

**PENGARUH VARIASI 2,466% WT SI, 3,067% WT SI, 2,981% WT SI, DAN 3,304%
WT SI TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN KEKERASAN
PRODUK BANDUL TIMBANGAN**

**Farrel Rino Alifta Sutopo; Dr. Agus Yulianto, S.T., M.T.
Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Surakarta**

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh inokulasi Fe-Si terhadap komposisi kimia, struktur mikro, dan kekerasan besi cor kelabu produk bandul timbangan. Dimana pada penelitian ini unsur silikon ditambahkan pada proses pengecoran, unsur silikon yang ditambahkan pada produk bandul timbangan bervariasi yaitu 100 gr, 150 gr, dan 200 gr silikon. Pengujian komposisi kimia dilakukan untuk mengetahui unsur kimia yang terkandung didalam besi cor kelabu, pengujian komposisi kimia menggunakan alat uji *spectrometer* dengan standar pengujian ASTM E415. Pengujian metalografi dilakukan untuk mengetahui struktur mikro dan komposisi kimia fasa pada besi cor kelabu, pengujian menggunakan metode SEM-EDS (*Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-ray Spectroscopy*) dengan standar pengujian ASTM E986. Dan Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui ketahanan suatu material terhadap deformasi plastis pada permukaan material, pengujian kekerasan menggunakan metode *Rockwell* dengan standar pengujian ASTM E18. Hasil pengujian menunjukkan bahwa semakin tinggi presentase silikon yang ada pada material menyebabkan fasa grafit yang terbentuk pada material semakin banyak, karena silikon merupakan unsur pembentuk grafit. Semakin banyaknya fasa grafit yang terbentuk pada material menyebabkan kekerasan pada material menurun. Nilai kekerasan rata-rata tertinggi pada material besi cor kelabu dengan 2,466% berat silikon, yaitu sebesar 89,2 HRB. Sedangkan nilai kekerasan rata-rata terendah terdapat pada material besi cor kelabu dengan 3,304% berat silikon, yaitu sebesar 84,9 HRB.

Kata kunci :Bandul Timbangan, Besi Cor kelabu, Inokulasi Fe-Si, Pengujian Komposisi kimia, Pengujian metalografi, Pengujian Kekerasan Rokcwell

Abstract

*This research aims to determine the effect of Fe-Si inoculation on the chemical composition, microstructure, and hardness of gray iron castings in the production of scale weights. In this study, silicon is added during the casting process, and the added silicon in the scale weight products varies, namely 100 grams, 150 grams, and 200 grams of silicon. Chemical composition testing is conducted to identify the chemical elements contained in gray iron using a spectrometer with ASTM E415 testing standards. Metallographic testing is carried out to determine the microstructure and chemical composition of phases in gray iron castings, using the SEM-EDS (*Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-ray Spectroscopy*) method with ASTM E986 testing standards. Hardness testing is performed to assess the material's resistance to plastic deformation on the material surface, using the Rockwell method with ASTM E18 testing standards.*

The test results indicate that the higher the percentage of silicon in the material, the more graphite phase forms in the material, as silicon is a graphite-forming element. The increased formation of graphite phases in the material leads to a decrease in material hardness. The highest average hardness value is found in gray iron with 2.466% silicon by weight, measuring 89.2 HRB. Meanwhile, the lowest average hardness value is observed in gray iron with 3.304% silicon by weight, measuring 84.9 HRB.

Keywords: Scale Weight, Gray Iron, Fe-Si Inoculation, Chemical Composition Testing, Metallographic Testing, Rockwell Hardness Testing.

1. PENDAHULUAN

Pengecoran adalah suatu proses di mana logam padat dileburkan dalam tungku dengan suhu tinggi, kemudian dituangkan ke dalam cetakan dan didiamkan sampai membeku. Besi cor kelabu adalah material yang penting dalam industri manufaktur karena memiliki kekuatan dan kekerasan yang baik. Untuk mencapai sifat-sifat yang diinginkan, struktur mikro dari besi cor kelabu perlu dioptimalkan. Salah satu metode yang digunakan untuk memodifikasi struktur mikro besi cor kelabu adalah inoculasi dengan bahan tambahan seperti Fe-Si.

Inoculasi Fe-Si adalah proses penambahan bahan tambahan ke dalam besi cor kelabu sebelum proses pengecoran. Bahan inoculan tersebut mengandung unsur-unsur seperti silikon (Si) dan besi (Fe) yang dapat mempengaruhi pembentukan struktur mikro dan kekerasan material. Pada umumnya, inoculasi dengan Fe-Si bertujuan untuk membentuk struktur mikro yang lebih kecil dan lebih homogen, yang pada gilirannya dapat sifat mekanik dari besi cor kelabu.

Besi cor adalah material paling banyak digunakan paduan dan inoculasi. Unsur unsur yang sering digunakan sebagai inoculan seperti Ba, Ca, dan Sr, biasanya yang banyak dipakai yaitu *ferro silicon*, *ferro silicon* inoculan yang penting dari besi cor. *ferro silicon* yang mengandung unsur unsur tersebut diperlakukan sebagai kompleks inoculan. (Fraś & Górny, 2012)

Penelitian ini bertujuan untuk menginvestigasi pengaruh variasi komposisi unsur silikon terhadap besi cor kelabu produk bandul timbangan terhadap struktur mikro dan kekerasan besi cor kelabu. Kami akan menganalisis bagaimana variasi jumlah komposisi unsur silikon mempengaruhi pembentukan struktur mikro dan karakteristik kekerasan dari besi cor kelabu.

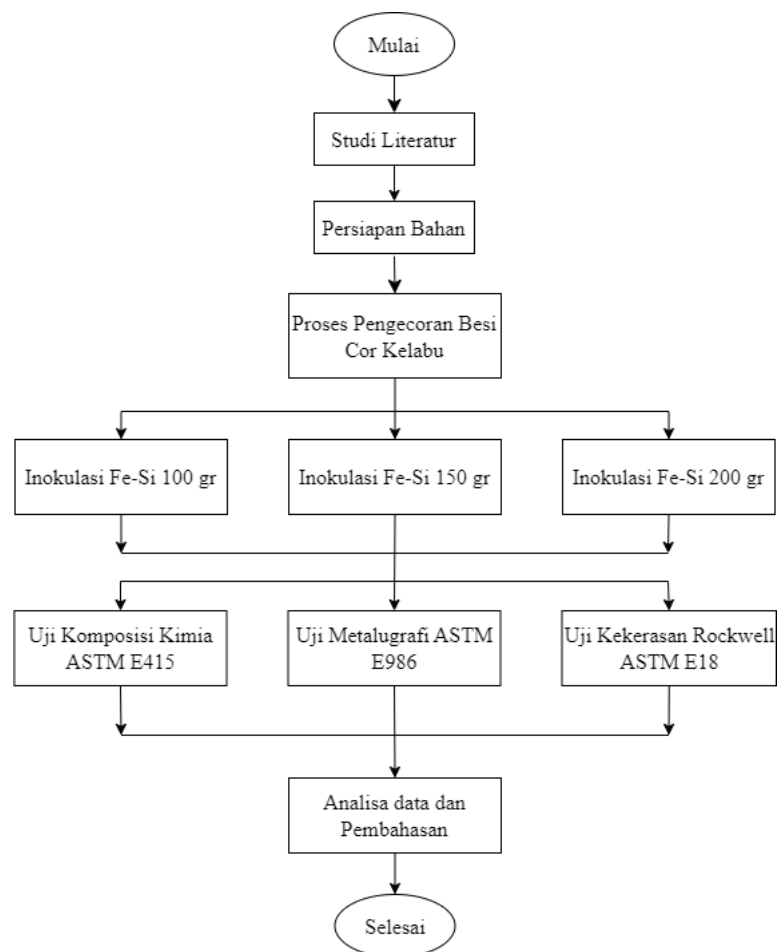
Data yang diperoleh akan dianalisis untuk mengevaluasi pengaruh variasi komposisi unsur silikon terhadap struktur mikro dan kekerasan besi cor kelabu. Informasi ini akan memberikan pemahaman yang lebih baik tentang pengaruh inoculasi Fe-Si dalam modifikasi struktur mikro dan sifat-sifat mekanik besi cor kelabu. Selain itu, penelitian ini juga dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan teknik inoculasi untuk besi cor kelabu dan

pemahaman yang lebih baik tentang hubungan antara struktur mikro dan kekerasan pada material ini. Hal ini akan membantu dalam pengembangan material yang lebih kuat dan lebih tahan terhadap beban dan deformasi untuk aplikasi industri yang lebih luas.

Dalam penelitian yang berjudul “Pengaruh Variasi Pengaruh Variasi 2,466%wt Si, 3,067%wt Si, 2,981%wt Si, Dan 3,304%wt Si Terhadap Struktur Mikro dan Kekerasan Produk Bandul Timbangan” ini, kami akan menjelaskan pengaruh komposisi berat unsur silikon terhadap besi cor kelabu. Tujuannya adalah memberikan pemahaman yang lebih baik tentang pengaruh variasi komposisi unsur silikon terhadap struktur mikro, dan kekerasan besi cor kelabu.

2. METODE

Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimen yang bertujuan mengetahui sebab-akibat. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui perbandingan kandungan unsur komposisi silikon yang ditambahkan pada 12 Kg besi cor kelabu. Adapun prosedur penelitian yang dilakukan maka dapat dilihat pada gambar berikut:



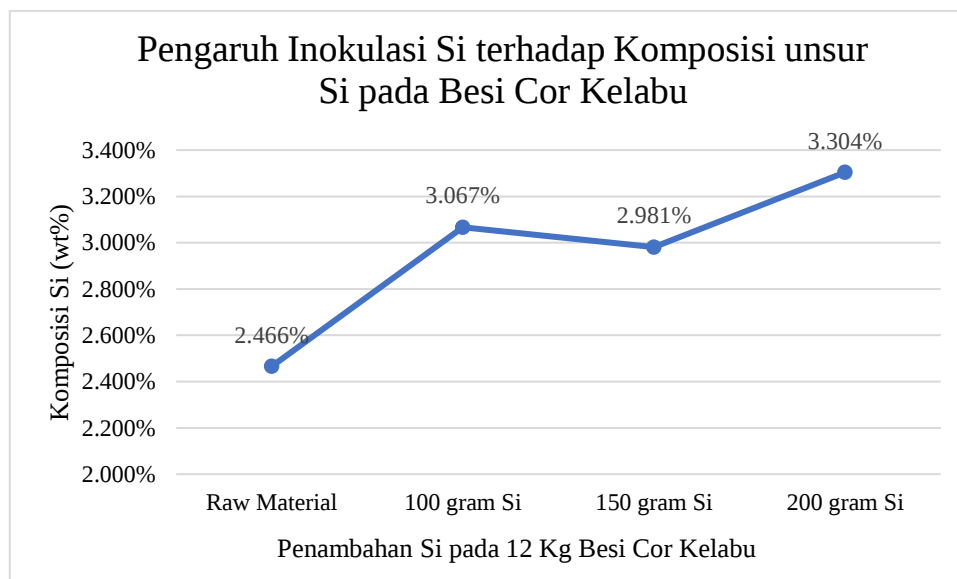
Gambar 1 Diagram Alir

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini akan dilakukan perbandingan spesimen sebelum dilakukan inokulasi Fe-Si dengan spesimen yang sudah dilakukan inokulasi Fe-Si 100 gram, 150 gram, dan 200 gram Silikon pada 12 Kg besi cor kelabu. Sehingga nantinya dapat diketahui perbandingan komposisi unsur silikon yang ada di besi cor kelabu yang sesudah dan sebelum dilakukan inokulasi Fe-Si, Perbandingan perubahan pembentukan grafit dan juga penyebaran grafit pada besi cor kelabu sebelum dan sesudah dilakukan inokulasi Fe-Si dan juga dapat mengetahui pengaruh inokulasi Fe-Si terhadap kekerasan besi cor kelabu.

3.1 Pengujian Komposisi Kimia

Pengujian komposisi kimia ini bertujuan untuk mengetahui presentase kandungan unsur-unsur paduan yang terdapat dalam spesimen uji. Pengujian komposisi kimia dilakukan menggunakan alat uji Spectrometer dengan standar ASTM E 415-08. Hasil uji komposisi kimia dilakukan sebelum dan sesudah penambahan unsur silikon 100, 150 dan 200 gram pada besi cor kelabu 12 kg. Hasil pengujian dapat dilihat pada gambar 2 grafik hasil uji komposisi kimia.



Gambar 2 Grafik Hasil Uji Komposisi Kimia

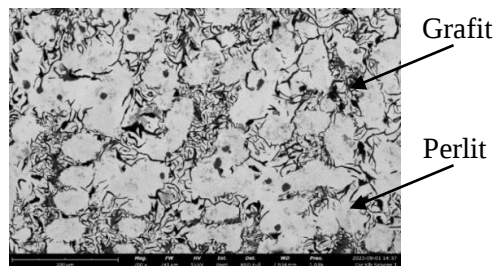
Hasil pengujian menunjukkan bahwa spesimen 1 (raw material) 12 kg Besi Cor Kelabu mengandung komposisi unsur silikon (Si) sebesar 2,466%, pada spesimen 2 dengan penambahan 100 gram silikon kedalam 12 Kg besi cor kelabu mengandung unsur silikon (Si) 3,067%, pada spesimen 3 dengan penambahan 150 gram silikon kedalam 12 Kg besi cor kelabu mengandung unsur silikon (Si) 2,981%, dan pada spesimen 4 dengan penambahan 200 gram silikon kedalam 12 Kg besi cor kelabu mengandung unsur silikon (Si) 3,304%. Pada spesimen dengan penambahan silikon 150 gram terjadi penurunan

kandungan unsur silikon dibandingkan spesimen dengan penambahan silikon 100 gram, hal ini terjadi karena pada saat proses penambahan silikon pada spesimen dengan penambahan unsur 150 gram silikon yang dimasukkan tidak tercampur secara merata pada logam cair yang akan dituangkan pada cetakan.

3.2 Hasil Pengujian SEM-EDS

Pada Pengujian SEM (Scanning Electron Microscope) pada penelitian ini bertujuan untuk mengamati gambaran struktur mikro serta untuk mengetahui penyebaran fasa pada besi cor kelabu dengan variasi 2,466, 3,067, 2,981, dan 3,304 % Berat Silikon. Pada Pengujian EDS (Energy Dispersive X-ray Spectroscopy) bertujuan untuk mengetahui komposisi unsur kimia penyusun pada material besi cor kelabu dengan variasi 2,466, 3,067, 2,981, dan 3,304 % Berat Silikon. Pada pengujian EDS, setiap spesimen dilakukan 2 titik pengujian EDS. Spektrum pertama dilakukan pada fasa grafit dan spektrum kedua dilakukan pada fasa perlit.

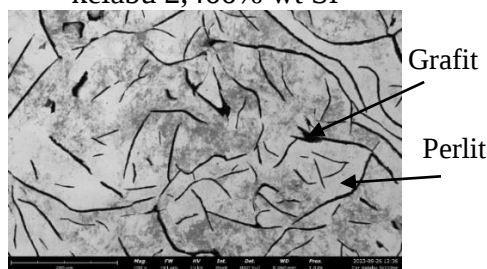
3.2.1 Analisa Hasil Pengujian SEM Besi Cor Kelabu Dengan Komposisi 2,466% wt Si, 3,067% wt Si, 2,981% wt Si, Dan 3,304% wt Si



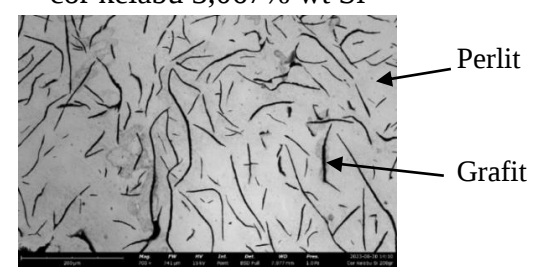
Gambar 3 Foto Struktur mikro besi cor kelabu 2,466% wt Si



Gambar 4 Foto Struktur mikro besi cor kelabu 3,067% wt Si



Gambar 5 Foto Struktur mikro besi cor kelabu 2,981% wt Si



Gambar 6 Foto Struktur mikro besi cor kelabu 3,304% wt Si

Gambar 3 merupakan gambar struktur mikro besi cor kelabu sebelum ditambahkan unsur silikon dengan komposisi unsur silikon 2,466% wt Si. Dari hasil pengujian SEM dapat dilihat bahwa bagian yang memiliki warna hitam dan berbentuk serpih merupakan grafit. Kemudian untuk bagian yang berwarna abu abu terang merupakan fasa perlit.

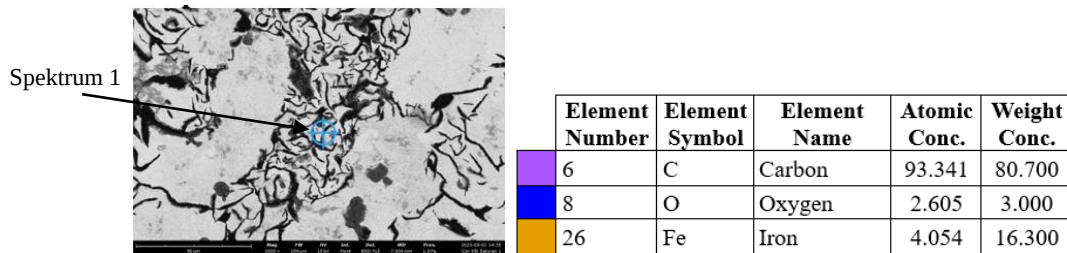
Pada gambar 4 menunjukkan foto struktur mikro besi cor kelabu dengan 3,067% Berat Si. Dari gambar struktur mikro diatas menunjukkan jika fasa grafit yang terbentuk pada besi cor kelabu terdistribusi lebih merata jika dibandingkan dengan foto struktur mikro besi cor kelabu 2,466% Berat Si.

Pada gambar 5 menunjukkan foto struktur mikro besi cor kelabu dengan 2,981% Berat Si. Dari hasil foto struktur mikro diatas dapat diketahui bahwa fasa grafit pada gambar 5 memiliki penyebaran grafit yang lebih merata dibandingkan dengan gambar 4, yaitu foto struktur mikro besi cor kelabu dengan 3,067 % Berat Si.

Gambar 6 merupakan gambar yang menunjukkan foto struktur mikro dari besi cor kelabu dengan 3,304% Berat Si. Dari hasil foto struktur mikro diatas dapat dilihat jika fasa grafit yang terbentuk pada besi cor kelabu dengan 3,304% Berat Si lebih merata dibandingkan dengan gambar 5 yaitu foto struktur mikro besi cor kelabu 2,981% Berat Si.

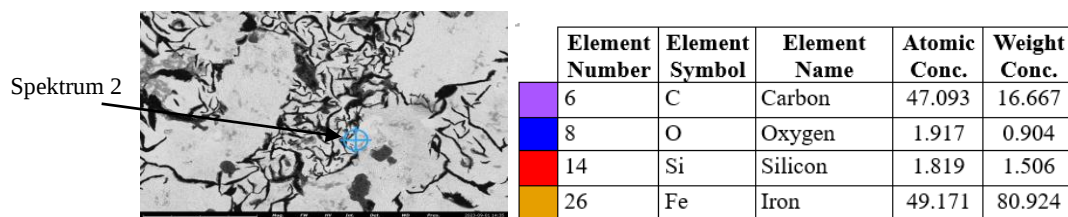
3.2.2 Analisa Hasil Pengujian EDS Besi Cor Kelabu Dengan Komposisi 2,466% wt Si, 3,067% wt Si, 2,981% wt Si, Dan 3,304% wt Si

A. Hasil Pengujian EDS Besi Cor Kelabu Dengan Komposisi 2,466% wt Si



Gambar 7 Titik pengujian EDS Fasa Grafit besi cor kelabu Raw Material (2,466% Berat Si)

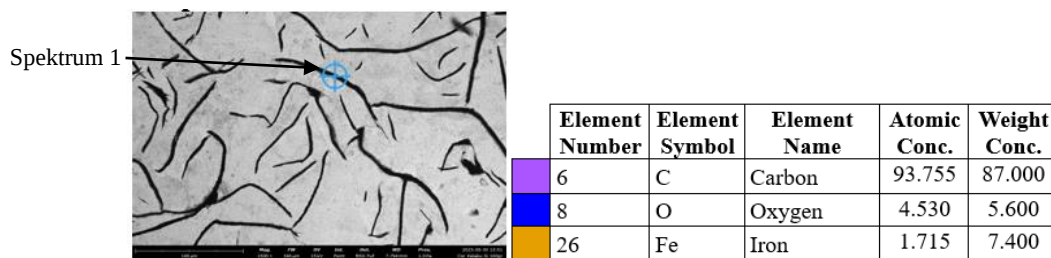
Gambar 7 merupakan gambar letak titik uji pengujian EDS pada besi cor kelabu tanpa penambahan silikon pada fasa grafit. Setelah dilakukan pengujian EDS pada fasa grafit, maka didapatkan line analysis yang menunjukkan bahwa unsur penyusun dari fasa grafit terdiri dari unsur C (Carbon) memiliki komposisi sebesar 80,700% berat, unsur O (Oxygen) memiliki komposisi sebesar 3,000% berat dan unsur Fe (Iron) memiliki komposisi sebesar 16,300% berat



Gambar 8 Titik Pengujian EDS Fasa perlit Besi cor kelabu Raw Material (2,466% Berat Si)

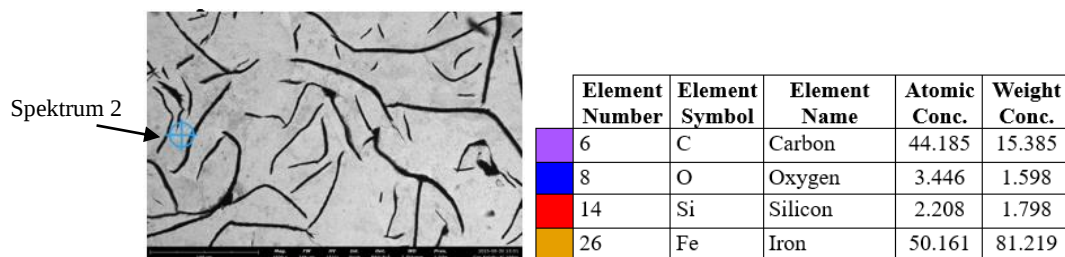
Gambar 8 merupakan gambar yang menunjukkan titik pengujian EDS pada fasa perlit. Menunjukkan bahwa fasa perlit tersusun dari berbagai unsur kimia, seperti C (carbon), O (Oxygen), Si (Silicon), dan Fe (Ferro). Unsur Fe (Ferro) merupakan unsur yang memiliki komposisi terbesar dalam fasa perlit, yaitu 80,924% berat, Sedangkan unsur kimia yang lain yaitu C (Carbon) memiliki komposisi sebesar 16,667% berat, O (Oxygen) memiliki komposisi sebesar 0,904% berat, dan Si (Silicon) memiliki komposisi sebesar 1,506% berat.

B. Hasil Pengujian EDS Besi Cor Kelabu Dengan Komposisi 3,067% wt Si



Gambar 9 Titik Pengujian EDS Fasa perlit Besi cor kelabu Raw Material (2,466% Berat Si)

Gambar 9 merupakan gambar letak titik uji pengujian EDS pada fasa grafit besi cor kelabu dengan 3,067% Berat Si. Setelah dilakukan pengujian EDS pada fasa grafit, maka didapatkan line analysis yang menunjukkan bahwa unsur penyusun dari fasa grafit terdiri dari unsur C (Carbon) memiliki komposisi sebesar 87,000% berat, unsur O (Oxygen) memiliki komposisi sebesar 5,600% berat dan unsur Fe (Iron) memiliki komposisi sebesar 7,400% berat

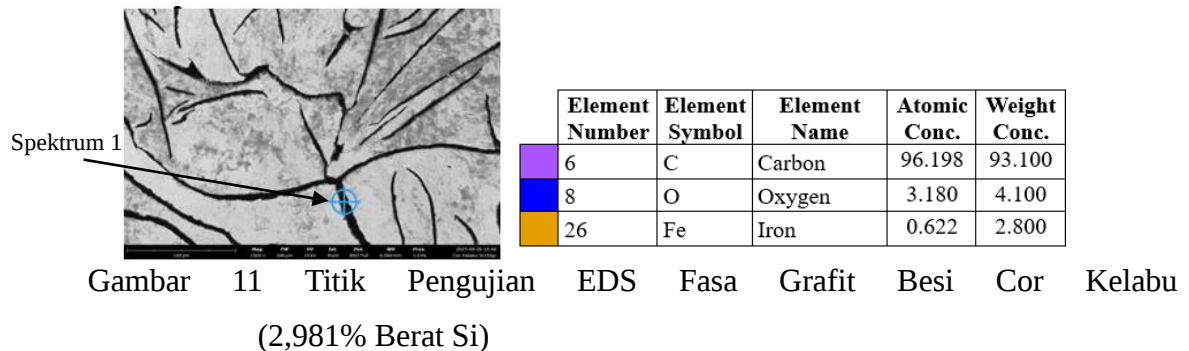


Gambar 10 Titik pengujian EDS Fasa Perlit Besi Cor Kelabu (3,067% Berat Si)

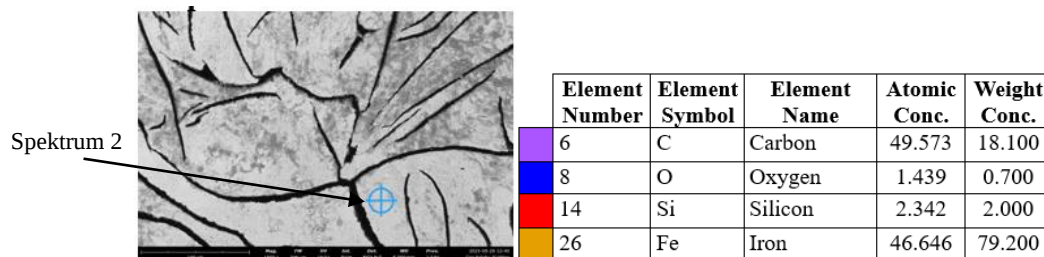
Gambar 10 merupakan gambar yang menunjukkan titik pengujian EDS pada fasa perlit. Didapatkan hasil line analysis (gambar 4.10) menunjukkan bahwa fasa perlit tersusun dari berbagai unsur kimia, seperti unsur C (Carbon) memiliki komposisi sebesar 15,385% berat, unsur O (Oxygen) memiliki komposisi sebesar

1,598% berat, unsur Si (Silicon) memiliki komposisi sebesar 1,798% berat. dan unsur Fe (Ferro) memiliki komposisi sebesar 81,219% berat.

C. Hasil Pengujian EDS Besi Cor Kelabu Dengan Komposisi 2,981% wt Si



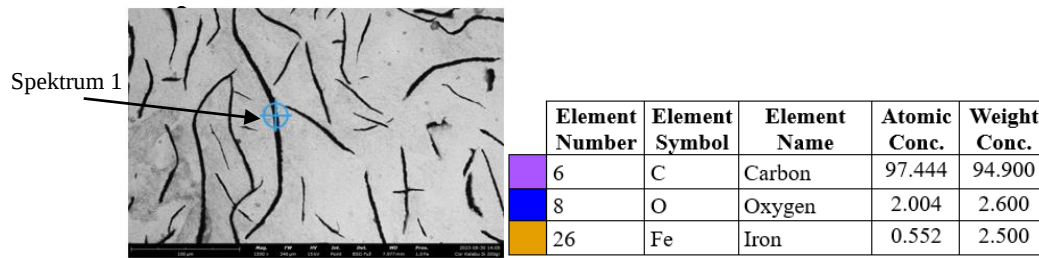
Gambar 11 merupakan gambar letak titik uji pengujian EDS pada fasa grafit besi cor kelabu dengan 2,981% Berat Si. Setelah dilakukan pengujian EDS pada fasa grafit, maka didapatkan line analysis yang menunjukkan bahwa unsur penyusun dari fasa grafit terdiri dari unsur C (Carbon) memiliki komposisi sebesar 93,100% berat, unsur O (Oxygen) memiliki komposisi sebesar 4,100% berat dan unsur Fe (Iron) memiliki komposisi sebesar 2,800% berat.



Gambar 12 Titik pengujian fasa perlit besi cor kelabu (2,981% Berat Si)

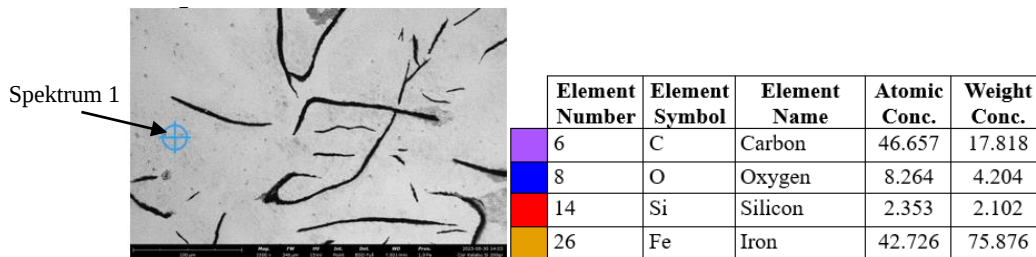
Gambar 12 merupakan gambar yang menunjukkan titik pengujian EDS pada fasa perlit. Didapatkan hasil line analysis (gambar 4.15) menunjukkan bahwa fasa perlit tersusun dari berbagai unsur kimia, seperti unsur C (Carbon) memiliki komposisi sebesar 18,100% berat, unsur O (Oxygen) memiliki komposisi sebesar 0,700% berat, unsur Si (Silicon) memiliki komposisi sebesar 2,000% berat. dan unsur Fe (Ferro) memiliki komposisi sebesar 79,200% berat.

D. Hasil Pengujian EDS Besi Cor Kelabu Dengan Komposisi 2,981% wt Si



Gambar 13 Titik pengujian fasa grafit besi cor kelabu (3,304% Berat Si)

Gambar 13 merupakan gambar letak titik uji pengujian EDS pada fasa grafit besi cor kelabu dengan 3,304% Berat Si. Setelah dilakukan pengujian EDS pada fasa grafit, maka didapatkan line analysis yang menunjukkan bahwa unsur penyusun dari fasa grafit terdiri dari unsur C (Carbon) memiliki komposisi sebesar 94,900% berat, unsur O (Oxygen) memiliki komposisi sebesar 2,600% berat dan unsur Fe (Iron) memiliki komposisi sebesar 2,500% berat



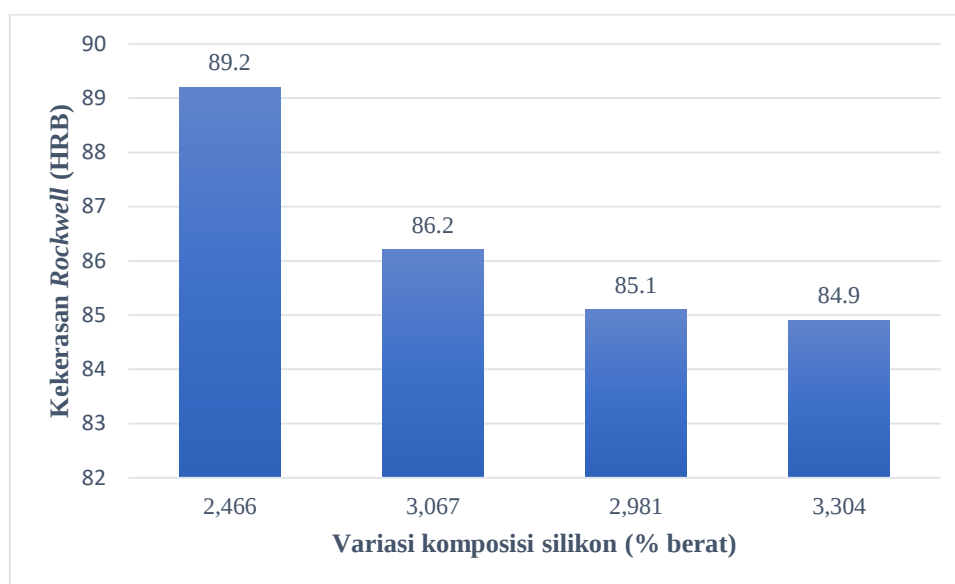
Gambar 14 Titik pengujian fasa perlit besi cor kelabu (3,304% Berat Si)

Gambar 14 merupakan gambar yang menunjukkan titik pengujian EDS pada fasa perlit. Didapatkan hasil line analysis (gambar 4.20) menunjukkan bahwa fasa perlit tersusun dari berbagai unsur kimia, seperti unsur C (Carbon) memiliki komposisi sebesar 17,818% berat, unsur O (Oxygen) memiliki komposisi sebesar 4,204% berat, unsur Si (Silicon) memiliki komposisi sebesar 2,102% berat. dan unsur Fe (Ferro) memiliki komposisi sebesar 75,876% berat.

3.3 Hasil Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan ini dilakukan dengan metode Hardness Rockwell B (HRB) yang bertujuan untuk mengetahui nilai kekerasan pada setiap titik yang di uji pada spesimen sebelum dan sesudah penambahan unsur silikon 100, 150 dan 200 gram pada besi cor kelabu 12 kg. Berdasarkan standar ASTM E18, metode ini dilakukan dengan cara memberikan tekanan pada permukaan material yang siap uji menggunakan indenter bola $\frac{1}{16}$ dengan beban penekanan total 100 kgf. Dalam pengujian ini diambil 3 nilai kekerasan

tiap spesimen yang kemudian diambil nilai kekerasan rata-rata. Berikut hasil pengujian Hardness Rockwell B (HRB):



Gambar 15 Histogram Analisa Pengaruh Silikon Terhadap Kekerasan

Dari hasil Histogram diatas dapat dilihat jika kandungan komposisi silikon mempengaruhi kekerasan terhadap besi cor kelabu. Besi cor kelabu dengan 3,067% berat Si dari tiga titik pengujian kekerasan rockwell memiliki kekerasan rata rata 86,2 HRB besi cor kelabu dengan 2,981% berat Si dari tiga titik pengujian kekerasan memiliki kekerasan rata rata 85,1 HRB, dan besi cor kelabu dengan dengan 3,304% Berat Si dari tiga titik pengujian kekerasan memiliki kekerasan rata rata 84,9 HRB.

4. PENUTUP

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut: (1) Komposisi kimia pada raw material 12 Kg besi cor kelabu mengandung unsur Si sebesar 2,466%, sedangkan hasil penambahan silikon 100 gram, 150 gram, dan 200 gram kedalam 12 Kg besi cor kelabu menunjukkan perubahan kadar kandungan silikon sebesar 3,067%, 2,981%, dan 3,304%. (2) Hasil pengujian metalugrafi (SEM-EDS), menunjukkan struktur mikro besi cor kelabu terdapat unsur grafit dan unsur perlit. Setelah dilakukan pengujian komposisi kimia pada fasa yang terbentuk pada besi cor kelabu menunjukkan fasa grafit tersusun atas unsur C (carbon), O (Oxygen), dan Fe (Iron). Sedangkan pada fasa perlit tersusun dari unsur C (Carbon), O (Oxygen), Si (Silicon), dan Fe (Iron). (3) Komposisi silikon pada besi cor kelabu dapat mempengaruhi nilai kekerasan besi cor kelabu. Setelah melakukan variasi penambahan silikon 100, 150, dan 200 gram kedalam 12 Kg Besi Cor Kelabu. Dilakukan pengujian kekerasan menggunakan metode rockwell pada 3 titik pengujian kekerasan pada spesimen

menunjukkan nilai kekerasan rata-rata pada besi cor kelabu mengalami penurunan. Hasil rata rata kekerasan pada besi cor kelabu dengan komposisi 2,466% berat Si sebesar 89,2 HRB, rata rata kekerasan pada besi cor kelabu dengan komposisi 3,067% Berat Si sebesar 86,2 HRB, rata-rata kekerasan pada besi cor kelabu dengan komposisi 2,981% Berat Si sebesar 85,1 HRB, dan rata-rata kekerasan pada besi cor kelabu dengan komposisi 3,304% Berat Si sebesar 84,9 HRB.

PERSANTUNAN

Selama penyusunan penelitian tugas akhir ini, penulis mendapat bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, baik langsung maupun tidak langsung. Maka dalam kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada bapak Dr. Agus Yulianto, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing dan keluarga serta rekan-rekan semua yang sudah membantu dan mendukung penuh hingga selesai. Penulis berharap semoga penelitian ini dapat bermanfaat untuk diaplikasikan secara nyata dan digunakan sebagai tinjauan pustaka.

DAFTAR PUSTAKA

- ASM Handbook. Volume 15 : *Casting*. ASM International : Metal Park, Ohio. 1988
- Balubun, F. D., & Suriansyah, S. (2018). Pengaruh Austemper Ductile Iron Terhadap Kekerasan Dan Struktur Mikro Ductile Cast Iron (Fcd-45). *Proton*, 10(1), 18–24. <https://doi.org/10.31328/jp.v10i1.803>
- Boulifa, M. I., & Hadji, A. (2021). Study of the influence of alloying elements on the mechanical characteristics and wear behavior of a ductile cast iron. *Frattura Ed Integrita Strutturale*, 15(56), 74–83. <https://doi.org/10.3221/IGF-ESIS.56.06>
- Brown Jhon R. 2000. *Foseco ferrous foundryma's Handbook*. London : Foseco International Ltd
- Callister Jr, W. D., & Rethwisch, D. G. (2017). Characteristics, Application, and Processing of Polymers. In *Materials Science and Engineering - An Introduction*.
- Darmawan, A. S dan Masyrukan. (2019). Struktur dan Sifat Material. Surakarta: Muhammadiyah University Press.
- Fitri., Ginting, E., & Karo karo, P. (2013). Komposisi Kimia, Struktur Mikro, Holding Time dan Sifat Ketangguhan Baja Karbon Medium pada Suhu 7800C. *Jurnal Teori Dan Aplikasi Fisika*, 01(01), 1–4.
- Fraś, E., & Górný, M. (2012). Inoculation Effects of Cast Iron. *Archives of Foundry Engineering*, 12(4), 39–46. <https://doi.org/10.2478/v10266-012-0104-z>
- Goldstein, Joseph I. et all. 2018. Scanning Electron Microscope and X-Ray Microanalysis. Fourth Edition. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4939-6676-9>.

- Groover, M. P. (2010). Part II Engineering Materials. *FUNDAMENTALS OF MODERN MANUFACTURING Materials, Processes, And Systems*, 4th editio, 510–526.
- Puspitasari, P., & Khafiddin, A. (2014). Analisis Hasil Pengecoran Logam Al-Si Menggunakan. *Jurnal Imiah Teknik Mesin*, 2, 1–11.
- Respati, S.M.B, 2008, Macam-Macam Mikroskop dan Cara Penggunaan, Vol. 4, No. 2, Oktober 2008 : 42 – 44.
- Supriyono. (2017). *Material Teknik*. Surakarta: Muhammadiyah University Press
- Surdia, T, Chijiwa K, 1966. Teknik Pengecoran Logam. Cetakan Keenam. Pradnya Paramita. Jakarta
- Umardani, Y., Nurferdian, T. R., Teknik, J., Fakultas, M., Universitas, T., Tembalang, K. U., & Mikrografi, P. (2009). *Dengan Metode Fluiditas Strip Mould*. 11, 5–12.
- 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>