

Pengaruh Variasi 2,466, 3,067, 2,981, Dan 3,304 % Berat Silikon Pada Besi Cor Kelabu Terhadap Komposisi Kimia, Struktur Mikro, Dan Kekerasan Vickers

Riskha Budi Cahyono; Agung Setyo Darmawan, S.T., M.T
Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik,
Universitas Muhammadiyah Surakarta

Abstrak

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui dan menganalisa komposisi kimia, struktur mikro, serta kekerasan pada besi cor kelabu sebelum dan sesudah ditambah unsur silikon. Pada penelitian ini, unsur silikon yang ditambahkan pada besi cor kelabu bervariasi, yaitu sebesar 100, 150, dan 200 Gram. Pengujian komposisi kimia dilakukan untuk mengetahui unsur kimia yang terkandung didalam besi cor kelabu, pengujian 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 lokal, pengujian menggunakan metode *macro Vickers* dengan standar pengujian ASTM E92. Hasil pengujian menunjukkan bahwa semakin banyak persentase unsur silikon yang terkandung di dalam material, menyebabkan terjadinya grafitisasi (pembentukan grafit) sehingga fasa grafit yang terbentuk di dalam material semakin banyak. Dengan semakin banyaknya fasa grafit yang terbentuk seiring dengan bertambahnya unsur silikon, menyebabkan nilai kekerasan pada material mengalami penurunan. Nilai kekerasan rata-rata tertinggi terdapat pada material besi cor kelabu tanpa penambahan unsur silikon (2,466 % berat Si), yaitu sebesar 233 Kg/mm². Sedangkan nilai kekerasan rata-rata terendah terdapat pada material besi cor kelabu dengan komposisi 3,304 % berat Si, yaitu sebesar 175,28 Kg/mm².

Kata kunci : Besi Cor Kelabu, Silikon (Si), Pengujian Komposisi Kimia, Pengujian Metalografi, Pengujian Kekerasan Vickers

Abstract

This research was conducted with the aim of knowing and analyzing the chemical composition, microstructure, and hardness of gray cast iron before and after adding silicon. In this study, the elemental silicon added to gray cast iron varied, namely 100, 150, and 200 grams. Testing of chemical composition is carried out to determine the chemical elements contained in gray cast iron, testing using a spectrometer testing tool with ASTM E415 testing standards. Metallographic testing was carried out to determine the microstructure and chemical composition of the phases in gray cast iron, testing using the SEM-EDS (*Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-ray Spectroscopy*) method with ASTM E986 standard testing. And hardness testing is carried out to determine the resistance of a material to local plastic deformation, testing using the Vickers macro method with ASTM E92 testing standards. The test results show that the greater the percentage of silicon contained in the material, the graphitization (formation of graphite) occurs so that the graphite phase is formed in the material more and more. With the increasing number of graphite phases formed along with the addition of silicon elements, it causes the hardness value of the material to decrease. The highest average hardness value is found in gray cast iron material without the addition of silicon (2,466 wt %

Si), which is 233 Kgf/mm². While the lowest average hardness value is found in gray cast iron material with a composition of 3,304 wt % Si, which is 175,28 Kgf/mm².

Keywords : Gray Cast Iron, Silicon (Si), Chemical Composition Testing, Metallographic Testing, Vickers Hardness Testing

1. PENDAHULUAN

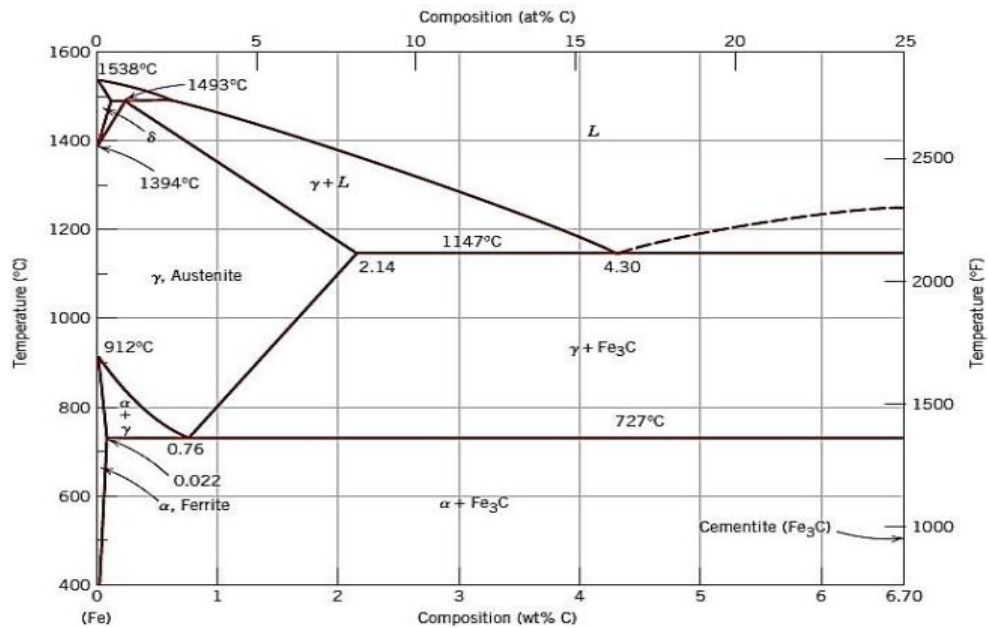
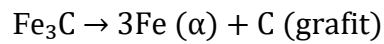
Industri manufaktur merupakan salah satu sektor industri yang berkembang sangat pesat di era modern, serta berperan penting dalam pertumbuhan ekonomi dan peningkatan lapangan kerja di Indonesia. Salah satunya adalah industri pengecoran logam, pengecoran logam merupakan proses untuk menghasilkan suatu produk dengan cara melebur logam padat mencapai temperatur titik lebur hingga logam berubah wujud menjadi cair, kemudian logam cair tersebut dituang ke dalam cetakan yang sebelumnya pada cetakan tersebut telah dibuat rongga (*cavity*) yang memiliki bentuk geometri seperti produk yang diinginkan. Setelah itu logam cair dibiarkan mendingin/membeku hingga menjadi padat, dan kemudian dilakukan pembongkaran pada cetakan. Produk yang dihasilkan dari proses pengecoran logam di antaranya roda gigi, blok mesin, *pulley*, dan lain sebagainya (Campbell, 2003).

Besi cor merupakan paduan antara unsur besi (Fe) dengan unsur pemuat lainnya, seperti karbon (C), silikon (Si), mangan (Mn), phosphor (P) dan sulfur (S). Pada besi cor biasanya unsur karbon yang terkandung antara 2 - 6,67% sedangkan pada baja unsur karbon yang terkandung di bawah 2%. Semakin tinggi presentase karbon yang terkandung di dalam besi cor akan mengakibatkan besi cor semakin getas. Selain unsur karbon, besi cor juga mengandung unsur silikon (Si) sebesar (1 - 3%), mangan (Mn) sebesar (0,2 – 1%), phosphor (P) sebesar (0,07 – 0,4%), dan sulfur (S) sebesar (0,01 – 0,25%) (Surdia & Saito, 1995).

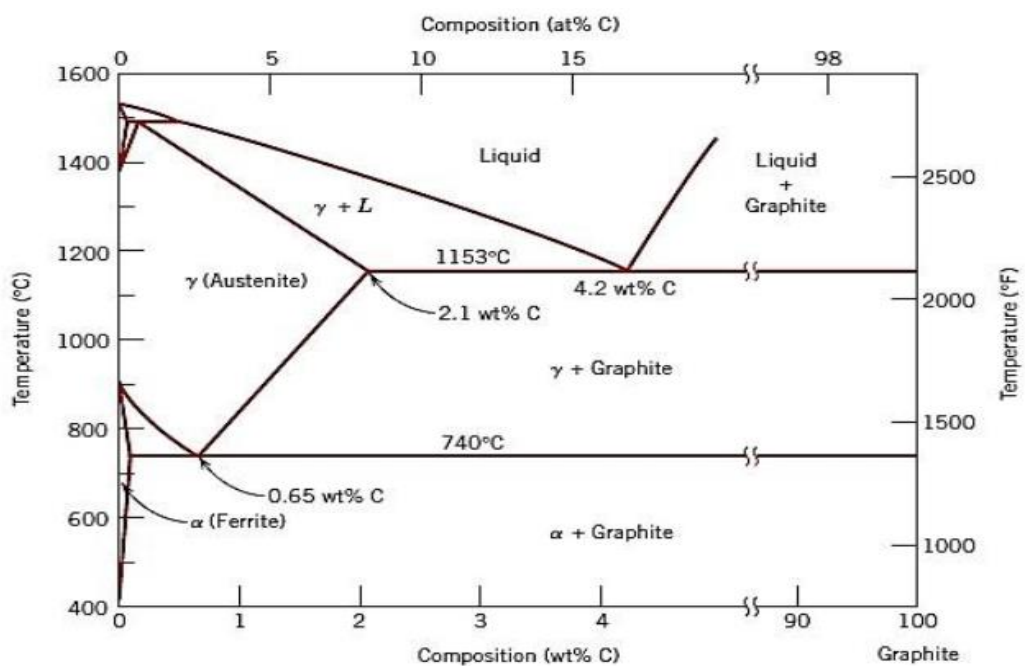
Sifat mekanis besi cor dipengaruhi oleh jenis struktur mikro, yaitu bentuk dan distribusi elemen-elemen penyusunnya. Salah satu elemen penyusun yang memiliki pengaruh terhadap sifat mekanis besi cor adalah grafit. Jumlah, ukuran, dan bentuk grafit mempengaruhi kekuatan (*strength*), keliatan (*ductility*), dan ketangguhan (*toughness*) dari besi cor. Selain grafit, matriks juga memiliki pengaruh terhadap sifat mekanis besi cor, struktur dasar matriks terdiri dari ferit, sementit, dan perlit (Surdia & Chijiiwa, 1996).

Pada paduan besi-karbon, terdapat 5 jenis fasa yang berbeda. Fasa-fasa itu adalah fasa cair L (disebut liquid), besi alfa α (biasa disebut ferit), besi gamma γ (disebut austenit), besi delta δ (disebut delta iron) dan senyawa Fe₃C (sementit). Diagram fasa besi-besi karbida ditunjukkan pada gambar 1, sedangkan diagram keseimbangan fasa besi karbon sebenarnya dengan grafit sebagai fasa stabil ditunjukkan pada gambar 2. Pada gambar 2 menunjukkan

perluasan hingga mencapai 100 % berat C sehingga grafit merupakan fasa yang kaya akan karbon, bukan sementit (Fe_3C) seperti yang ditunjukkan pada gambar 1. Pembentukan grafit dipengaruhi oleh komposisi dan laju pendinginan yang diterapkan (Darmawan, 2020). Cementite (Fe_3C) adalah senyawa metastabil, dan dalam beberapa keadaan dapat dibuat terdekomposisi membentuk α -ferrite dan grafit, sesuai dengan reaksi berikut ini :



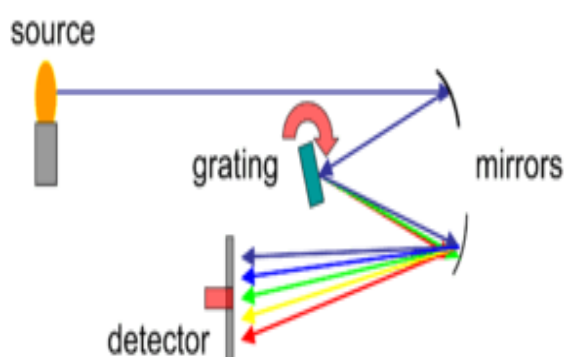
Gambar 1 Diagram fasa besi-besi karbida



Gambar 2 Diagram keseimbangan fasa besi karbon sebenarnya dengan grafit sebagai fasa stabil

Pengujian komposisi kimia bertujuan untuk mengetahui dan menganalisa unsur unsur yang terkandung didalam suatu material, sehingga dapat diketahui kualitas material yang diuji (Lutiyatmi, 2011). Salah satu alat yang dapat digunakan dalam pengujian komposisi kimia adalah spektrometer.

Optical Emission Spectrometer (OES) adalah alat uji yang digunakan untuk menganalisa unsur-unsur yang terkandung didalam logam dan campurannya dengan akurat, cepat dan mudah dioperasikan. Alat uji spektrometer ini di industri pengecoran logam memiliki fleksibilitas tinggi karena dapat digunakan untuk mengembangkan material atau produknya dari satu komposisi ke komposisi lain maupun membuat paduan logam yang bervariasi dengan tepat (Lutiyatmi, 2011).



Gambar 3 Cara kerja Optical Emission Spectrometer (OES)

Gambar 3 (Pamuji, 2021) menunjukkan perangkat pengujian Optical Emission Spectrometer (OES). Dalam melakukan analisis menggunakan OES, terdapat 3 komponen utama yaitu :

1. Sumber listrik merupakan komponen yang berfungsi untuk mengeksitasi atom-atom atau unsur pada spesimen logam agar dapat memancarkan emisi optik. Emisi optik dihasilkan dari pemanasan pada sebagian daerah spesimen hingga mencapai suhu tinggi dengan menggunakan sumber listrik bertegangan tinggi pada alat spektrometer melalui elektroda. Perbedaan potensial listrik yang terjadi antara spesimen dan elektroda menghasilkan peristiwa pelepasan listrik. Peristiwa pelepasan listrik yang melewati spesimen akan mengakibatkan terjadinya pemanasan dan penguapan pada permukaan sehingga akan menarik atom-atom spesimen, yang kemudian akan memancarkan garis emisi karakteristik elemen (*element characteristic emission lines*).
2. Komponen yang kedua yaitu sistem optic. Garis emisi karakteristik elemen (*element characteristic emission lines*) atau cahaya karakteristik yang dipancarkan oleh atom

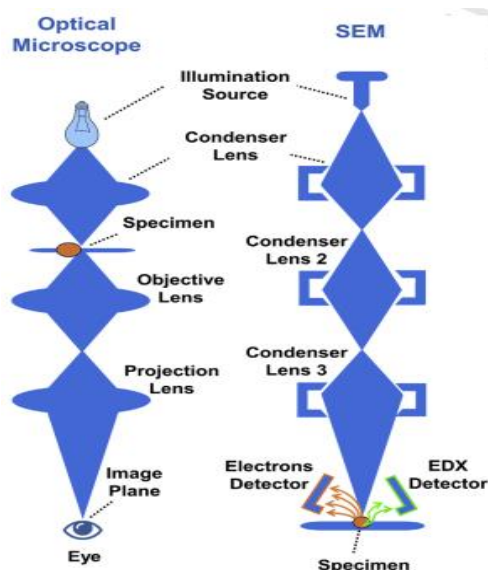
dalam *spesimen* kemudian masuk ke spektrometer. Dimana cahaya yang masuk akan dipisahkan menjadi panjang gelombang elemen khusus oleh *grating*. Dan *detector* akan mengukur intensitas cahaya untuk setiap panjang gelombang. Intensitas yang diukur berbanding lurus dengan konsentrasi offset elemen dalam *spesimen*.

3. Sistem komputer merupakan komponen yang menerima intensitas terukur dari sistem optic dan memproses data melalui kalibrasi yang telah ditentukan untuk menghasilkan konsentrasi unsur.

Metalografi merupakan ilmu yang mempelajari tentang cara pemeriksaan atau pengujian logam, yang bertujuan untuk mengetahui sifat, struktur, temperatur, dan persentase campuran logam. Dalam proses pengujian metalografi, pengujian logam dibagi menjadi 2 jenis, yaitu pengujian makro (*macroscope test*) dan pengujian mikro (*microscope test*) (Anwari, 2017).

Scanning Elektron Microscope (SEM) merupakan sebuah alat pengamatan struktur mikro yang biasa digunakan untuk mengamati material logam. Permukaan material padat yang diperiksa dipindai dengan sinar elektron, dan sinar elektron yang dipantulkan kemudian dikumpulkan, selanjutnya ditampilkan pada tingkat pemindaian yang sama pada tabung sinar katoda (mirip dengan layar televisi CRT) (Supriyono, 2017).

Scanning Electron Microscope (SEM) umumnya dibagi menjadi dua kelompok yaitu mikroskopi dan spektroskopi. Kelompok mikroskopi digunakan untuk menganalisa mengenai fase maupun partikel yang terkandung pada material. Sedangkan pada kelompok spektroskopi digunakan untuk menganalisa kandungan kimia yang terkandung pada material yang akan diuji (Golinejad dan Mirjalili, 2020).



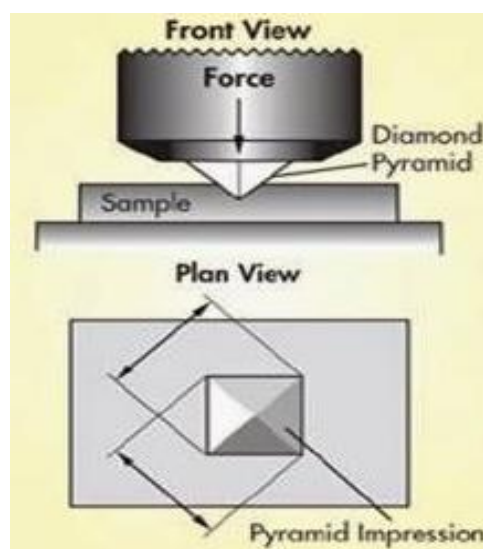
Gambar 4 Skema mikroskop optik dan SEM

Pada gambar 4 (Girao dkk, 2017) menjelaskan bahwa sebuah sumber elektron yang memproduksi sinar elektron dari alat. Lensa magnetik (*condenser lens*) memfokuskan elektron menuju spesimen yang akan diuji. Sinar elektron yang sudah terfokus pada seluruh spesimen akan diarahkan ke sampel yang akan diuji. Ketika elektron mengenai spesimen maka spesimen tersebut akan mengeluarkan elektron yang baru dan diterima oleh *electrons detector* dan direkam oleh monitor. Penambahan sinar EDX (*Energy Dispersive X-Ray*) digunakan untuk mengetahui komposisi kimia pada permukaan spesimen (Girao dkk, 2017).

Kekerasan dapat diartikan sebagai ukuran ketahanan suatu material terhadap deformasi plastis lokal. Harga kekerasan ditentukan hanya pada tempat terjadinya deformasi plastis lokal akibat pengujian. Pengujian kekerasan dilakukan dengan cara penekanan di mana sebuah penekan (*indentor*) ditekan pada permukaan material yang akan diuji. Kedalaman atau bekas penekanan menjadi dasar penentuan nilai kekerasan suatu material. Semakin luas dan semakin dalam akibat penekanan, maka semakin lunak suatu material (Supriyono, 2017).

Pengujian kekerasan dengan metode vickers didasarkan pada bekas injakan pada material uji. Indentor pada pengujian vickers adalah berbentuk piramid yang terbuat dari intan. Beban yang dikenakan dalam pengujian ini rentang 1–1000 gf untuk metode *micro vickers*, sedangkan untuk metode *macro vickers* dengan rentang pembebanan sebesar 1-120 Kgf. Harga ini jauh lebih kecil dibanding dengan pengujian rockwell dan brinel (Supriyono, 2017).

Pada Gambar 5 (Supriyono, 2017) memberikan ilustrasi bagaimana pengujian kekerasan vickers dilakukan dan juga menggambarkan bentuk dan bekas injakan indentor.



Gambar 5 Skema pengujian Vickers

Harga kekerasan metode vickers merupakan hasil bagi dari beban uji (F) dengan luas permukaan bekas injakan (A), dikali 1,854. Maka persamaan untuk menghitung harga kekerasan vickers adalah :

$$VHN = 1,854 \times \frac{F}{d^2}$$

Keterangan :

VHN : Nilai kekerasan *vickers* (Kgf/mm²)

F : Beban yang diberikan (Kgf)

d : Diagonal rata-rata bekas injakan (mm)

2. METODE

2.1 Metode Penelitian

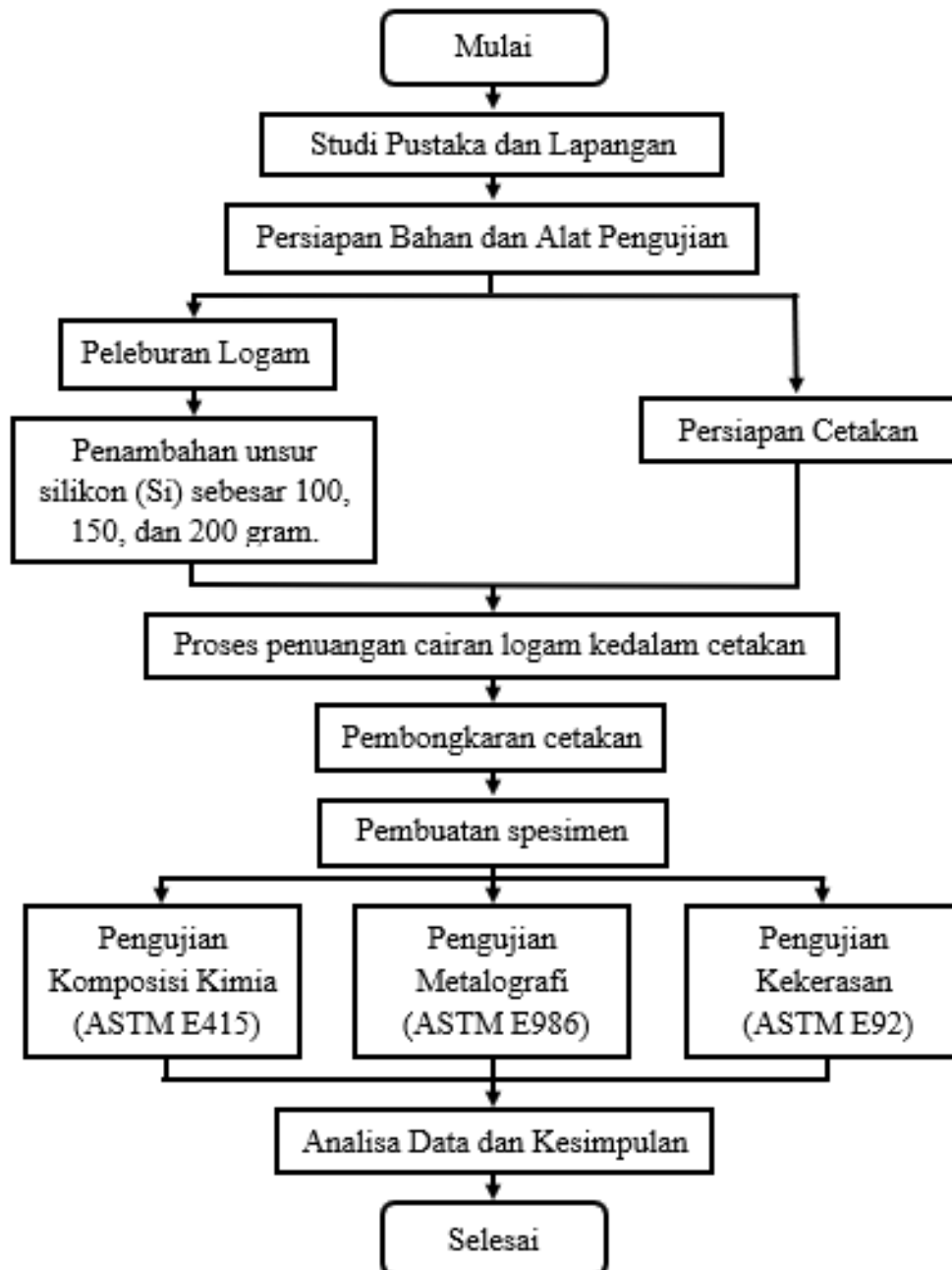
Pengujian komposisi kimia bertujuan untuk mengetahui persentase unsur-unsur yang terkandung didalam besi cor kelabu sebelum dan sesudah ditambah unsur silikon kedalam besi cor kelabu 12 Kg. Pengujian dilakukan di Laboratorium Politeknik Manufaktur Ceper, Klaten dengan menggunakan alat uji *spectrometer* (Bruker Elemental's Q2 ION OES) sesuai standar ASTM E415. Uji komposisi kimia dilakukan pada setiap spesimen, di mana setiap spesimen dilakukan 3 titik pengujian kemudian diambil nilai rata-ratanya.

SEM-EDS (*Scanning Electron Microscope- Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy*) merupakan metode pengujian metalografi yang dilakukan untuk mengetahui struktur mikro dan komposisi kimia fasa pada besi cor kelabu sebelum dan sesudah ditambahkan unsur silikon. Pengujian dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta dengan menggunakan alat uji Thermo Scientific, seri Phenom Pro X sesuai standar ASTM E986.

Pengujian kekerasan dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui karakteristik atau sifat mekanis besi cor kelabu sebelum dan sesudah ditambah unsur silikon. Pada penelitian ini, pengujian kekerasan dilakukan di Laboratorium Bahan Teknik, Universitas Gadjah Mada menggunakan mesin Universal Hardnes Tester dengan metode *Macro Vickers* (ASTM E92). Indentansi dalam penelitian ini dilakukan pada 6 titik secara acak, dengan beban indentansi sebesar 30 Kgf dan dalam waktu indentansi selama 10 detik.

2.2 Diagram Alir Penelitian

Untuk mendapatkan hasil yang sesuai dengan tujuan, diperlukan beberapa tahapan dalam melakukan penelitian ini. Penelitian dilakukan dengan cara mengikuti alur yang telah direncanakan. Adapun alur penelitian dapat dilihat pada gambar 6 :



Gambar 7 Diagram alir penelitian

2.3 Bahan dan Alat Penelitian

Pada penelitian ini, bahan dan alat yang digunakan yaitu sebagai berikut :

Bahan : a. Besi cor kelabu

b. Serbuk silikon dengan variasi 100, 150, dan 200 gram

- Alat : a. Gerinda potong
b. Jangka sorong
c. Tungku peleburan logam
d. Ladel
e. Cetakan
f. Pola
g. Amplas
h. Autosol

2.4 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian merupakan langkah-langkah yang digunakan di dalam proses fabrikasi dan pengujian spesimen, langkah-langkah tersebut meliputi :

2.4.1 Proses Pengecoran Spesimen

Proses pengecoran spesimen dalam penelitian ini dilakukan dengan beberapa langkah, yaitu sebagai berikut :

1. Menyiapkan *raw material*, yaitu : besi cor kelabu dan serbuk silikon dengan variasi 100, 150, 200 gram.
2. Melakukan proses peleburan pada material besi cor kelabu.
3. Proses peleburan besi cor kelabu dilakukan pada rantang suhu 1150-1300°C sampai benar-benar dalam keadaan cair. Kemudian besi cor kelabu yang telah cair dituang ke dalam ladle yang memiliki kapasitas 12 Kg, dan selanjutnya dilakukan penambahan unsur silikon ke dalam ladle sesuai variasi yang telah ditentukan.
4. Proses pembuatan cetakan pasir (*sand molding*) dilakukan dengan media pasir green-sand. Adapun dimensi rongga cetakan (*cavity*) yang akan dibentuk adalah Panjang x Lebar x Tinggi = 55,50 mm x 18,50 mm x 13,50 mm.
5. Setelah selesai pembuatan cetakan pasir, langkah berikutnya yaitu menuangkan cairan logam dari ladel kedalam cetakan logam dan cetakan pasir. Kemudian setelah cairan logam mendingin/mengeras dilakukan pembongkaran pada cetakan untuk diambil spesimen hasil dari proses pengecoran.
6. Spesimen yang telah dikeluarkan dari cetakan kemudian dilakukan proses finishing untuk meratakan permukaan spesimen.

2.4.2 Proses Pengujian Komposisi Kimia

Proses pengujian komposisi kimia dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Menyiapkan spesimen pengujian komposisi kimia hasil dari pengecoran pada cetakan logam.
2. Melakukan pengamplasan pada spesimen dengan menggunakan kertas amplas yang memiliki nomer grid : 100, 400, 800, 1000, 1500, 2000, 3000, dan 5000 secara berurutan dimulai dari nomer terkecil.
3. Selanjutnya yaitu melakukan pemolesan dengan autosol pada spesimen. Pemolesan dimaksudkan untuk menghilangkan kotoran yang menempel pada permukaan spesimen ataupun untuk menghasilkan permukaan spesimen yang halus dan rata.
4. Setelah dilakukan proses preparasi pada spesimen, langkah berikutnya yaitu proses pengujian komposisi kimia dengan memasang spesimen pada alat uji *spectrometer*.
5. Hasil pengujian komposisi kimia dengan menggunakan alat uji *spectrometer* akan menghasilkan unsur-unsur yang terkandung didalam spesimen secara keseluruhan yang ditampilkan pada sistem/layar komputer.

2.4.3 Proses Pengujian Metalografi

Adapun langkah yang harus dilakukan saat akan melakukan pengujian struktur mikro dan komposisi kimia fasa pada spesimen, yaitu sebagai berikut :

1. Menyiapkan spesimen dengan memotong material hasil proses pengecoran pada cetakan pasir menjadi bentuk balok dengan dimensi 15 mm x 15 mm x 10 mm.
2. Proses pengamplasan pada permukaan spesimen dengan menggunakan kertas amplas yang memiliki nomer grid : 100, 400, 800, 1000, 1500, 2000, 3000, dan 5000. Dalam pengaplikasiannya dimulai berurutan dari nomor terkecil hingga nomer terbesar agar dihasilkan permukaan spesimen yang halus dan rata.
3. Pemolesan permukaan material dengan autosol. Pemolesan dilakukan dengan tujuan untuk meningkatkan kehalusan, menghilangkan dari bekas kotoran dan

minyak, serta agar permukaan spesimen mengkilap, sehingga nantinya akan didapatkan kualitas hasil pemotretan yang baik

4. Proses etsa, pada bagian permukaan spesimen yang akan diuji dicelupkan ke dalam larutan Alkohol dan HNO_3 dengan komposisi 95% Alkohol dan 5% HNO_3 selama ± 3 detik. Proses ini dilakukan dengan tujuan untuk membersihkan dari sisa-sisa polisher saat pemolesan dan memunculkan batas butir pada setiap fasa, sehingga dapat memperjelas foto struktur mikronya.
5. Proses pembilasan permukaan spesimen dengan air bersih, setelah itu dikeringkan dengan lap atau tisu.
6. Melakukan pengamatan terhadap permukaan spesimen uji yang telah dipreparasi dengan menggunakan mikroskop.
7. Melakukan pemotretan dengan perbesaran tertentu
8. Hasil pengujian berupa foto mikrografi dan komposisi kimia pada setiap fasa.

2.4.4 Proses Pengujian Metalografi

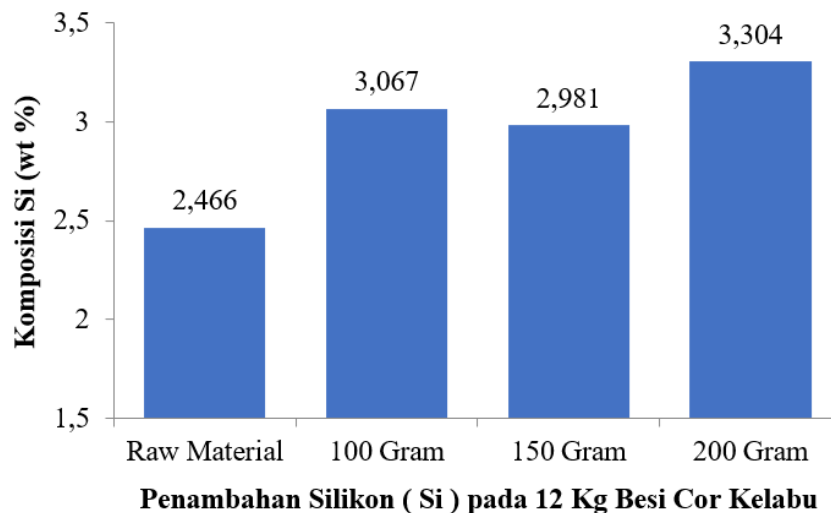
Proses pengujian kekerasan dengan metode *macro vickers* dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Menyiapkan spesimen yang akan dilakukan pengujian *macro vickers*
2. Melakukan pengamplasan dan pemolesan pada permukaan spesimen. Proses ini bertujuan untuk menghilangkan goresan dan kotoran-kotoran yang menempel pada permukaan spesimen, sehingga didapatkan permukaan spesimen yang halus, rata, dan mengkilap.
3. Setelah proses preparasi, kemudian dilakukan pengujian kekerasan *macro Vickers* dengan menggunakan standar ASTM E 92.
4. Dalam pengujian *macro Vickers* indentor yang digunakan berbentuk piramid yang terbuat dari intan, dimana permukaan yang berhadapan membentuk sudut 136° .
5. Besar pembebanan dan waktu penekanan (*dwell time*) didalam pengujian ini, dilakukan dengan pembebanan sebesar 30 kgf dan waktu penekanan selama 10 detik.
6. Hasil pengujian berupa angka kekerasan *Vickers* (VHN). Harga kekerasan metode *Vickers* merupakan hasil bagi dari beban uji (F) dengan luas permukaan bekas injakan (A) dikali 1,854.

3. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Pengujian Komposisi Kimia

Berdasarkan hasil pengujian komposisi kimia, dapat diketahui bahwa dengan melakukan penambahan variasi unsur silikon (Si) sebesar 100, 150, dan 200 gram terhadap *raw material* besi cor kelabu sebesar 12 Kg menyebabkan terjadinya peningkatan % berat Si. Peningkatan atau perubahan % berat Si yang terjadi ditunjukkan pada gambar 8.



Gambar 8 Histogram hasil uji komposisi silikon

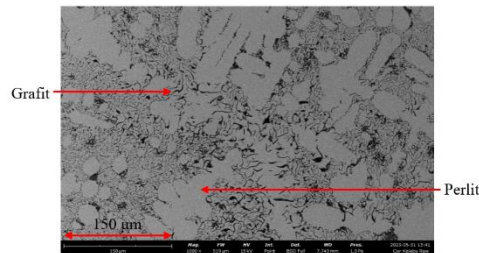
Dari gambar 8 dapat diketahui bahwa material besi cor kelabu sebelum ditambah unsur silikon memiliki komposisi Si sebesar 2,466 % berat. Kemudian setelah dilakukan penambahan unsur silikon, komposisi Si dalam material besi cor kelabu cenderung mengalami peningkatan. Pada penambahan unsur silikon sebesar 100 gram komposisi Si mengalami peningkatan menjadi 3,067 % berat. Namun setelah dilakukan penambahan unsur silikon sebesar 150 gram komposisi Si mengalami penurunan menjadi 2,981 % berat, hal ini kemungkinan disebabkan oleh proses *mixing* unsur silikon dengan material besi cor kelabu di dalam ladle yang kurang merata sehingga pencampuran menjadi kurang homogen. Selanjutnya pada penambahan unsur silikon sebesar 200 gram komposisi Si mengalami peningkatan menjadi 3,304 % berat.

3.2 Hasil Pengujian Metalografi

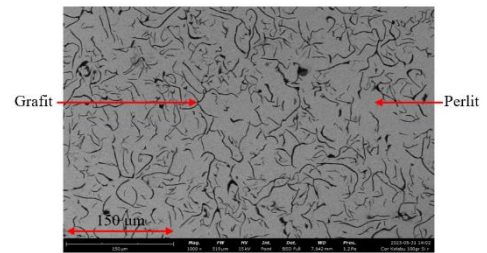
3.2.1 Analisa Hasil Pengujian SEM Besi Cor Kelabu Dengan Komposisi 2,466, 3,067, 2,981, Dan 3,304 % Berat Silikon

Gambar 9 merupakan gambar struktur mikro besi cor kelabu hasil dari pengujian SEM (*Scanning Electron Microscope*). Pada gambar tersebut

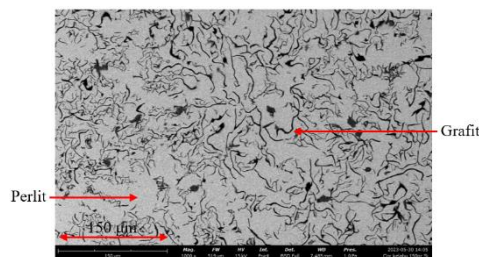
menampilkan material besi cor kelabu sebelum ditambah unsur silikon (*raw material*). Dari pengujian SEM dapat dilihat bahwa bagian yang memiliki warna hitam dan berbentuk serpih (*flake*) merupakan grafit, dalam kondisi ini grafit mengendap pada batas butir dalam ukuran kecil. Kemudian untuk bagian yang berwarna abu-abu terang merupakan fasa perlit, dalam gambar 9 terlihat bahwa kehadiran fasa perlit lebih mendominasi daripada fasa ferit yang cenderung tidak terlihat. Sehingga besi cor kelabu ini disebut sebagai besi cor kelabu perlitik.



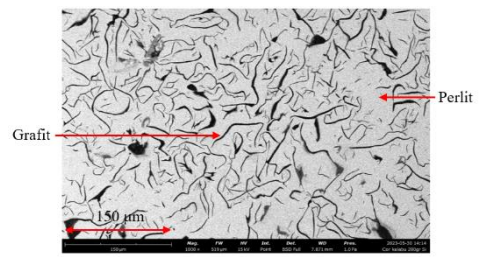
Gambar 9 Foto struktur mikro besi cor kelabu (2,466 % berat Si)



Gambar 10 Foto struktur mikro besi cor kelabu (3,067 % berat Si)



Gambar 11 Foto struktur mikro besi cor kelabu (2,981 % berat Si)



Gambar 12 Foto struktur mikro besi cor kelabu (3,304 % berat Si)

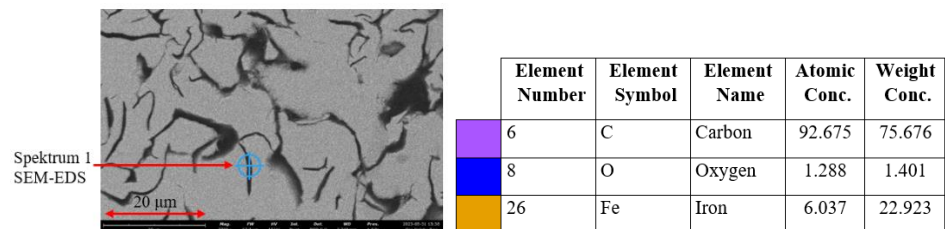
Gambar 10 merupakan foto struktur mikro besi cor kelabu dengan komposisi Si sebesar 3,067 % berat. Dari hasil pengamatan struktur mikro dapat diketahui bahwa jumlah fasa grafit bertambah banyak dan mulai terdistribusi secara merata setelah dilakukan penambahan unsur silikon kedalam material besi cor kelabu. Jika dibandingkan dengan fasa grafit *raw material* gambar 9, fasa grafit dalam material besi cor kelabu dengan komposisi 3,067 % berat Si (gambar 10) memiliki bentuk yang lebih tebal, meskipun secara umum masih terlihat tipis.

Gambar 11 merupakan gambar yang menunjukkan foto struktur mikro besi cor kelabu dengan komposisi Si sebesar 2,981 % berat. Dari hasil pengamatan struktur mikro dapat diketahui bahwa fasa grafit didalam gambar 11 terlihat memiliki ukuran yang lebih tebal serta terdistribusi lebih merata jika dibandingkan dengan Gambar 10, yaitu foto struktur mikro besi cor kelabu dengan komposisi Si sebesar 3,067 % berat.

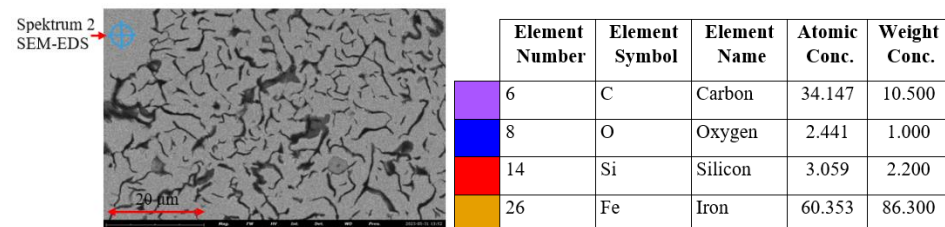
Pada material besi cor kelabu dengan komposisi 3,304 % berat Si, memiliki fasa grafit yang lebih banyak dan memiliki ukuran yang tebal. Selain itu, dari hasil foto struktur mikro (gambar 12) terlihat bahwa didalam material besi cor kelabu dengan komposisi 3,304 % berat Si memiliki distribusi grafit yang lebih merata atau rapat jika dibandingkan dengan distribusi grafit pada material besi cor kelabu dengan komposisi 2,981 % berat Si, seperti yang ditunjukkan pada gambar 11.

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

3.2.2.1 Hasil Pengujian EDS Pada Fasa Grafit dan Perlit Besi Cor Kelabu Raw Material (2,466 % Berat Si)



Gambar 13 Titik dan hasil pengujian EDS pada fasa grafit besi cor kelabu *raw material* (2,466 % berat Si)

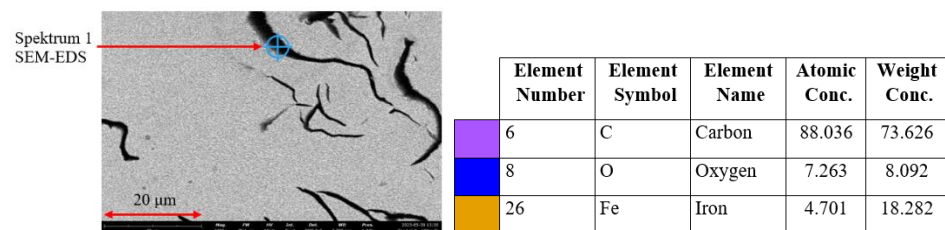


Gambar 14 Titik dan hasil pengujian EDS pada fasa perlit besi cor kelabu *raw material* (2,466 % berat Si)

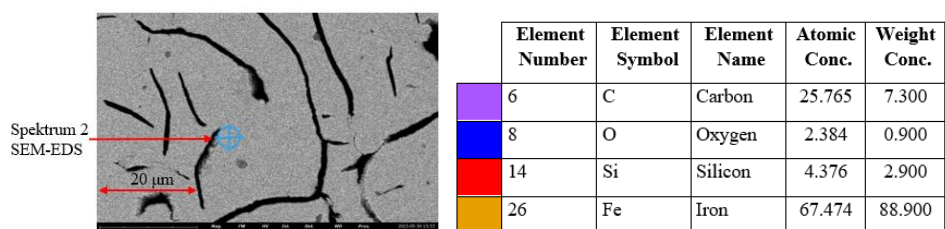
Setelah dilakukan pengujian EDS pada fasa grafit, maka didapatkan komposisi kimia yang terkandung didalam fasa grafit. Hasil dari pengujian EDS menunjukkan bahwa unsur C (*Carbon*) memiliki komposisi sebesar 75,676 % berat. Dengan komposisi C (*Carbon*) yang hampir mendekati 100 %, dapat dikatakan bahwa unsur C (*Carbon*) merupakan unsur penyusun utama fasa grafit. Sedangkan untuk unsur lainnya, seperti unsur O (*Oxygen*) memiliki komposisi sebesar 1,401 % berat dan unsur Fe (*Ferro*) memiliki komposisi sebesar 22,923 % berat, seperti yang ditunjukkan pada gambar 13.

Gambar 14 merupakan gambar yang menunjukkan titik pengujian EDS pada fasa perlit. Hasil pengujian EDS 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 sebesar 86,300 % berat. Sedangkan untuk unsur kimia yang lain, seperti unsur C (*Carbon*) memiliki komposisi sebesar 10,500 % berat, unsur O (*Oxygen*) memiliki komposisi sebesar 1,000. Dan unsur Si (*Silicon*) memiliki komposisi sebesar 2,200 % berat.

3.2.2.2 Hasil Pengujian EDS Pada Fasa Grafit dan Perlit Besi Cor Kelabu (3,067 % Berat Si)



Gambar 15 Titik dan hasil pengujian EDS pada fasa grafit besi cor kelabu (3,067 % berat Si)



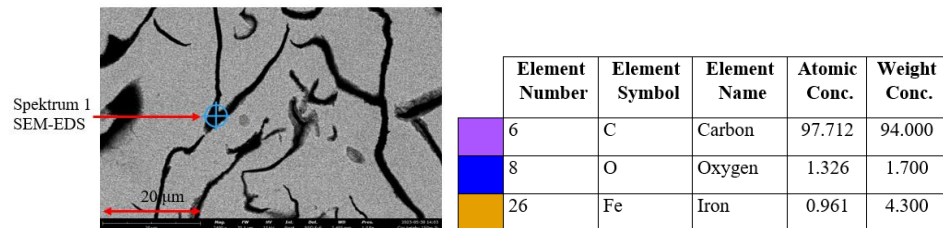
Gambar 16 Titik dan hasil pengujian EDS pada fasa perlit besi cor kelabu (3,067 % berat Si)

Hasil dari pengujian EDS menunjukkan bahwa pada fasa grafit terdapat unsur C (*Carbon*) yang memiliki komposisi terbesar jika dibandingkan dengan unsur-unsur yang lain, yaitu sebesar 73,626 % berat. Selain itu juga terdapat unsur O (*Oxygen*) yang memiliki komposisi sebesar 8,092 % berat, dan unsur Fe (*Ferro*) yang memiliki komposisi sebesar 18,282 % berat.

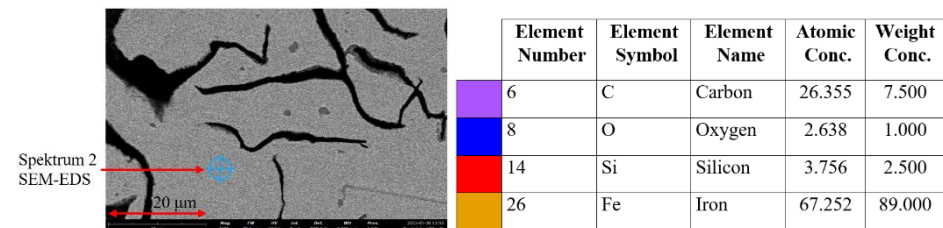
Hasil pengujian EDS pada spektrum kedua, seperti yang ditunjukkan pada gambar 16, menunjukkan bahwa pada fasa perlit terdapat unsur C (*Carbon*) yang memiliki komposisi sebesar 7,300 % berat, unsur O (*Oxygen*) memiliki komposisi sebesar 0,900 % berat, unsur

Si (*Silicon*) memiliki komposisi sebesar 2,900 % berat dan unsur Fe (*Ferro*) memiliki komposisi sebesar 88,900 % berat.

3.2.2.3 Hasil Pengujian EDS Pada Fasa Grafit dan Perlit Besi Cor Kelabu (2,981 % Berat Si)



Gambar 17 Titik dan hasil pengujian EDS pada fasa grafit besi cor kelabu
(2,981 % berat Si)

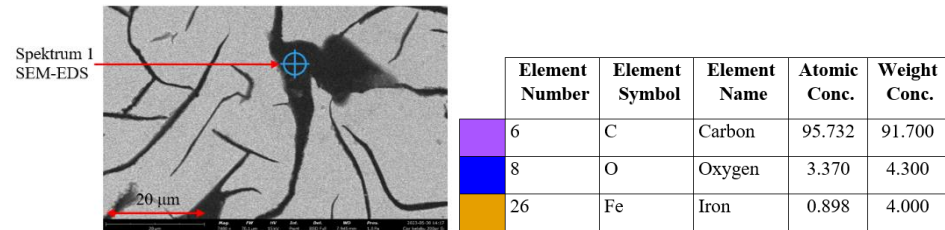


Gambar 18 Titik dan hasil pengujian EDS pada fasa perlit besi cor kelabu
(2,981 % berat Si)

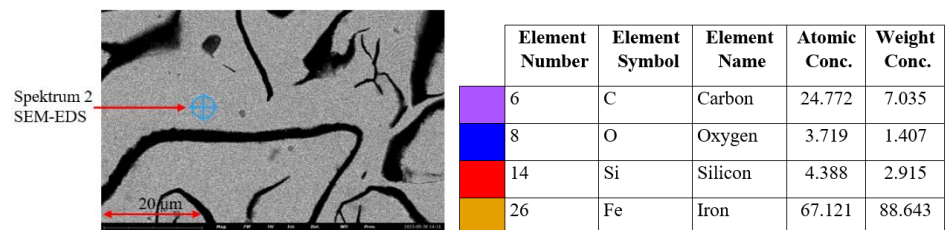
Hasil pengujian EDS pada fasa grafit menunjukkan bahwa unsur C (*Carbon*) memiliki komposisi sebesar 94,000 berat, unsur O (*Oxygen*) memiliki komposisi sebesar 1,700 % berat dan unsur Fe (*Ferro*) memiliki komposisi sebesar 4,300 % berat, seperti yang ditunjukkan pada gambar 17.

Spektrum pengujian EDS pada fasa perlit ditunjukkan pada gambar 18. Dari titik pengujian EDS didapatkan hasil bahwa, pada fasa perlit besi cor kelabu dengan komposisi 2,981 % berat Si terkandung beberapa unsur kimia, diantaranya : unsur C (*Carbon*) yang memiliki komposisi 7,500 % berat, kemudian unsur O (*Oxygen*) memiliki komposisi sebesar 1,000 % berat, serta unsur Si (*Silicon*) dan Fe (*Ferro*) yang masing-masing memiliki komposisi 2,500 % berat dan 89,000 % berat.

3.2.2.4 Hasil Pengujian EDS Pada Fasa Grafit dan Perlit Besi Cor Kelabu (3,304 % Berat Si)



Gambar 19 Titik dan hasil pengujian EDS pada fasa grafit besi cor kelabu (3,304 % berat Si)



Gambar 20 Titik dan hasil pengujian EDS pada fasa perlit besi cor kelabu (3,304 % berat Si)

Spektrum pertama menunjukkan titik pengujian EDS yang dilakukan pada fasa grafit. Dari hasil pengujian didapatkan bahwa fasa grafit tersusun dari berbagai unsur kimia, seperti yang ditunjukkan pada gambar 19. Unsur-unsur penyusun fasa grafit diantaranya adalah unsur C (*Carbon*) dengan komposisi sebesar 91,700 % berat, unsur ini merupakan penyusun utama fasa grafit. Kemudian didalam fasa grafit juga terdapat unsur O (*Oxygen*) dan Fe (*Ferro*) dengan masing-masing komposisi sebesar 4,300 % berat dan 4,000 % berat.

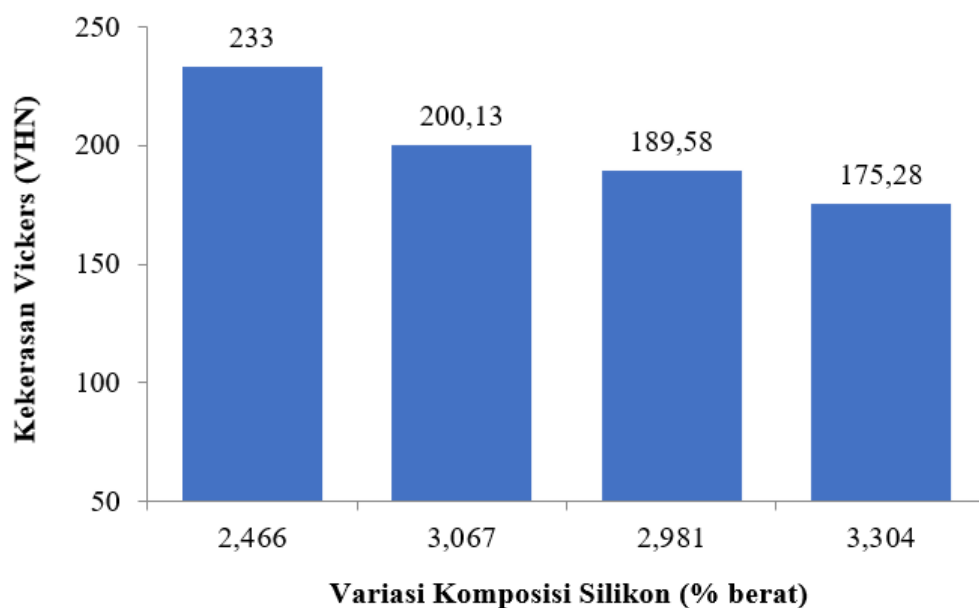
Selanjutnya untuk pengujian EDS spektrum kedua dilakukan pada fasa perlit. Titik pengujian ditunjukkan pada gambar 20. Hasil dari pengujian EDS, dapat diketahui bahwa pada fasa perlit tersusun oleh unsur C (*Carbon*) dengan komposisi 7,035 % berat, unsur O (*Oxygen*) dengan komposisi 1,407 % berat, unsur Si (*Silicon*) dengan komposisi 2,915 % berat, serta unsur Fe (*Ferro*) dengan komposisi sebesar 88,643 % berat.

3.3 Hasil Pengujian Kekerasan

Hasil dari pengujian *Macro Vickers*, ditunjukkan pada gambar 21. Pada gambar 21 menunjukkan bahwa nilai kekerasan rata-rata tertinggi terdapat pada material besi

cor kelabu dengan komposisi 2,466 % berat Si yaitu sebesar 233,00 Kgf/mm² dan nilai kekerasan rata-rata terendah terdapat pada material besi cor kelabu dengan komposisi 3,304 % berat Si yaitu sebesar 175,28 Kgf/mm². Sedangkan material besi cor kelabu dengan komposisi 3,067 % berat Si dan 2,981 % berat Si masing-masing memiliki nilai rata-rata kekerasan sebesar 200,13 Kgf/mm² dan 189,58 Kgf/mm². Dari hasil pengujian *macro vickers* dapat diketahui bahwa semakin banyak komposisi unsur silikon yang terkandung didalam material besi cor kelabu mengakibatkan nilai kekerasan pada material cenderung mengalami penurunan, seperti yang ditunjukkan pada gambar 21.

Hal ini disebabkan karena kehadiran unsur silikon (Si) pada material besi cor kelabu dapat mencegah atau menggantikan unsur C untuk berikatan dengan unsur Fe dalam membentuk senyawa sementit (Fe₃C). Sehingga unsur C berubah menjadi karbon bebas dan memicu terjadinya grafitisasi (pembentukan grafit). Semakin banyak unsur silikon (Si) yang terkandung didalam material, maka fasa grafit yang terbentuk didalam material akan semakin banyak dan memiliki ukuran yang besar. Secara umum fasa grafit mempunyai sifat mekanik yang lunak, hal ini dikarenakan persentase (C) *carbon* didalam fasa grafit yang cukup tinggi.



Gambar 21 Histogram hasil uji kekerasan *Macro Vickers*

4. PENUTUP

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisa hasil dan pembahasan maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Setelah dilakukan pengujian komposisi kimia (*spectrometer*), dapat diketahui bahwa besi cor kelabu sebelum dilakukan penambahan unsur silikon (*raw material*) memiliki komposisi Si sebesar 2,466 % berat. Setelah dilakukan variasi penambahan unsur silikon sebesar 100, 150, dan 200 gram kedalam 12 Kg besi cor kelabu, komposisi Si pada material besi cor kelabu cenderung mengalami peningkatan. Pada penambahan unsur silikon sebesar 100 gram, komposisi Si mengalami peningkatan menjadi 3,067 % berat. Namun setelah dilakukan penambahan unsur silikon sebesar 150 gram komposisi Si mengalami penurunan menjadi 2,981 % berat. Kemudian pada penambahan unsur silikon sebesar 200 gram, komposisi Si mengalami peningkatan menjadi 3,304 % berat.
2. Berdasarkan hasil pengujian metalografi (SEM-EDS), dapat diketahui bahwa pada struktur mikro besi cor kelabu terdapat bagian yang berwarna hitam dan berbentuk serpih (*flake*) serta terdapat bagian yang berwarna abu-abu terang. Setelah dilakukan pengujian komposisi kimia fasa pada kedua bagian tersebut dapat disimpulkan bahwa bagian yang memiliki warna hitam dan berbentuk serpih (*flake*) merupakan fasa grafit, sedangkan untuk bagian yang berwarna abu-abu terang merupakan fasa perlit. Dengan adanya penambahan unsur silikon (Si) pada material besi cor kelabu, maka dapat menyebabkan terjadinya grafitisasi (pembentukan grafit).
3. Hasil dari pengujian kekerasan *Macro Vickers* menunjukkan bahwa nilai kekerasan rata-rata tertinggi terdapat pada material besi cor kelabu dengan komposisi 2,466 % berat Si, yaitu sebesar 233,00 Kgf/mm² dan nilai kekerasan rata-rata terendah terdapat pada material besi cor kelabu dengan komposisi 3,304 % berat Si, yaitu sebesar 175,28 Kgf/mm². Sedangkan material besi cor kelabu dengan komposisi 3,067 % berat Si dan 2,981 % berat Si masing-masing memiliki nilai kekerasan rata-rata sebesar 200,13 Kgf/mm² dan 189,58 Kgf/mm². Berdasarkan hasil pengujian diatas, dapat disimpulkan bahwa seiring dengan bertambahnya komposisi silikon pada material besi cor kelabu maka nilai kekerasannya akan semakin menurun.

4.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa hal yang harus diperhatikan untuk digunakan sebagai bahan penelitian sejenis ataupun pengembangannya pada masa yang akan datang. Maka saran yang dapat diberikan yaitu sebagai berikut :

1. Melakukan analisa pengaruh penambahan unsur mangan (Mn) terhadap material besi cor kelabu.
2. Melakukan analisa pengaruh perlakuan panas (*heat treatment*) terhadap material besi cor kelabu.
3. Melakukan analisa kekuatan material dengan menggunakan pengujian tarik.

PERSANTUNAN

Terima kasih kepada Bapak Ir. Agung Setyo Darmawan, S.T., M.T selaku Pembimbing Tugas Akhir, Bapak Ir. H. Bambang Waluyo Febriantoko, S.T., M.T dan Bapak Joko Sedyono, S.T., M.Eng., Ph.D selaku Anggota Dewan Penguji I dan II atas bimbingannya dalam penulisan Laporan Tugas Akhir.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM International. (2021). Standard Test Method for Analysis of Carbon and Low-Alloy Steel by Spark Atomic Emission Spectrometry. *ASTM E415*.
<https://www.astm.org/e0415-17.html>
- ASTM International. (2017). Standard Practice for Scanning Electron Microscope Beam Size Characterization. *ASTM E986*.
<https://www.astm.org/e0986-97.html>
- ASTM International. (2003). Standard Test Method for Vickers Hardness of Metallic Materials. *ASTM E92*.
<https://www.astm.org/e0092-82r03.html>
- Campbell, J. (2003). Castings. Birmingham : Butterworth-Heinemann.
https://www.academia.edu/8794199/Castings_John_Campbell_2003
- Darmawan, A. S. (2020). Ilmu Bahan Teknik. Surakarta : Muhammadiyah University Press.
- Darmawan, A. S., & Masyrukan. (2019). Struktur Dan Sifat Material. Surakarta : Muhammadiyah University Press.
- Lutiyatmi. (2011). Pembuatan Sampel Dami (Tiruan) Berpedoman Pada Sampel Standart Bersertifikat Untuk Pengujian Spektrometer. *Jurnal Foundry*. Vol 1 No 2.
<https://polmanceper.ac.id/e-journal/index.php/Foundry/article/view/18>
- Rahmadianto, F. & Soedarmadji, W. (2017). Pengaruh Penambahan Unsur Silikon (1-3%) Pada Produk Kopel Terhadap Kekuatan Tarik, Kekerasan Dan Struktur Mikro. *CYBER TECHN*. Vol 11 No 02.
[https://garuda.kemdikbud.go.id/journal/view/22367?issue=Vol%2011%20No%2002%20\(2017\):%20CYBER%20TECHN#](https://garuda.kemdikbud.go.id/journal/view/22367?issue=Vol%2011%20No%2002%20(2017):%20CYBER%20TECHN#)

- Seidu, O. S. (2014). Effect of Compositional Changes on the Mechanical Behaviour of Grey Cast Iron. *Metallurgical Engineering (ME)*. Volume 3 Issue 2.
https://www.academia.edu/33285254/Effect_of_Compositional_Changes_on_the_Mechanical_Behaviour_of_Grey_Cast_Iron
- Singhal, P., & Saxena, K. K. (2020). Effect of silicon addition on microstructure and mechanical properties of grey cast Iron. *Materials Today*. Vol 26, Part 2, Pages 1393-1401.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214785320310348>
- Sudjana, H. (2008). Teknik Pengecoran Logam Jilid 2. Jakarta : Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.
<https://adoc.pub/queue/teknik-pengecoran-jilid-2.html>
- Surdia, T., & Chijiwa, K. (1996). Teknik Pengecoran Logam. Jakarta : PT. Pradnya Paramita.
- Surdia, T., & Saito, S. (1995). Pengetahuan Bahan Teknik. Jakarta : PT. Pradnya Paramita.
- Supriyanto. (2008). Pengaruh Kadar Silikon (Si) Terhadap Kekerasan Besi Cor Kelabu. Skripsi. Universitas Muhammadiyah Surakarta. Diakses dari
<http://eprints.ums.ac.id/1043/>
- Supriyono. (2017). Material Teknik. Surakarta : Muhammadiyah University Press.
- Umardani, Y., & Nurferdian, R, T. (2009). Pengaruh Penambahan Kandungan Silikon Pada Besi Cor Kelabu Dengan Metode Fluiditas Strip Mould Terhadap Sifat Mekanis Dan Struktur Mikro. *ROTASI*, vol 11, no 3, pp 5-12.
<https://ejournal.undip.ac.id/index.php/rotasi/article/view/2014>
- Wicaksana, R.N. (2021). Karakterisasi Besi Cor Kelabu Akibat Pengaruh FeSi 4 % + FeMn 4% Pada Proses Casting Dengan Cetakan Logam Dan Pasir. Skripsi. Universitas Muhammadiyah Surakarta. Diakses dari <http://eprints.ums.ac.id/92640/>