

Pengaruh Variasi Kandungan Silikon (Si) Sebesar 2,466% Berat, 2,981% Berat, 3,067% Berat, Dan 3,304% Berat Terhadap Struktur Mikro Dan Ketangguhan Pada Besi Cor Kelabu

**Fatchur Rochman Hidayat ; Ir. Agung Setyo Darmawan, S.T., M.T.
Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah
Surakarta**

Abstrak

Besi cor kelabu merupakan salah satu besi cor yang paling banyak digunakan dalam industri logam. Besi cor ini memiliki ketangguhan yang rendah. Sehingga diperlukan unsur paduan agar menambah ketangguhan pada besi cor kelabu. Unsur paduan yang dimaksud yaitu silikon (Si). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui komposisi kimia, stuktur mikro, dan ketangguhan pada besi cor kelabu sebelum dan sesudah ditambahkan dengan silikon (Si). Metode yang digunakan yaitu metode eksperimental dengan cara melakukan proses pengecoran dengan menambahkan bubuk silikon sebesar 100 gram, 150 gram, dan 200 gram ke dalam besi cor kelabu, kemudian dilakukan pengujian komposisi kimia menggunakan alat uji Optical Emission Spectroscopy (EOS), uji struktur mikro menggunakan alat uji SEM, dan uji ketangguhan menggunakan metode charpy. Setelah dilakukan pengujian diperoleh data komposisi silikon pada raw material sebesar 2,466% berat, pada penambahan 100 gram silikon sebesar 3,067% berat, pada penambahan 150 gram silikon sebesar 2,981% berat, dan pada penambahan 200 gram silikon sebesar 3,304% berat. Harga impak pada 2,466% berat silikon sebesar 0,058 Joule/mm², pada 2,981% berat silikon sebesar 0,063 Joule/mm², pada 3,067% berat silikon sebesar 0,062 Joule/mm², dan pada 3,304% berat silikon sebesar 0,064 Joule/mm². Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi kandungan silikon maka semakin tinggi pula ketangguhan besi cor kelabu.

Kata Kunci : Pengecoran, Besi cor kelabu, Silikon, Uji Struktur Mikro, SEM-EDS, Ketangguhan

Abstract

Gray cast iron is one of the most widely used cast irons in the metal industry. This cast iron has low toughness. So alloying elements are needed to increase the toughness of gray cast iron. The alloying element in question is silicon (Si). This research aims to determine the chemical composition, microstructure and toughness of gray cast iron before and after adding silicon (Si). The method used is an experimental method by carrying out a casting process by adding 100 grams, 150 grams and 200 grams of silicon powder to gray cast iron, then testing the chemical composition using an Optical Emission Spectroscopy (EOS) test equipment, microstructure testing using SEM test equipment, and toughness test using the Charpy method. After testing, data on the composition of silicon in the raw material was 2.466% by weight, with the addition of 100 grams of silicon it was 3.067% by weight, with the addition of 150 grams of silicon it was 2.981% by weight, and with the addition of 200 grams of silicon it was 3.304% by

weight. The impact price at 2.466% silicon by weight is 0.058 Joule/mm², at 2.981% silicon by weight is 0.063 Joule/mm², at 3.067% silicon by weight is 0.062 Joule/mm², and at 3.304% silicon by weight is 0.064 Joule/mm². So it can be concluded that the higher the silicon content, the higher the toughness of gray cast iron.

Keywords: Casting, Gray cast iron, Silicon, Microstructure Test, SEM-EDS, Toughness

1. PENDAHULUAN

Perkembangan ilmu sangat menuntut agar tersedianya suatu material yang memiliki kualitas tinggi. Salah satu material yang sangat berperan dalam dunia industri adalah material logam. Besi cor merupakan salah satu material yang paling sering digunakan dalam industri logam, baik sebagai bahan dasar rangka industri hingga produk-produk lain seperti komponen kendaraan, pump casing, sistem pemipaan, maupun komponen generator.

Dari beberapa besi cor yang ada, besi cor kelabu (grey cast iron) merupakan besi cor yang paling banyak digunakan karena besi cor kelabu memiliki banyak sifat yang menguntungkan, antara lain : mudah di cor menjadi bentuk yang rumit, mudah dilakukan proses permesinan, tahan gesekan, mempunyai kemampuan meredam getaran yang tinggi, mempunyai kekuatan tekan yang tinggi, sifat ketahanan korosinya lebih baik dari baja konstruksi biasa, dan harganya relative lebih murah.

Dalam penelitian ini besi cor kelabu ditambah unsur Silikon (Si). Adanya penambahan unsur Si (Silikon) bertujuan untuk mengurai sementit menjadi Fe (ferit atau perlit) dan C (grafit). Bentuk grafitnya berupa serpih sehingga secara sederhana dapat dikatakan bahwa fasa besi cor kelabu berupa ferit/perlit + grafit serpih dengan sifat : agak getas yang dikarenakan ujung-ujung grafit berbentuk serpih tajam, akibatnya konsentrasi tegangan tinggi sehingga mudah patah.

Silikon juga merupakan unsur yang dapat menaikkan pembentukan grafik bulat, sehingga inokulasi dengan ferro-silikon (75% Si) dapat dihasilkan grafit bulat yang lebih banyak, bulat dan seragam (Nurferdian & Umardani, 2009).

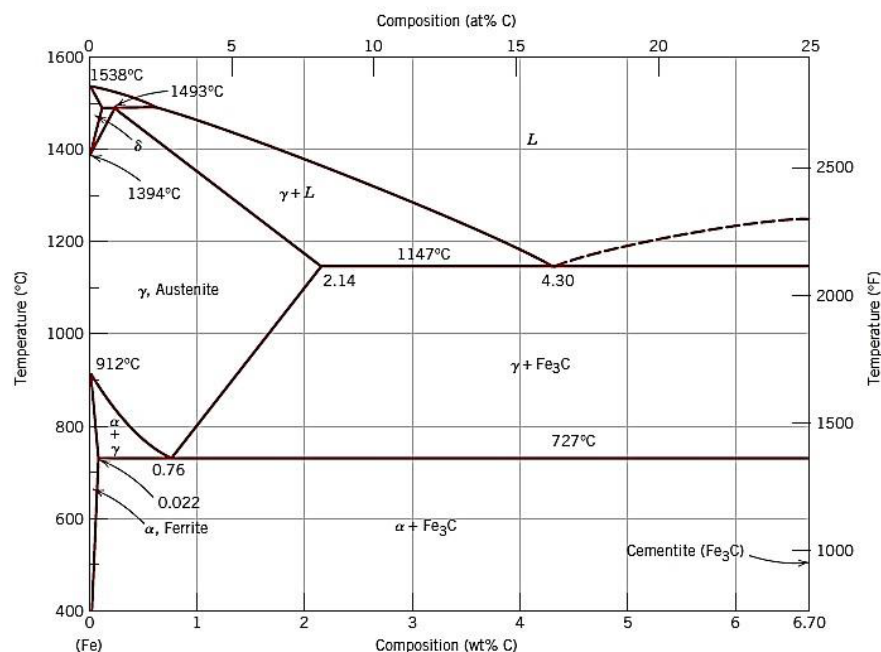
Besi cor adalah jenis paduan besi dengan kadar karbon di atas 2,14%. Tapi dalam kehidupan sehari-hari biasanya dijumpai besi cor dengan kadar karbon mulai dari 3% hingga 4,5% ditambah dengan paduan lainnya. Dalam diagram Fe-Fe₃C besi

cor dalam kondisi cair sepenuhnya pada suhu 1150 °C sampai 1300 °C (Darmawan 2020).

Besi cor pada dasarnya bersifat getas sehingga diperlukan teknik pengecoran yang baik dalam proses fabrikasi. Dalam besi cor, karbon yang muncul yaitu berupa grafit dan perilaku mekaniknya tergantung struktur penyusunnya dan pengaruh perlakuan panas (Supriyono, 2017).

Diagram fasa adalah grafik yang digunakan untuk menunjukkan kondisi kesetimbangan antara fasa-fasa yang berbeda dari suatu unsur atau paduan yang tertentu (Callister & Rethwisch, 2014).

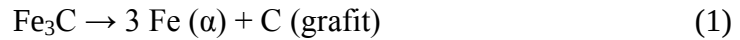
Diagram fasa adalah grafik yang digunakan untuk menunjukkan kondisi kesetimbangan antara fasa-fasa yang berbeda dari suatu unsur atau paduan yang tertentu. Diagram fasa besi-besi karbida ditunjukkan pada Gambar 1 (Darmawan, 2020).



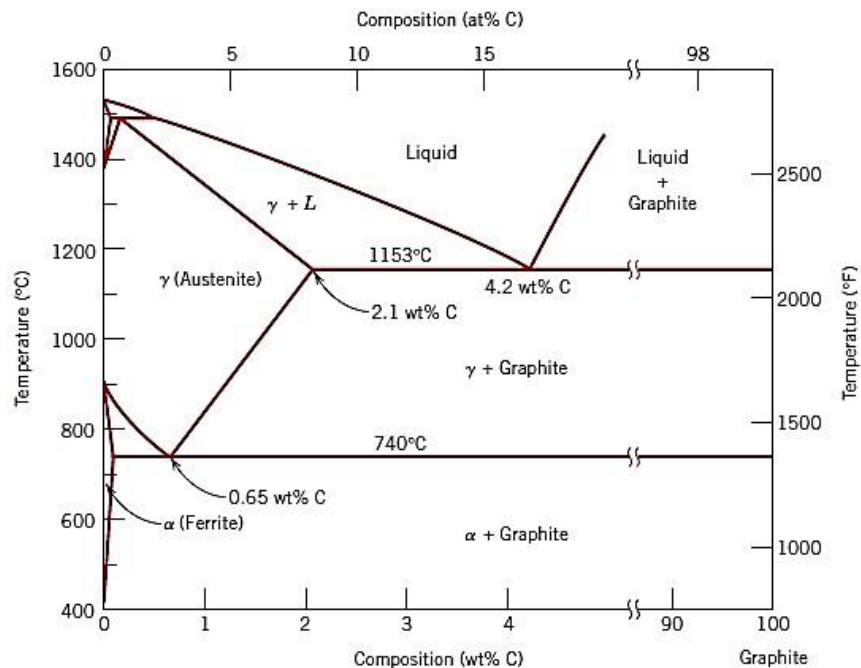
Gambar 1 Diagram fasa besi karbida

Komponen umum diagram fasa adalah garis kesetimbangan atau batas fasa, yang merujuk pada garis yang menandakan terjadinya transformasi fasa. Garis solidus adalah temperatur dimana di bawah garis tersebut bahan stabil dalam keadaan padat. Garis likuidus adalah temperatur dimana di atas temperatur tersebut bahan stabil dalam keadaan cair (Siswanto, 2014). Cementite (Fe_3C) adalah senyawa

metastabil, dan dalam beberapa keadaan dapat dibuat terdekomposisi membentuk α -ferrite dan grafit, sesuai dengan reaksi



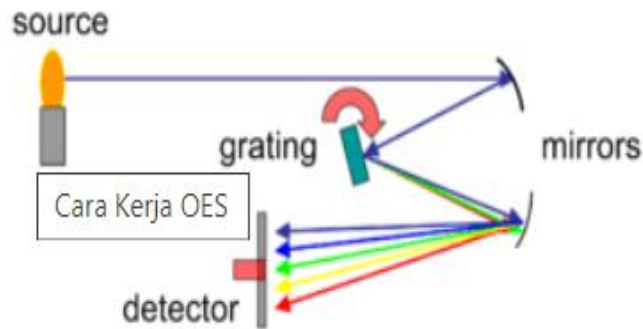
Dengan demikian, diagram keseimbangan sejati untuk besi dan karbon tidak disajikan pada Gambar 1, tetapi lebih seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2 diagram keseimbangan fasa besi karbon. Kedua diagram tersebut hampir identik pada sisi kaya zat besi (misalnya, suhu eutektik dan eutektoid untuk sistem Fe-Fe₃C adalah 1147°C dan 727°C, dibandingkan dengan 1153°C dan 740°C untuk Fe-C). Namun, Gambar 2 meluas hingga 100% berat C sehingga grafit adalah fasa kaya karbon, bukan sementit pada 6,7% berat C (Gambar 2).



Gambar 2 Diagram keseimbangan fasa besi karbon (Massalski, 1990)

Kecenderungan untuk membentuk grafit ini diatur oleh komposisi dan laju pendinginan. Pembentukan grafit dipromosikan oleh kehadiran silikon dalam konsentrasi lebih besar dari sekitar 1% berat. Juga, laju pendinginan yang lebih lambat selama solidifikasi mendukung grafitisasi (pembentukan grafit). Untuk sebagian besar besi cor, karbon ada sebagai grafit, dan struktur mikro dan perilaku mekanik tergantung pada komposisi dan perlakuan panas. Jenis besi cor yang paling umum adalah grafit abu-abu, nodular, putih, mudah dibentuk (*malleable*), dan grafit terpadatkan (*compact graphite*).

Persentase unsur kimia yang terkandung di dalam baja sangat mempengaruhi sifat mekanis dari baja yang bersangkutan. Jenis-jenis baja pada umumnya ditentukan berdasarkan kandungan unsur karbon yang terkandung di dalam material baja tersebut (Fitri dkk, 2013).

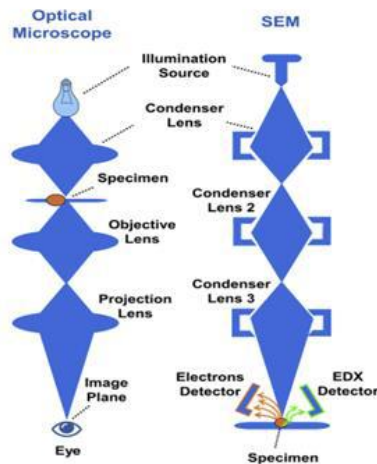


Gambar 3 Optical Emission Spectroscopy (OES)

Sumber : <https://www.detech.co.id/uji-komposisi-kimia/>

Pada gambar 3 menunjukkan alat uji komposisi kimia yaitu Spektroskopi. Dalam dunia industri logam, pengujian komposisi kimia dari suatu logam penting dilakukan untuk memastikan kualitas sebuah produk, terutama pada proses *incoming quality assurance*. Pada saat penerimaan material di industri manufaktur baik sebagai bahan baku produksi maupun sebagai komponen konstruksi yang siap pakai.

Uji struktur mikro merupakan pengamatan fasa yang terbentuk pada proses *quenching*. pada proses tersebut fasa yang terbentuk adalah fasa martensit yang terbentuk karena pendinginan yang sangat cepat sekali. Media pendingin air biasa digunakan untuk mendapatkan struktur martensit. Setruktur tersebut akan terbentuk semakin banyak jika kandungan unsur karbon dalam benda kerja semakin banyak pula (Fitri dkk, 2013).

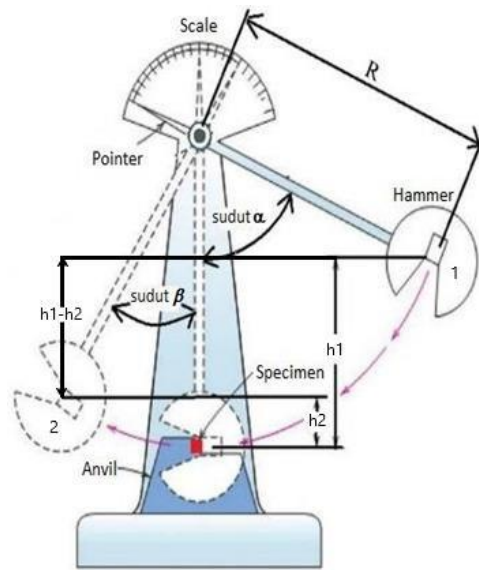


Gambar 4 Skema sistem mikroskop optic dan SEM (Girao, Caputo, & Ferro, 2017)

Pada Gambar 4 dijelaskan 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).

Uji ketangguhan dilakukan dengan pengujian impak untuk mengetahui kelakuan patah pada material yang diuji. Pengujian impak pada dasarnya terdapat dua metode yaitu *Charpy* dan *Izod*. Metode tersebut biasanya digunakan untuk mengukur energi impak atau ketangguhan takik (*notch toughness*). Spesimen berbentuk batang dengan penampang lintang bujursangkar dengan takikan V oleh proses pemesinan.

Mesin uji impak diilustrasikan pada gambar 5. Beban didapat dari tumbukan oleh pendulum yang dilepas dari posisi ketinggian h . Ketika dilepas, ujung pendulum akan menabrak dan mematahkan spesimen ditakikannya yang bekerja sebagai titik konsentrasi tegangan untuk pukulan impak kecepatan tinggi (Darmawan dan Masyrukan, 2019).



Gambar 5 Skematik alat uji impak (Darmawan dan Masyrukan 2019)

Dalam suatu pengujian impak secara *charpy* spesimen diletakkan secara horizontal dengan setiap ujungnya ditahan oleh penahan kemudian pendulum dinaikkan setinggi h kemudian dilepaskan dan mengenai spesimen sampai patah sehingga pendulum tetap berayun dengan tingginya menjadi h_1 . Maka nilai energi impak yang dibutuhkan untuk mematahkan spesimen dapat dicari dengan rumus :

$$E_1 = W \cdot h_1$$

$$E_2 = W \cdot h_2$$

$$\Delta E = W (h_1 - h_2) \quad (2.1)$$

Dari gambar 5 diperoleh :

$$h_1 - h_2 = R (\cos \beta - \cos \alpha) \quad (2.2)$$

Sehingga dari persamaan (2.2) disubstitusikan ke persamaan (2.1) diperoleh :

$$\Delta E = W \cdot R (\cos \beta - \cos \alpha) \quad (2.3)$$

Selanjutnya untuk menentukan harga impak dapat dicari dengan rumus:

$$HI = \Delta E / A \quad (2.4)$$

Keterangan :

ΔE : Energi impak (J)

E_1 : Energi awal (J)

E_2 : Energi akhir (J)

W : Berat bandul (N)

h_1 : Ketinggian pendulum sebelum dilepas (mm)

h_2 : Ketinggian pendulum setelah dilepas (mm)

R : Panjang lengan bandul (mm)

α : Sudut awal ($^\circ$)

β : Sudut akhir ($^\circ$)

HI : Harga impak (J/mm^2)

A : Luas penampang di bawah takikan (mm^2)

di mana luas penampang di bawah takikan (A) adalah :

$$A = l \times t \quad (2.5)$$

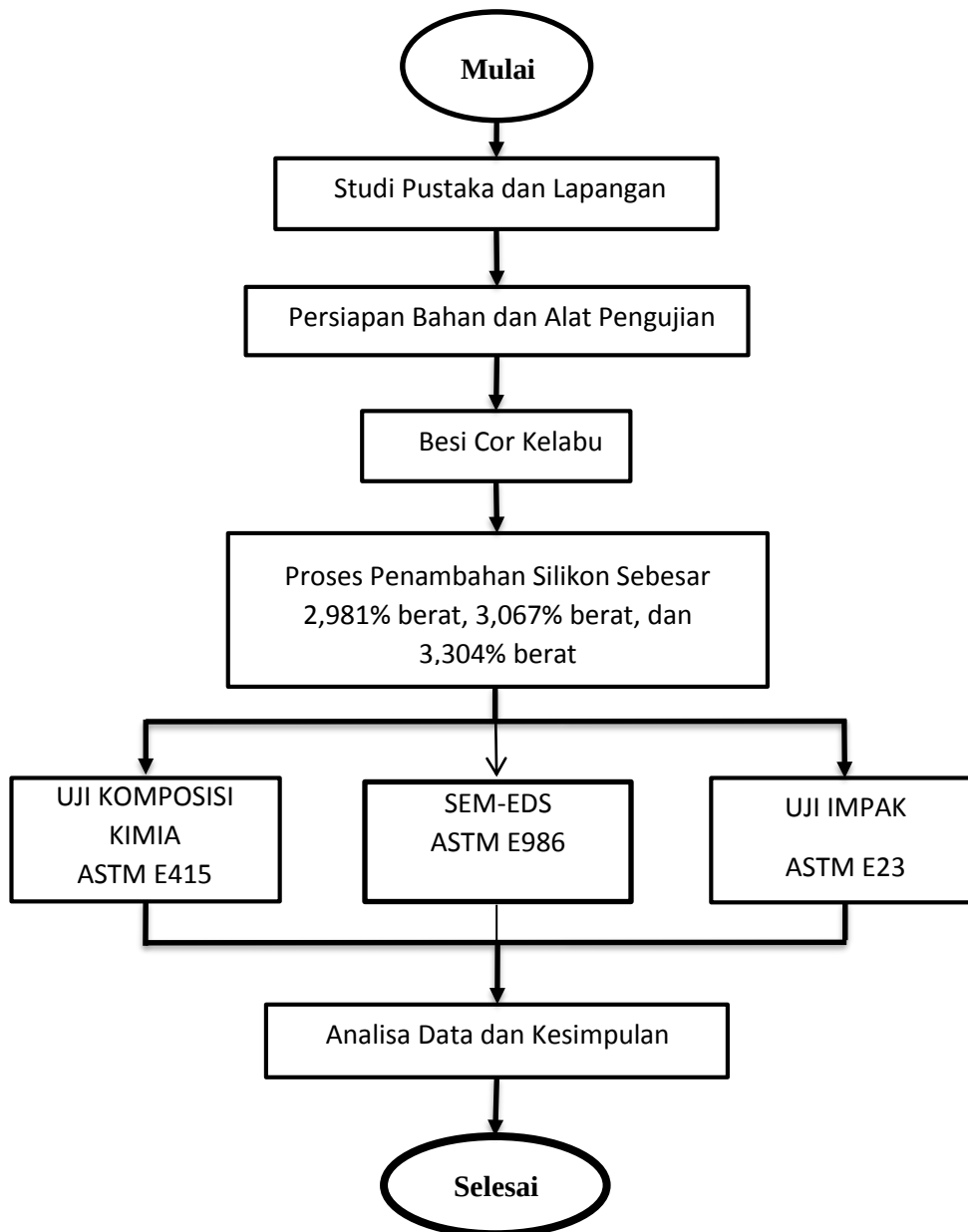
Keterangan :

l : Lebar (mm)

t : Tinggi (mm)

2 METODE

2.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 6 Diagram alir penelitian

2.2 Alat dan Bahan Penelitian

- Alat :
- a. Gerinda Potong
 - b. Amplas
 - c. Tungku Peleburan
 - d. Vernie Kaliper
 - e. Thermocouple

f. Alat Uji SEM

g. Alat Uji EDS

h. Alat uji Impak Charpy

Bahan : a. Besi Cor Kelabu

b. Bubuk Silikon

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 HASIL PENGUJIAN KOMPOSISI KIMIA

Pengujian komposisi kimia dilakukan menggunakan alat uji Optical Emission Optic (OES) di Politeknik Manufaktur Ceper. Pengujian komposisi kimia dilakukan untuk mengetahui komposisi kimia dan kadar setiap unsur yang terkandung dalam besi cor kelabu.

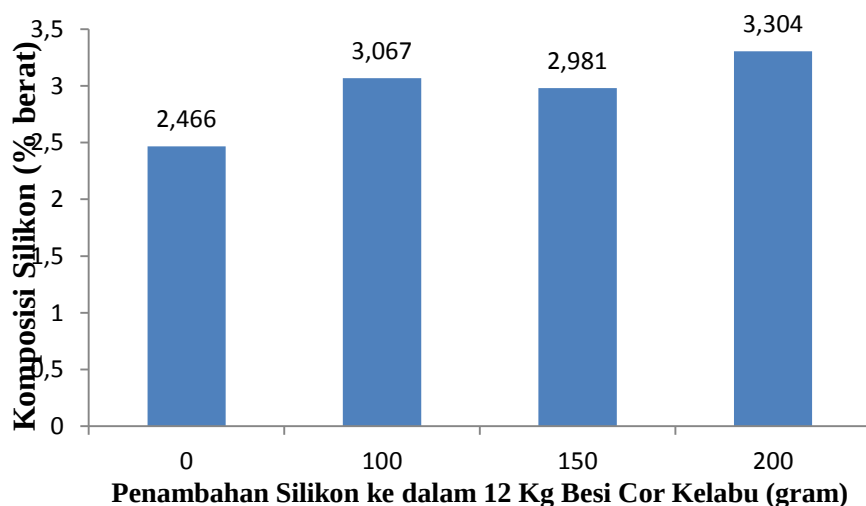
Data pengujian diperoleh dengan menunjukkan unsur-unsur yang terkandung di dalam besi cor kelabu. Hasil dari pengujian komposisi kimia ini ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Tabel Hasil Pengujian Komposisi Kimia Pada Besi Cor Kelabu

No	Unsur	Komposisi Besi Cor Kelabu			
		Raw Material (% berat)	Penambahan Si 100 gram (% berat)	Penambahan Si 150 gram (% berat)	Penambahan Si 200 gram (% berat)
1	C	3,174	3,462	3,295	3,110
2	Si	2,466	3,067	2,981	3,304
3	Mn	0,434	0,495	0,461	0,498
4	P	0,052	0,027	0,042	0,060
5	S	0,074	0,111	0,101	0,086
6	Cr	0,082	0,087	0,070	0,062
7	Mo	<0,0100	<0,0100	<0,0100	<0,0100
8	Ni	0,134	0,067	0,035	0,032
9	Cu	0,055	0,059	0,043	0,041
10	Al	<0,0050	<0,0050	<0,0050	0,0062

11	Co	<0,0050	<0,0050	<0,0050	<0,0050
12	Mg	<0,0050	<0,0050	<0,0050	<0,0050
13	Nb	0,011	0,016	0,015	0,0093
14	Ti	0,012	0,014	0,014	0,015
15	V	<0,0050	<0,0050	<0,0050	<0,0050
16	W	<0,0100	<0,0100	<0,100	<0,100
17	Fe	93,51	92,57	92,94	92,78

Pada Tabel 1 kandungan Fe dan C berubah sebelum dan sesudah ditambahkan dengan silikon. Hal ini dapat terjadi karena unsur silikon yang ditambahkan ke dalam besi cor kelabu menyebabkan sementit (Fe_3C) terdekomposisi membentuk ferit dan grafit. Dalam hal ini ferit berupa Fe dan grafit berupa C, sehingga grafit (C) yang terbentuk akan lebih besar dan ferit (Fe) yang terbentuk menjadi lebih kecil. Terbukti pada tabel 1 raw material mengandung 3,174 % berat C dan 93,51% berat Fe, pada penambahan Si 100 gram mengandung 3,462% berat C dan 9,57% berat Fe, pada penambahan Si 150 gram mengandung 3,295% berat C dan 92,94% berat Fe, dan pada penambahan Si 200 gram mengandung 3,110% berat C dan 92,78% berat Fe. Sehingga dapat disimpulkan bahwa silikon dapat mempengaruhi terbentuknya grafit (C) dan ferit (Fe).



Gambar 7 Grafik Komposisi Silikon pada Besi Cor Kelabu (% berat)

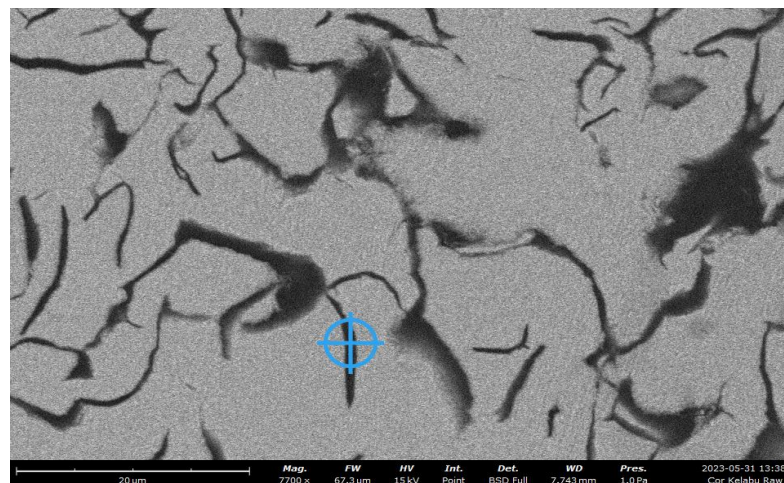
Dari gambar 7 dapat dilihat bahwa penambahan silikon ke dalam 12 Kg besi cor kelabu mempengaruhi komposisi kandungan silikon pada besi cor kelabu.

Sehingga dapat dilihat bahwa komposisi silikon pada raw material sebesar 2,466 % berat, pada penambahan 100 gram silikon sebesar 3,067 % berat, pada penambahan 150 gram silikon sebesar 2,981 % berat, dan pada penambahan 200 gram silikon sebesar 3,304 % berat. Pada penambahan silikon sebesar 150 gram komposisi silikon pada besi cor kelabu lebih kecil dibandingkan dengan penambahan silikon sebesar 100 gram dikarenakan adanya penguapan yang tidak stabil pada saat proses pengecoran.

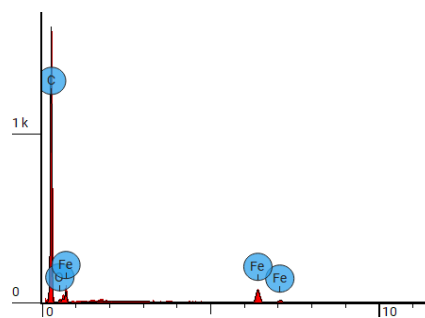
3.2 Pengujian Metalografi

Pengujian Metalografi menggunakan alat uji SEM-EDS. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui fasa yang terjadi pada besi cor kelabu. Pada penelitian ini, pengujian dilakukan pada 4 spesimen yaitu pada raw material besi cor kelabu, besi cor kelabu dengan penambahan Si 100 gram, 150 gram dan 200 gram. Pengujian metalografi ini dilakukan pada fasa perlit dan grafit.

Pengujian Metalografi Pada Besi Cor Kelabu 2,466% berat Si



Gambar 8 Titik mikrograf SEM pada fasa grafit besi cor kelabu 2,466% berat Si

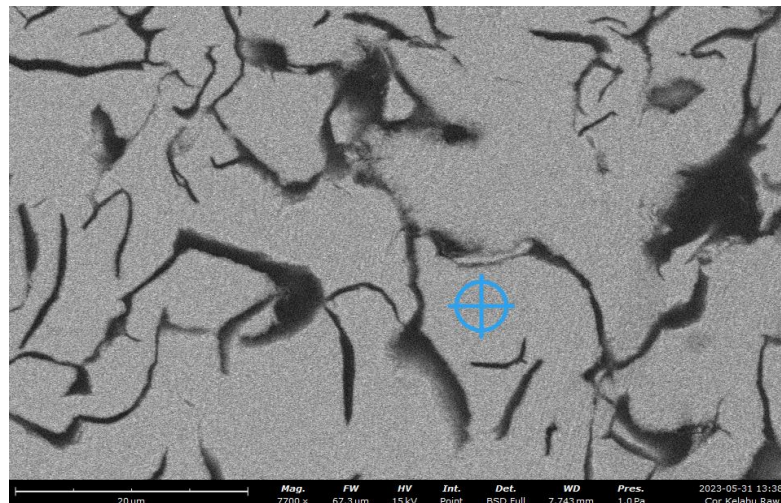


Gambar 9 Line analysis fasa grafit besi cor kelabu 2,466% berat Si

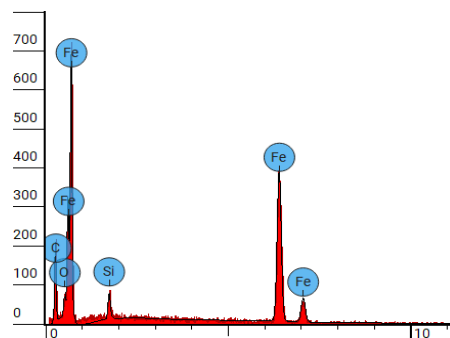
Tabel 2 Data hasil uji EDS pada fasa grafit besi cor kelabu 2,466% berat Si

	Element Number	Element Symbol	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.
	6	C	Carbon	92.675	75.676
	8	O	Oxygen	1.288	1.401
	26	Fe	Iron	6.037	22.923

Berdasarkan titik uji gambar 8 pada fasa grafit didapatkan analisis dari beberapa unsur komposisi kimia pada fasa grafit besi cor kelabu 2,466% berat Si yang ditunjukkan pada gambar 9 dan tabel 2, di mana unsur Fe (*Ferro*) sebesar 22,923% berat, unsur C (*Carbon*) sebesar 75,676% berat, dan unsur O (*Oxygen*) sebesar 1,2% berat. Adanya unsur O (*Oxygen*) menunjukkan bahwa spesimen telah teroksidasi. Kandungan karbon sebesar 75,675% berat menunjukkan fasa ini berupa fasa grafit yang secara teoritis mempunyai kandungan karbon 100% berat.



Gambar 10 Titik mikrograf SEM pada fasa Perlit besi cor kelabu 2,466% berat Si



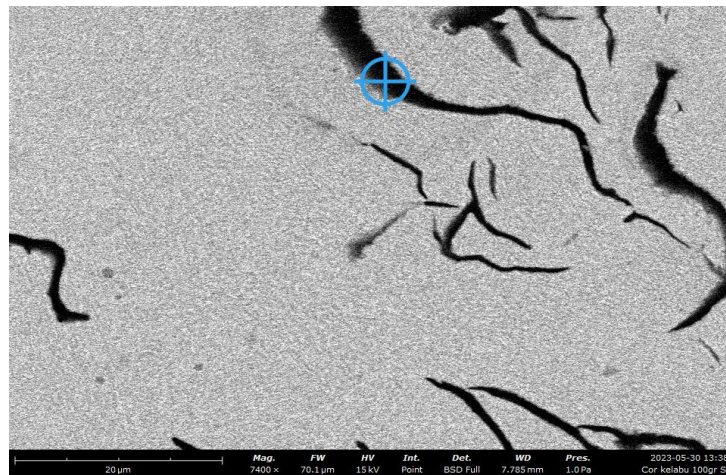
Gambar 11 Line analysis fasa perlit besi cor kelabu 2,466% berat Si

Tabel 3 Data hasil uji EDS pada fasa perlit besi cor kelabu 2,466% berat Si

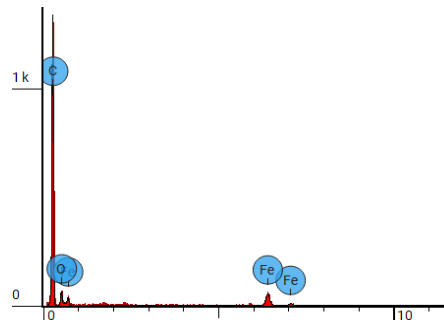
	Element Number	Element Symbol	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.
	6	C	Carbon	36.136	11.300
	8	O	Oxygen	2.400	1.000
	14	Si	Silicon	2.324	1.700
	26	Fe	Iron	59.139	86.000

Berdasarkan titik uji gambar 10 pada fasa perlit didapatkan analisis dari beberapa unsur komposisi kimia pada fasa perlit besi cor kelabu 2,466% berat Si yang ditunjukkan pada gambar 11 dan tabel 3, di mana unsur Fe (*Ferro*) sebesar 86% berat, unsur C (*Carbon*) sebesar 11,3% berat, unsur O (*Oxygen*) sebesar 1% berat, dan unsur Si (*Silicon*) sebesar 1,7%. Kandungan karbon 11,3% berat menunjukkan adanya fasa sementit yang bercampur dengan ferit sehingga membentuk perlit.

Pengujian Metalografi Pada Besi Cor Kelabu 3,067% berat Si



Gambar 12 Titik mikrograf SEM pada fasa Grafit besi cor kelabu 3,067% berat Si

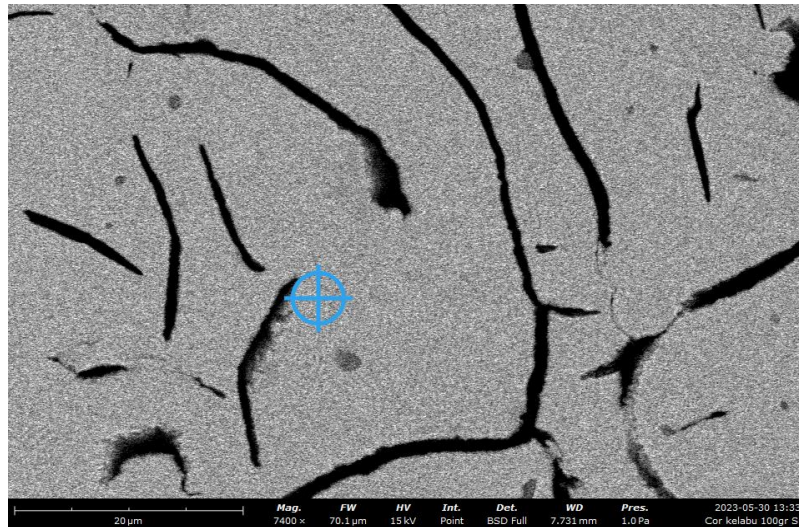


Gambar 13 Line analysis fasa Grafit besi cor kelabu 3,067% berat Si

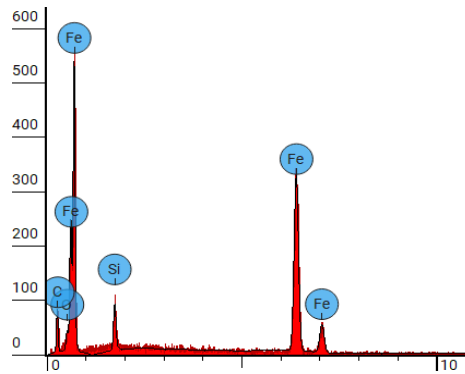
Tabel 4 Data hasil uji EDS pada fasa grafit besi cor kelabu 3,067% berat Si

	Element Number	Element Symbol	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.
	6	C	Carbon	88.036	73.626
	8	O	Oxygen	7.263	8.092
	26	Fe	Iron	4.701	18.282

Berdasarkan titik uji gambar 12 pada fasa grafit didapatkan analisis dari beberapa unsur komposisi kimia pada fasa grafit besi cor kelabu 3,067% berat Si yang ditunjukkan pada gambar 13 dan tabel 4, di mana unsur Fe (*Ferro*) sebesar 18,282% berat, unsur C (*Carbon*) sebesar 73,626% berat, dan unsur O (*Oxygen*) sebesar 8,092% berat. Adanya unsur O (*Oxygen*) menunjukkan bahwa spesimen telah teroksidasi. Kandungan karbon sebesar 73,626% berat menunjukkan fasa ini berupa fasa grafit yang secara teoritis mempunyai kandungan karbon 100% berat. Tidak terlihat perubahan ukuran fasa grafit yang cukup berarti dibandingkan dengan raw material.



Gambar 14 Titik mikrograf SEM pada fasa perlit besi cor kelabu 3,067% berat Si



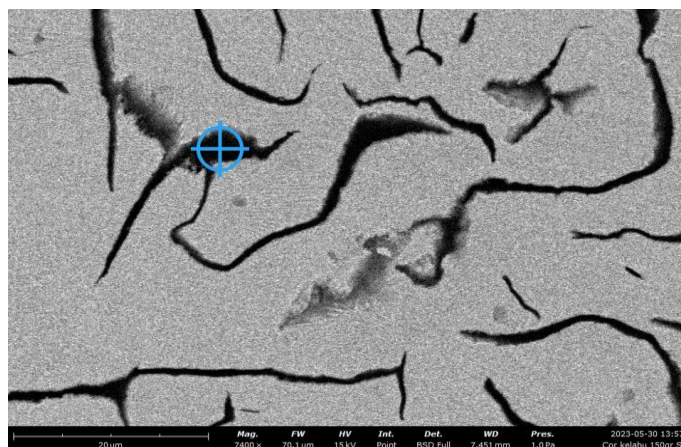
Gambar 15 Line analysis fasa perlit besi cor kelabu 3,067% berat Si

Tabel 5 Data hasil uji EDS pada fasa perlit besi cor kelabu 3,067% berat Si

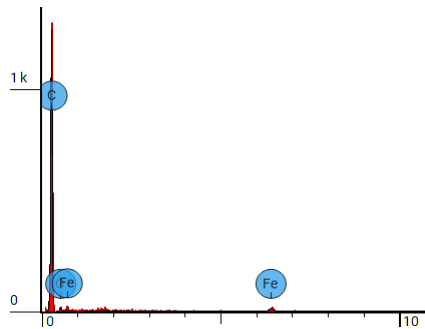
	Element Number	Element Symbol	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.
	6	C	Carbon	25.765	7.300
	8	O	Oxygen	2.384	0.900
	14	Si	Silicon	4.376	2.900
	26	Fe	Iron	67.474	88.900

Berdasarkan titik uji gambar 14 pada fasa perlit didapatkan analisis dari beberapa unsur komposisi kimia pada fasa perlit besi cor kelabu 3,067% berat Si yang ditunjukkan pada gambar 15 dan tabel 5, di mana unsur Fe (*Ferro*) sebesar 88,9% berat, unsur C (*Carbon*) sebesar 7,3% berat, unsur O (*Oxygen*) sebesar 0,9% berat, dan unsur Si (*Silicon*) sebesar 2,9%. Kandungan karbon 7,3% berat menunjukkan adanya fasa sementit yang bercampur dengan ferit membentuk perlit.

Pengujian Metalografi Pada Besi Cor Kelabu 2,981% Berat Si



Gambar 16 Titik mikrograf SEM pada fasa grafit besi cor kelabu 2,981% berat Si

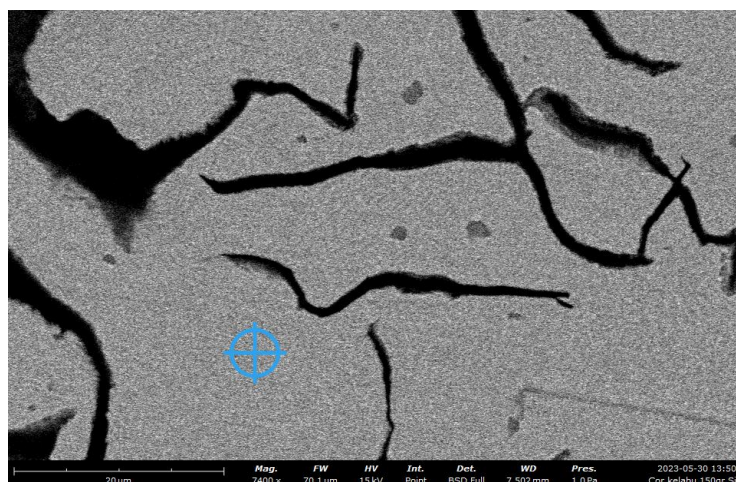


Gambar 17 Line analysis fasa grafit besi cor kelabu 150 gram Si

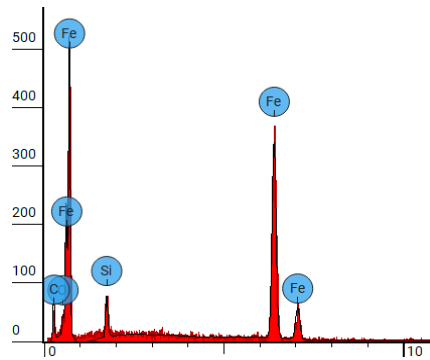
Tabel 6 Data hasil uji EDS pada fasa grafit besi cor kelabu 2,981% berat Si

	Element Number	Element Symbol	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.
	6	C	Carbon	94.560	88.956
	8	O	Oxygen	4.086	5.120
	26	Fe	Iron	1.354	5.924

Berdasarkan titik uji gambar 16 pada fasa grafit didapatkan analisis dari beberapa unsur komposisi kimia pada fasa grafit besi cor kelabu 2,981% berat Si yang ditunjukkan pada gambar 17 dan tabel 6, di mana unsur Fe (*Ferro*) sebesar 5,924% berat, unsur C (*Carbon*) sebesar 88,956% berat, dan unsur O (*Oxygen*) sebesar 5,120% berat. Adanya unsur O (*Oxygen*) menunjukkan bahwa spesimen telah teroksidasi. Kandungan karbon sebesar 88,956% berat menunjukkan fasa ini berupa fasa grafit yang secara teoritis mempunyai kandungan karbon 100% berat. Fasa grafit terlihat lebih besar dibandingkan dengan fasa grafit pada raw material besi cor kelabu.



Gambar 18 Titik mikrograf SEM pada fasa perlit besi cor kelabu 2,981% berat Si



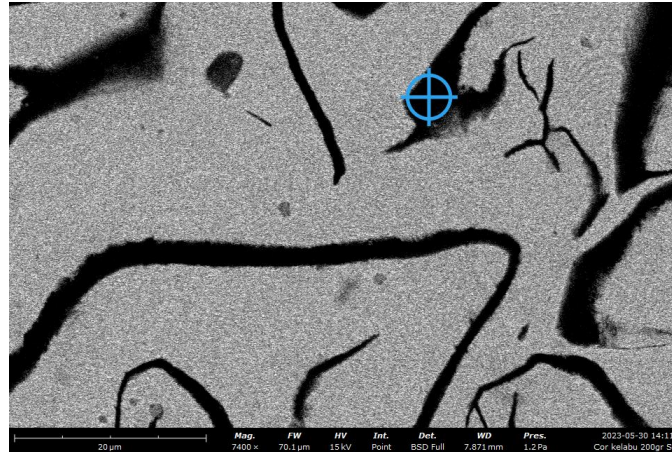
Gambar 19 Line analysis fasa perlit besi cor kelabu 2,981% berat Si

Tabel 7 Data hasil uji EDS pada fasa perlit besi cor kelabu 2,981% berat Si

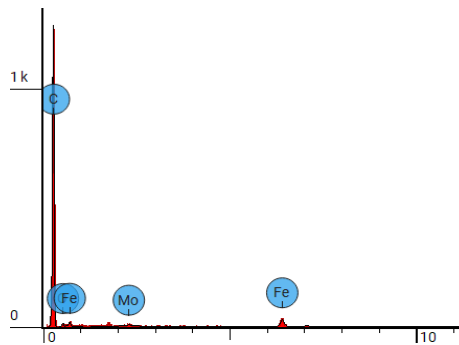
	Element Number	Element Symbol	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.
	6	C	Carbon	26.355	7.500
	8	O	Oxygen	2.638	1.000
	14	Si	Silicon	3.756	2.500
	26	Fe	Iron	67.252	89.000

Berdasarkan titik uji gambar 18 pada fasa perlit didapatkan analisis dari beberapa unsur komposisi kimia pada fasa perlit besi cor kelabu 2,981% berat Si yang ditunjukkan pada gambar 19 dan tabel 7, di mana unsur Fe (*Ferro*) sebesar 89% berat, unsur C (*Carbon*) sebesar 7,5% berat, unsur O (*Oxygen*) sebesar 1% berat, dan unsur Si (*Silicon*) sebesar 2,5% berat. Kandungan karbon sebesar 7,5% berat menunjukkan adanya fasa sementit yang bercampur dengan fasa ferit membentuk fasa perlit.

Pengujian Metalografi Pada Besi Cor Kelabu 3,304% berat Si



Gambar 20 Titik mikrograf SEM pada fasa grafit besi cor kelabu 3,304% berat Si



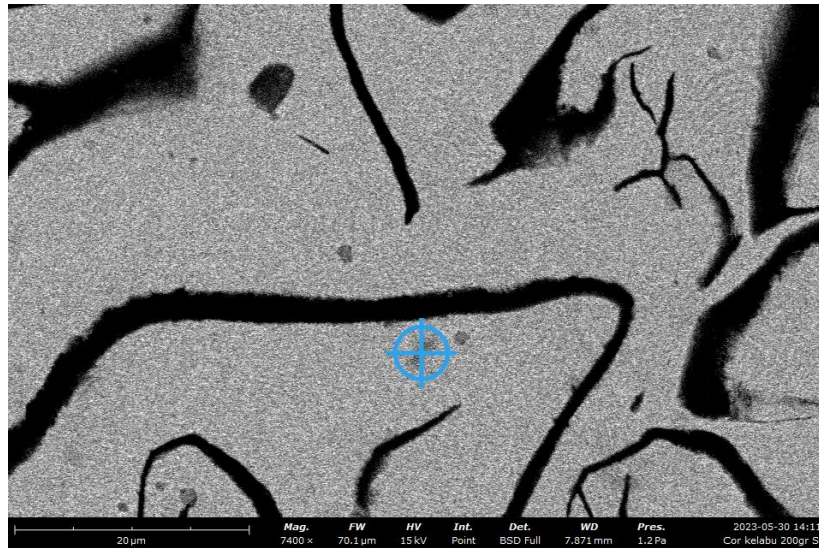
Gambar 21 Line analysis fasa grafit besi cor kelabu 3,304% berat Si

Tabel 8 Data hasil uji EDS pada fasa grafit besi cor kelabu 3,304% berat Si

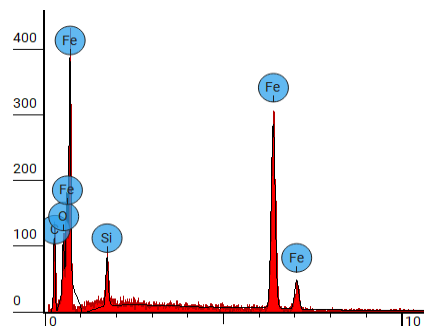
	Element Number	Element Symbol	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.
	6	C	Carbon	94.206	83.233
	8	O	Oxygen	2.559	3.012
	26	Fe	Iron	3.079	12.651
	42	Mo	Molybdenum	0.156	1.104

Berdasarkan titik uji gambar 20 pada fasa grafit didapatkan analisis dari beberapa unsur komposisi kimia pada fasa grafit besi cor kelabu 3,304% berat Si yang ditunjukkan pada gambar 21 dan tabel 8, di mana unsur Fe (*Ferro*) sebesar 12,651% berat, unsur C (*Carbon*) sebesar 83,233% berat, unsur O (*Oxygen*) sebesar 3,012% berat, dan unsur Mo (*Molybdenum*) sebesar 1,104% berat. Adanya unsur O (*Oxygen*) menunjukkan bahwa spesimen telah teroksidasi. Kandungan karbon sebesar 83,233% berat menunjukkan fasa ini berupa fasa grafit

yang secara teoritis mempunyai kandungan karbon 100% berat. Fasa grafit terlihat lebih besar dibandingkan dengan fasa grafit pada raw material besi cor kelabu.



Gambar 22 Titik mikrograf pada fasa perlit besi cor kelabu 3,304% Si



Gambar 23 Line analysis fasa perlit besi cor kelabu 3,304% berat Si

Tabel 9 Data hasil uji EDS pada fasa perlit besi cor kelabu 3,304% berat Si

	Element Number	Element Symbol	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.
	6	C	Carbon	42.825	15.500
	8	O	Oxygen	7.466	3.600
	14	Si	Silicon	3.308	2.800
	26	Fe	Iron	46.402	78.100

Berdasarkan titik uji gambar 22 pada fasa perlit didapatkan analisis dari beberapa unsur komposisi kimia pada fasa perlit besi cor kelabu 3,304% berat Si yang ditunjukkan pada gambar 23 dan tabel 9, dimana unsur Fe (*Ferro*) sebesar 78,1% berat, unsur C (*Carbon*) sebesar 15,5% berat, unsur O (*Oxygen*) sebesar

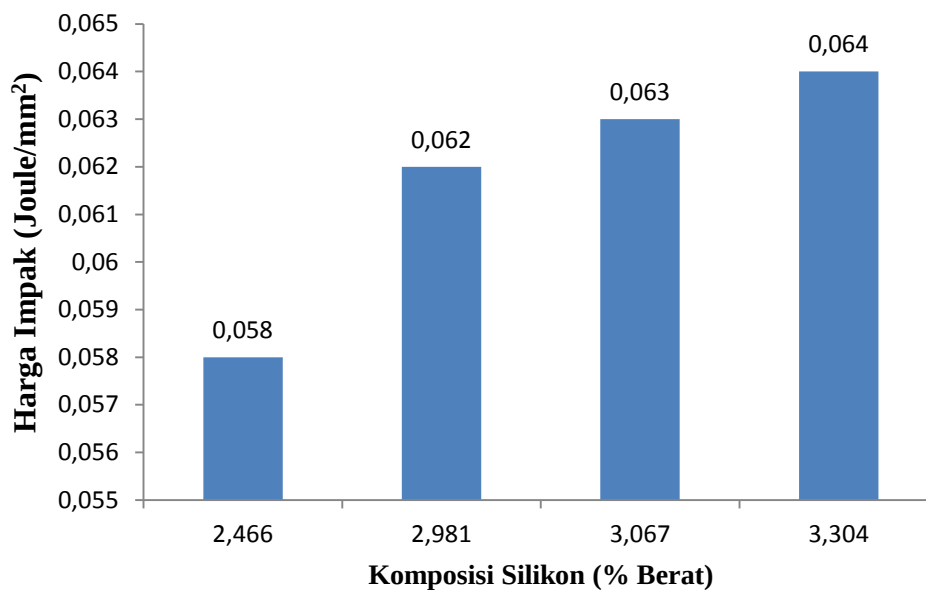
3,6% berat, dan unsur Si (*Silicon*) sebesar 2,8% berat. Kandungan karbon sebesar 15,5% berat menunjukkan adanya fasa sementit yang bercampur dengan fasa ferit membentuk fasa perlit.

3.3 Pengujian Ketangguhan

Pengujian impak atau ketangguhan digunakan untuk mengukur ketangguhan suatu material. Ketangguhan suatu material adalah kemampuan dari material tersebut untuk menyerap energi pada daerah plastis. Pengujian ketangguhan yang digunakan pada penelitian ini menggunakan metode Charpy. Pengujian dilakukan dengan memvariasi spesimen uji dengan penambahan silikon yaitu sebesar 100 gram, 150 gram, dan 200 gram. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Bahan Teknik Departemen Teknik Mesin Sekolah Vokasi Universitas Gadjah Mada. Data yang diperoleh dari pengujian ini dapat dilihat pada tabel 4.10. Alat uji mempunyai panjang lengan ayun sebesar 0,8 meter dan berat pendulum sebesar 20 Kilogram.

Tabel 10 Data hasil pengujian impak

No	kode	Sudut α (°)	Energi Terpasang (Joule)	Sudut β (°)	Energi Terserap (Joule)	Energi Terserap rata-rata (Joule)	Luas Penampang Patah (mm ²)	Harga Impak (Joule/mm ²)	Harga Impak rata-rata (Joule/mm ²)
1	Raw 1	151	300	147,7	4,7	4,85	83,0	0,057	0,058
2	Raw 2	151	300	147,5	5,0		84,6	0,059	
3	100.1	151	300	147,5	5,0	5,2	83,5	0,060	0,063
4	100.2	151	300	147,2	5,4		82,6	0,066	
5	150.1	151	300	147,5	5,0	5,0	83,1	0,060	0,062
6	150.2	151	300	147,5	5,0		78,4	0,064	
7	200.1	151	300	147,5	5,0	5,2	82,4	0,061	0,064
8	200.2	151	300	147,2	5,4		81,6	0,067	



Gambar 24 Grafik Harga impact pada besi cor kelabu (Joule/mm²)

Dari gambar 24 dapat dilihat pada komposisi silikon 2,466 % berat menghasilkan harga impact sebesar 0,058 Joule/mm², pada komposisi silikon sebesar 2,981 % berat menghasilkan harga impact sebesar 0,062 Joule/mm², pada komposisi silikon sebesar 3,067 % berat menghasilkan harga impact sebesar 0,063 Joule/mm², dan pada komposisi silikon sebesar 3,304 % berat menghasilkan harga impact sebesar 0,064 Joule/mm². Sehingga dapat disimpulkan bahwa komposisi silikon (% berat) berbanding lurus dengan harga impact (Joule/mm²). Pada rentang penelitian ini, semakin tinggi kandungan silikon maka semakin besar pula harga impact. Peningkatan harga impact disebabkan oleh adanya peningkatan ukuran grafit.

4. PENUTUP

4.1 Kesimpulan

Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa :

1. Komposisi kandungan silikon pada besi cor kelabu mengalami kenaikan. Pada raw material memiliki komposisi silikon sebesar 2,466% berat, pada penambahan 100 gram silikon sebesar 3,067% berat, pada penambahan

150 gram silikon sebesar 2,981, dan pada penambahan 200 gram silikon sebesar 3,304% berat. Sehingga dapat disimpulkan bahwa komposisi kandungan silikon pada besi cor kelabu setelah ditambahkan silikon sebesar 100 gram, 150 gram, dan 200 gram mengalami kenaikan dibandingkan dengan raw material.

2. Tidak ada perubahan fasa yang terjadi akibat penambahan silikon, akan tetapi ukuran fasa grafit pada silikon sebesar 2,981% berat dan 3,304% berat terlihat lebih besar dibandingkan dengan 2,466% berat (raw material). Sedangkan pada silikon sebesar 3,067% berat tidak terlihat adanya perubahan ukuran fasa grafit yang cukup berarti dibandingkan dengan 2,466% berat (raw material).
3. Ketangguhan besi cor kelabu menjadi meningkat setelah ditambahkan dengan silikon. Semakin tinggi kandungan silikon maka semakin tinggi pula ketangguhan besi cor kelabu. Terbukti pada harga impak yang dihasilkan pada 2,466% berat silikon sebesar 0,058 Joule/mm², pada penambahan 2,981% berat silikon sebesar 0,063 Joule/mm², pada penambahan 3,067% berat silikon sebesar 0,062 Joule/mm², dan pada penambahan 3,304% berat silikon sebesar 0,064 Joule/mm². Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi kandungan silikon maka semakin tinggi pula ketangguhan besi cor kelabu.

4.2 Saran

Dari penelitian ini, penulis memiliki saran sebagai berikut :

1. Untuk mahasiswa yang akan melakukan penelitian lebih lanjut mungkin bisa menggunakan *Chrome* (Cr) untuk penambahan unsur paduan pada besi cor kelabu karena unsur tersebut mampu meningkatkan kekerasan, ketahanan korosi, meningkatkan ketahanan panas, dan meningkatkan keausan.
2. Untuk penelitian lebih lanjut diharapkan melakukan pengujian kekerasan karena pada penelitian ini pengujian kekerasan tidak dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

- Candra S.F., Manullang M.M., Hamdani R. (2019) *Analisis Karakteristik Hasil Proses Pegecoran Besi Cor Kelabu Dengan Variasi Design Model Inti Cor*, Volume 19, 1-8.
- Siddiq, Nurdin, Amalia & Fathier (2021) *Analisa Pagaruh Kampuh Pengelasan SMAW Pada Penyambung Baja Karbon Rendah Dan Karbon Sedang Terhadap Uji Ketangguhan*. Volume 5, 31-37.
<http://dx.doi.org/10.30811/jmst.v5i1.2141>
- Ghasemia, R., Hassana, I., Ghorbanib, A., Dioszegia, A. (2019). *Austempered Compacted Graphite Iron Influence of Austempering Temperature and Time on Microstructural and Mechanical Properties*. *Materials Science and Engineering: A*, 767, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2019.138434>.
- Pradipta, A. R. (2020). *Analisa Permukaan Patahan Uji Impak Besi Cor Nodular Dengan Variasi Kandungan Magnesium 0,0296%, 0,0307%, 0,0336%, dan 0,0351%*, 28-39.
- Callister, W. D. J., & Rethwisch, D. G. (2014). *Materials Science and Engineering An Introduction*. 9th Edition. United States of America: Wiley.
- Sckudlarek, W., N Manar., Krishna., Al-Rubaie, K. S., Preti, O., Milan, J. C. G., Da Costa, C. E. (2021). *Effect of Austempering Temperature on Microstructure and Mechanical Properties of Ductile Cast Iron Modified by Niobium*. *Journal of Materials Research and Technology*, 12, 24142425.
<https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.04.041>.
- Supriyono. (2017). *Material Teknik*. Surakarta: Muhammadiyah University Press.
- Darmawan, A. S dan Masyrukan. (2019). *Struktur dan Sifat Material*. Surakarta: Muhammadiyah University Press.
- Darmawan, A. S (2020). *Ilmu Bahan Teknik*. Surakarta: Muhammadiyah University Press.
- Nurferdian. T. R., Umardani, Y.(2009). *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>

- Iswahyudi., Diniardi. E. (2012). *Analisa Pengaruh Heat Treatment Terhadap Sifat Mekanik Dan Struktur Mikro Besi Cor Nodular (FCD 60)*. 6 (2), 45-54.
- Hoten, H. V. (2020). Analisis Karakteristik Serbuk Biokeramik Dari Cangkang Telur Ayam Broiler. Rotor, 13 (1), 1-5.
<https://doi.org/10.19184/rotor.v13i1.18874>.
- Novyanto, O., Pratiwi, E., Yuniarti, R. (2020). Panduan Kalibrasi Jangka Sorong, 1-15. Badan Standarisasi Nasional.
- Yunus, M., Najamudin., Kurniadi. (2016). Pengaruh Perlakuan Quenching – Tempering Terhadap Kekuatan Impak Pada Baja Karbon Sedang, 2 (1), 19-25
- Siswanto, R. (2014) Analisis Pengaruh Temperatur Dan Waktu Peleburan Terhadap Komposisi Al Dan Mg Menggunakan Metode Pengecoran Tuang, MET06, 1-6.