). Effects of Cr addition and cold pre-deformation on the mechanical properties, damping capacity, and corrosion behavior of Fe–17%Mn alloys. *Journal of Alloys and Compounds*, 803, 250–259. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2019.06.178>
- Suprihanto, A., Satrijo, D., & Suratman, R. (2007). *PENGARUH PENAMBAHAN UNSUR Cr DAN Cu TERHADAP KEKUATAN TARIK BESI COR KELABU FC20 1* (Vol. 9).
- SURDIA, T. (2005). *Pengetahuan bahan teknik*. Pradnya Paramita.
- Umardani, Y., & Rizal Nurferdian, T. (2009). *PENGARUH PENAMBAHAN KANDUNGAN SILIKON PADA BESI COR KELABU DENGAN METODE FLUIDITAS STRIP MOULD TERHADAP SIFAT MEKANIS DAN STRUKTUR MIKRO. PENGARUH PENAMBAHAN KANDUNGAN SILIKON PADA BESI COR KELABU DENGAN METODE FLUIDITAS STRIP MOULD TERHADAP SIFAT MEKANIS DAN STRUKTUR MIKRO*, 11(3), 5–12. <https://doi.org/10.14710/rotasi.11.3.5-12>
- Voronkov, M. G. (2007). Silicon era. In *Russian Journal of Applied Chemistry*

(Vol. 80, Issue 12, pp. 2190–2196).
<https://doi.org/10.1134/S1070427207120397>

Yulianto, A. (2012). *Rekayasa besi cor cil sebagai dasar pembuatan cylperb*. 29–34.