

PENGARUH ANIL PADA SUHU 850°C DENGAN WAKTU TAHAN 20 MENIT TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN KEKERASAN BRINELL BESI COR PUTIH

Wildan Arya Nanda Subekti; Agung Setyo Darmawan
Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Surakarta

Abstrak

Pada dunia industri pengecoran logam sering kita dengar jenis besi cor yang disebut besi cor putih. Besi cor putih merupakan salah satu besi cor yang tidak mempunyai grafit sehingga memiliki sifat mekanik yang sangat keras namun getas. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh anil pada temperatur 850°C dengan waktu tahan 20 menit terhadap struktur mikro, komposisi kimia fasa, serta nilai kekerasan pada besi cor putih. Pengujian metalografi dan uji komposisi dilakukan dengan *Scanning Electron Microscope – Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy* (SEM-EDS), sedangkan pengujian kekerasan dilakukan dengan metode brinell. Hasil dari pengujian SEM-EDS menunjukkan bahwa pada besi cor putih yang telah dilakukan proses anil terdapat fasa grafit, sementit (Fe_3C), dan perlit. Pada fasa grafit terdapat unsur *Carbon (C)* sebesar 79,88% berat, *Ferro (Fe)* sebesar 16,11% berat, dan *Oxygen (O)* sebesar 4% berat. Kemudian pada fasa sementit (Fe_3C) terdapat unsur *Ferro (Fe)* sebesar 92,60% berat, *Carbon (C)* sebesar 7,30% berat, dan *Oxygen (O)* sebesar 0,10% berat. Dan pada fasa perlit terdapat unsur *Ferro (Fe)* sebesar 86,31% berat, *Silicon (Si)* sebesar 4,49%, *Carbon (C)* sebesar 3,59% berat, *Aluminium (Al)* sebesar 1,09% berat, serta unsur *Oxygen (O)* sebesar 4,49% berat. Hasil dari pengujian kekerasan menunjukkan bahwa nilai kekerasan tertinggi terjadi pada raw material dengan nilai kekerasan rata-rata sebesar 474,163 BHN. Sedangkan nilai kekerasan terendah terjadi pada spesimen uji yang telah dianil dengan nilai kekerasan rata-rata sebesar 379,497 BHN.

Kata Kunci: Besi cor putih, struktur mikro, kekerasan brinell, anil

Abstract

In the world of the metal casting industry, we often hear about a type of cast iron called white cast iron. White cast iron is a type of cast iron that does not have graphite so it has mechanical properties that are very hard but brittle. This research aims to determine the effect of annealing at a temperature of 850°C with a holding time of 20 minutes on the microstructure, phase chemical composition, and hardness value of white cast iron. Metallographic testing and composition testing were carried out using Scanning Electron Microscope – Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (SEM-EDS), while hardness testing was carried out using the Brinell method. The results of SEM-EDS testing show that white cast iron that has undergone an annealing process contains graphite, cementite (Fe_3C) and pearlite phases. In the graphite phase there are Carbon (C) elements of 79.88% by weight, Ferro (Fe) by 16.11% by weight, and Oxygen (O) by 4% by weight. Then in the cementite phase (Fe_3C) there are Ferro elements (Fe) amounting to 92.60% by weight, Carbon (C) by 7.30% by weight, and Oxygen (O) by 0.10% by weight. And in the pearlite phase there are Ferro (Fe) elements of 86.31% by weight, Silicon (Si) by 4.49%, Carbon (C) by 3.59% by weight, Aluminum (Al) by 1.09% by weight, and Oxygen (O) element is 4.49% by weight. The results of hardness

testing show that the highest hardness value occurs in raw material with an average hardness value of 474.163 BHN. Meanwhile, the lowest hardness value occurred in test specimens that had been annealed with an average hardness value of 379,497 BHN.

Keywords: White cast iron, microstructure, brinell hardness, annealing

1. PENDAHULUAN

Dalam dunia industri ataupun material tentunya tidak asing dengan material besi cor. Besi cor merupakan salah satu bahan yang paling penting dalam dunia pengecoran dan banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari mulai dari perabotan rumah tangga hingga komponen-komponen otomotif. Kandungan karbon dalam besi cor sangat berpengaruh terhadap struktur yang ada di dalamnya, dapat berupa karbon sementit (Fe_3C) maupun karbon bebas (grafit). Kandungan grafit pada besi cor sangat berperan penting terhadap bentuk sifat mekanik besi cor itu sendiri, berupa keliatan (ductility), kekuatan (strength), dan ketangguhan (toughness). Beberapa jenis besi cor yang umum yaitu besi cor putih (white cast iron), besi cor kelabu (gray cast iron), besi cor nodular (nodular cast iron), dan besi cor malleable.

Penggunaan besi cor cukup luas karena besi cor ini memiliki sifat khusus seperti mudah dituang pada saat kondisi cair sehingga banyak digunakan di industri pengecoran logam, kandungan karbon pada besi cor putih antara 1,8%-3,6% dan kandungan mangan antara 0,25%-0,80%. Sedangkan kandungan fosfornya antara 0,06%-0,2% dan sulfur antara 0,06%-0,2%.

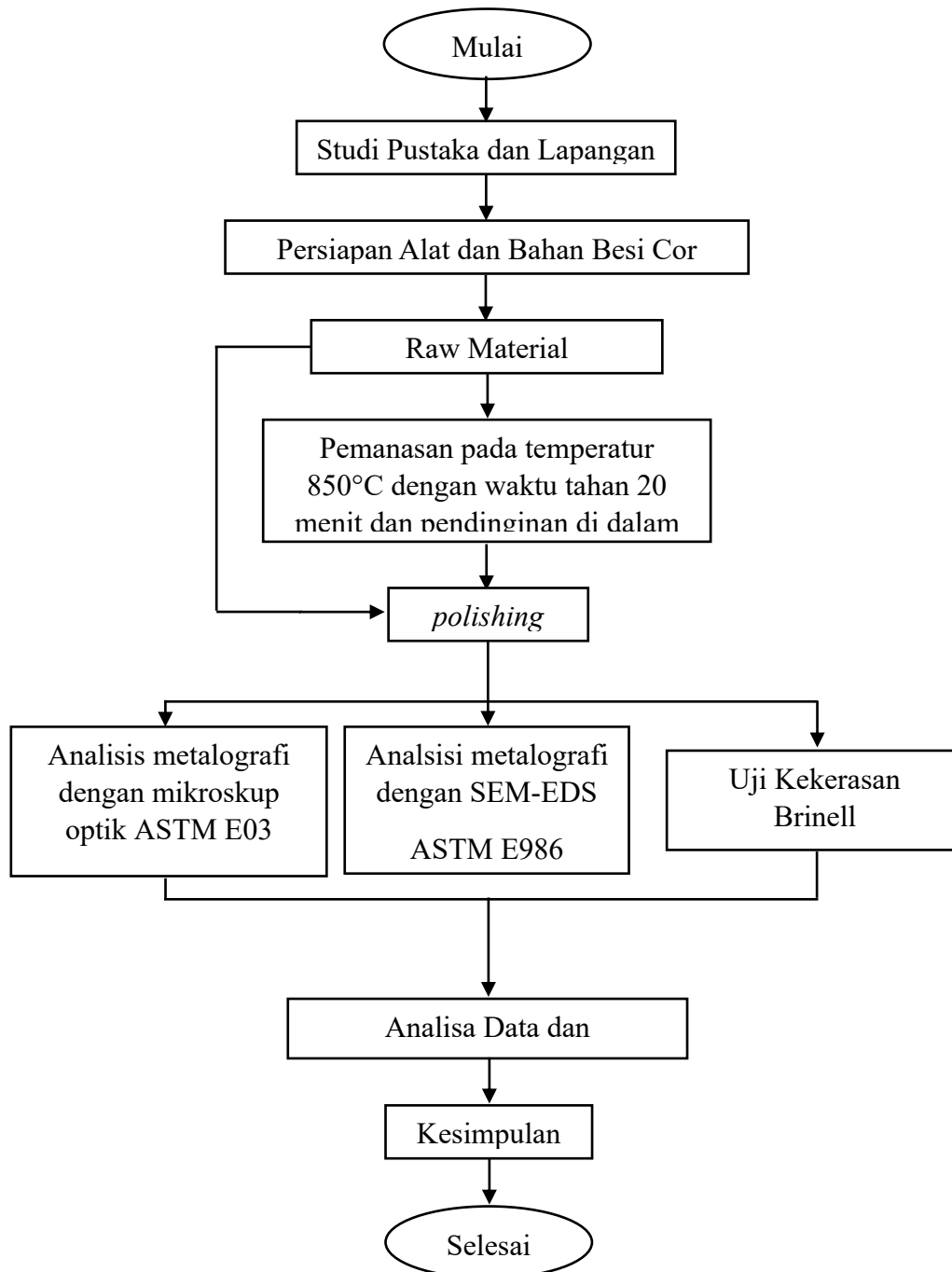
Besi cor putih yang memiliki sifat getas, namun memiliki kekerasan tinggi, dari sifat yang dimilikinya besi cor putih dapat diaplikasikan untuk suku cadang yang mensyaratkan ketahanan aus yang tinggi. Besi cor akan terbentuk unsur grafit atau sementit tergantung pada cepat lambatnya pendinginan yang sangat dipengaruhi oleh komposisi kimia yang terkandung di dalamnya, unsur-unsur yang terkandung di dalamnya bertanggung jawab atas percepatan terbentuknya grafit pada waktu pembentukan besi cor (Morrogh, 1968).

Dari sifat dan kandungan yang dimiliki besi cor putih yaitu sangat keras namun getas sehingga perlu dilakukan penurunan kegetasan maka dilakukan heat treatment atau perlakuan panas anil (annealing) dengan suhu 850°C dengan waktu tahan 20 menit yang bertujuan untuk memisahkan karbida besi Fe_3C menjadi besi dan grafit.

Dari uraian di atas maka penelitian ini dilakukan dengan metode pengujian brinell yang bertujuan untuk menentukan kekerasan suatu material dalam bentuk daya tahan material terhadap bola baja (indenter) yang ditekan pada permukaan material uji tersebut (spesimen).

2. METODE

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimen yang bertujuan untuk mengetahui sebab-akibat. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh anil pada suhu 850°C dengan waktu tahan 20 menit terhadap struktur mikro dan kekerasan brinell besi cor putih. Adapun prosedur penelitian yang akan dilakukan dapat dilihat pada gambar berikut.



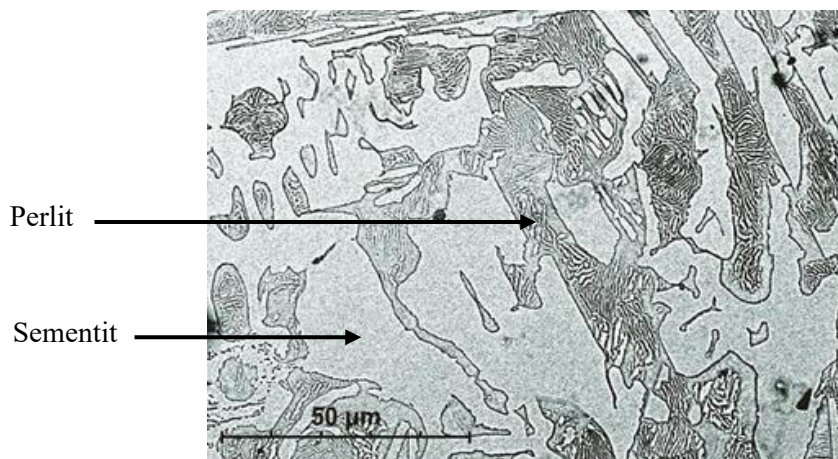
Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses pengujian dilakukan pada raw material dan spesimen hasil proses anil pada suhu 850°C dengan waktu tahan 20 menit.

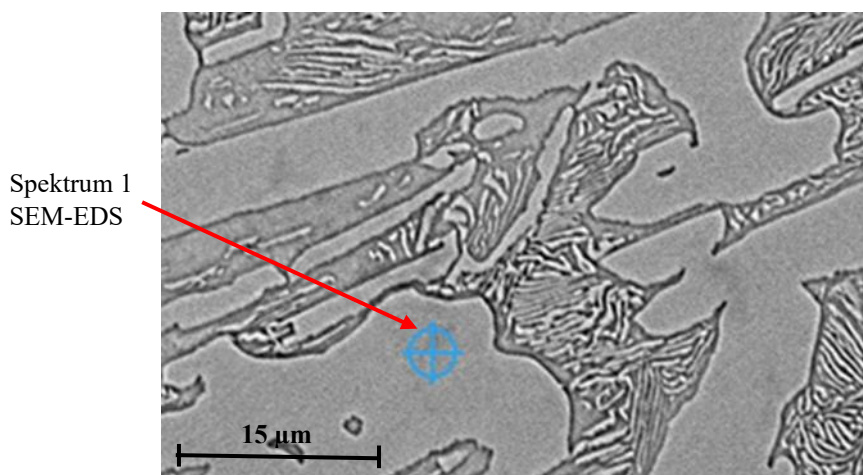
3.1 Hasil Pengujian Metalografi

Hasil pengujian metalografi *Scanning Electron Microscopy* (SEM) raw material dapat dilihat pada gambar 2. Gambar 2 menunjukkan adanya fasa yang terbentuk di dalam struktur mikro besi cor putih, yaitu fasa sementit (Fe_3C) dan perlit. Dengan sekilas terlihat jelas perbedaan bentuk dan kontras warna struktur mikro pada gambar tersebut, terdapat warna gelap memiliki corak garis abu dan warna terang. Bagian yang berwarna gelap memiliki corak garis abu merupakan fasa perlit dan warna yang terang menunjukkan fasa sementit.

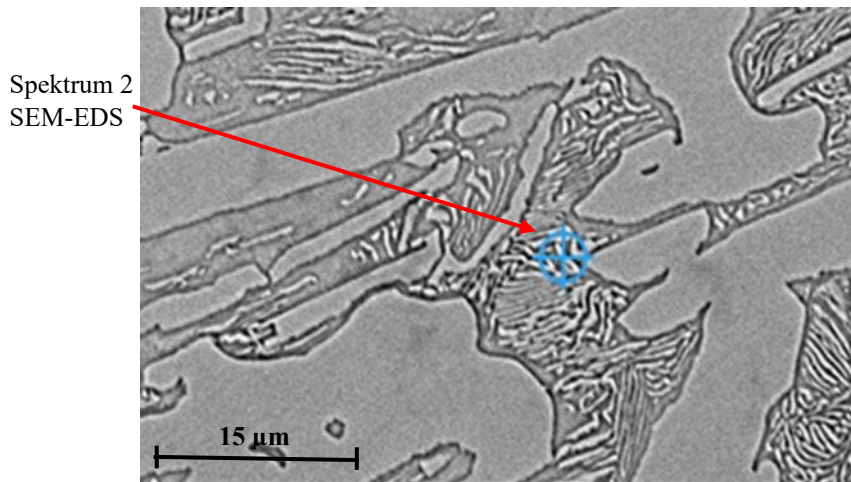


Gambar 2 Foto Struktur Mikro Besi Cor Putih

Dari gambar 2 diperoleh hasil pengujian *Energy Dispersive X-ray Spectroscopy* (EDS) spektrum pertama pada fasa sementit dan spektrum kedua pada fasa perlit ditunjukkan pada gambar 3 dan gambar 4.

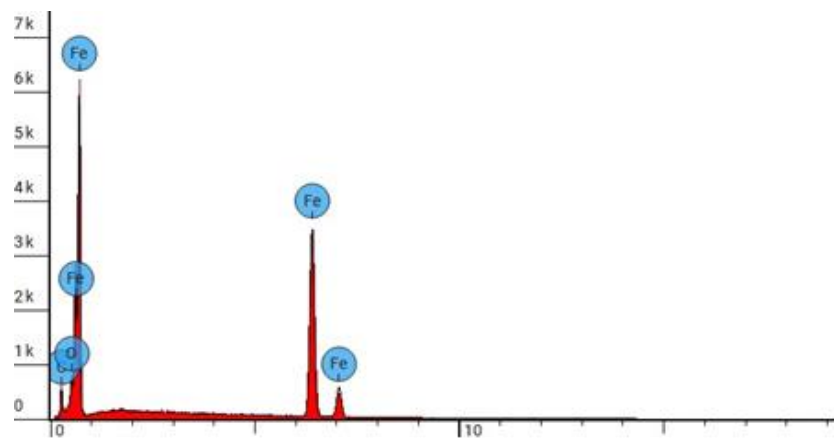


Gambar 3 Titik mikrograf SEM untuk EDS line analysis fasa sementit pada besi cor putih



Gambar 4 Titik mikrograf SEM untuk EDS line analysis fasa perlit pada besi cor putih

Berdasarkan penentuan titik uji EDS gambar 3 pada fasa sementit maka didapatkan *line analysis* EDS fasa sementit seperti yang ditunjukkan gambar 5. Dari *line analysis* fasa sementit diketahui bahwa terdeteksi beberapa unsur komposisi kimia pada spektrum fasa sementit besi cor putih. Ferro (Fe) merupakan unsur dengan komposisi tertinggi sebesar 94,1% berat. Sedangkan untuk unsur lainnya dapat dilihat pada tabel 1 dengan prosentase komposisi yaitu, unsur Carbon (C) sebesar 4,7% berat, Oxygen (O) sebesar 1,2% berat. Adanya unsur Oxygen (O) menunjukkan bahwa spesimen telah teroksidasi.

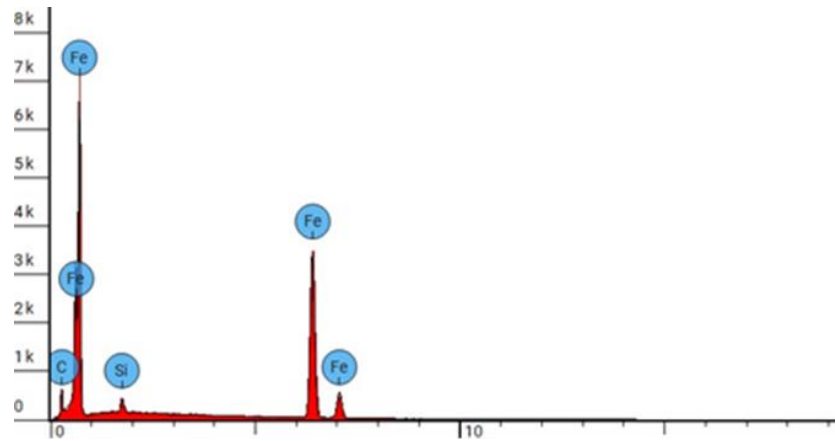


Gambar 5 *Line analysis* fasa sementit besi cor putih (spektrum 1)

Tabel 1 Hasil *line analysis* fasa sementit besi cor putih (spektrum 1)

Element Number	Element Symbol	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.
6	C	Carbon	18.192	4.700
8	O	Oxygen	3.486	1.200
26	Fe	Iron	78.322	94.100

Pada pengujian EDS fasa perlit didapatkan *line analysis* EDS seperti pada gambar 6 yang menunjukkan munculnya beberapa unsur penyusun fasa perlit. Untuk data prosentase komposisi spektrum fasa perlit, dapat dilihat pada tabel 2. Pada tabel menunjukkan bahwa unsur tertinggi fasa perlit adalah Ferro (Fe) sebesar 95,3% berat dan diikuti unsur Carbon (C) sebesar 3,8% berat serta unsur Silicon (Si) sebesar 0,9% berat. Kandungan karbon pada fasa perlit lebih kecil dibanding kandungan karbon pada fasa sementit karena pengaruh adanya fasa ferit.

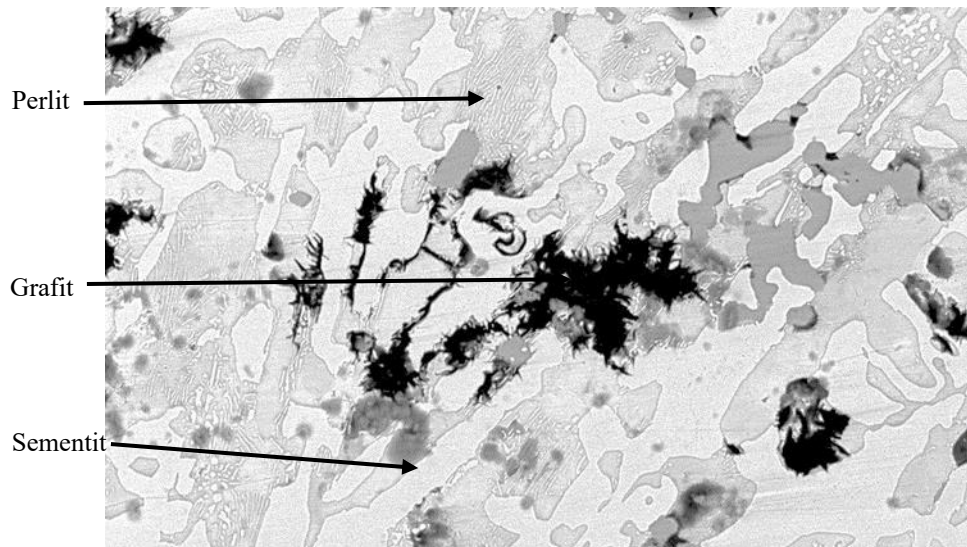


Gambar 6 *Line analysis* fasa perlit besi cor putih (spektrum 2)

Tabel 2 Hasil *line analysis* fasa sementit besi cor putih (spektrum 2)

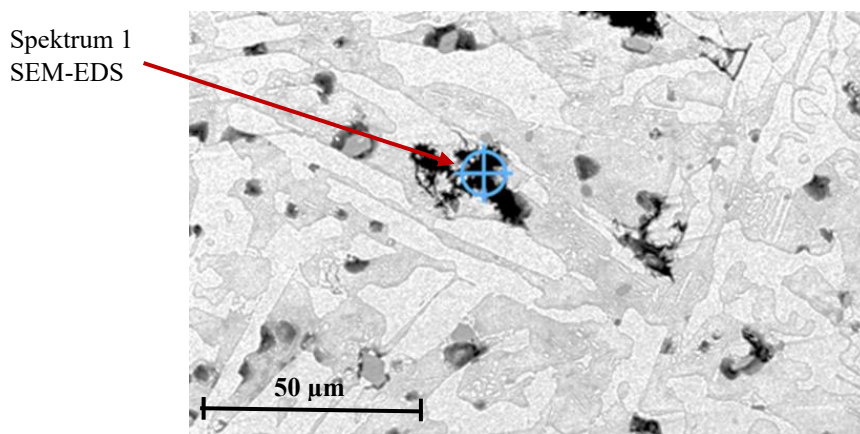
Element Number	Element Symbol	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.
6	C	Carbon	15.398	3.800
14	Si	Silicon	1.559	0.900
26	Fe	Iron	83.042	95.300

Hasil pengujian metalografi Scanning Electron Microscopy (SEM) setelah proses anil dapat dilihat pada gambar 7. Gambar 7 menunjukkan adanya fasa yang terbentuk di dalam struktur mikro besi cor putih, yaitu fasa sementit (Fe_3C), perlit dan grafit. Dengan sekilas terlihat jelas perbedaan bentuk dan kontras warna struktur mikro pada gambar tersebut, terdapat warna gelap pekat, warna gelap memiliki corak garis abu dan warna terang. Bagian yang berwarna gelap pekat merupakan fasa grafit, bagian dengan warna gelap memiliki corak garis abu merupakan fasa perlit dan warna yang terang menunjukkan fasa sementit.

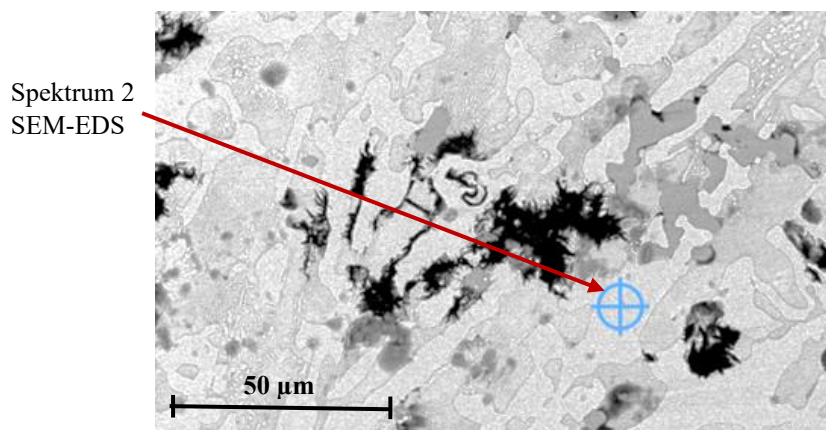


Gambar 7 Foto struktur mikro besi cor putih setelah proses anil

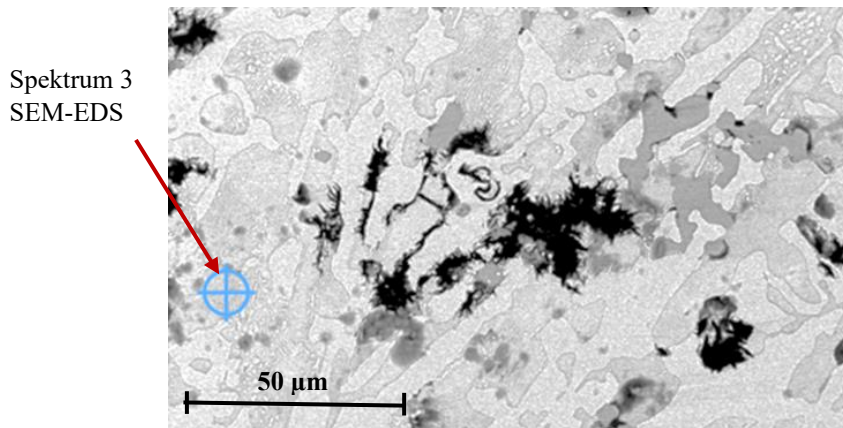
Dari gambar 7 diperoleh hasil pengujian *Energy Dispersive X-ray Spectroscopy* (EDS) spektrum pertama pada fasa grafit spektrum kedua pada fasa sementit dan spektrum ketiga pada fasa perlit ditunjukkan pada gambar 8, 9, dan 10.



Gambar 8 Titik mikrograf SEM untuk EDS line analysis fasa grafit pada besi cor putih

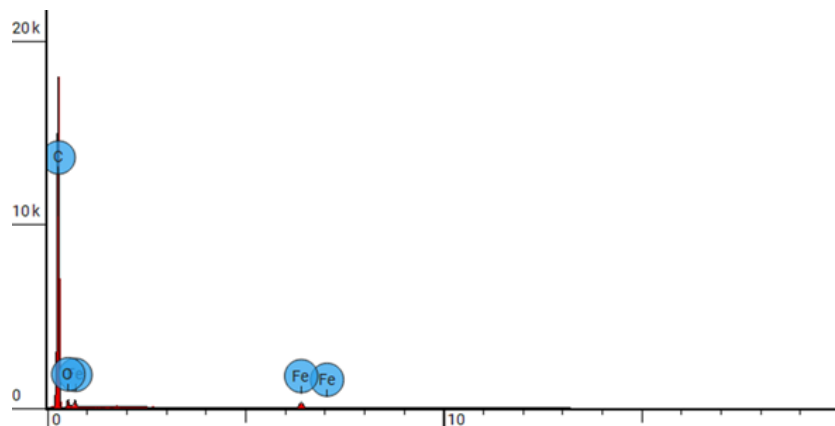


Gambar 9 Titik mikrograf SEM untuk EDS line analysis fasa sementit pada besi cor putih



Gambar 10 Titik mikrograf SEM untuk EDS line analysis fasa perlit pada besi cor putih

Berdasarkan penentuan titik uji EDS gambar 8 pada fasa grafit maka didapatkan *line analysis* EDS fasa grafit seperti yang ditunjukkan gambar 11.



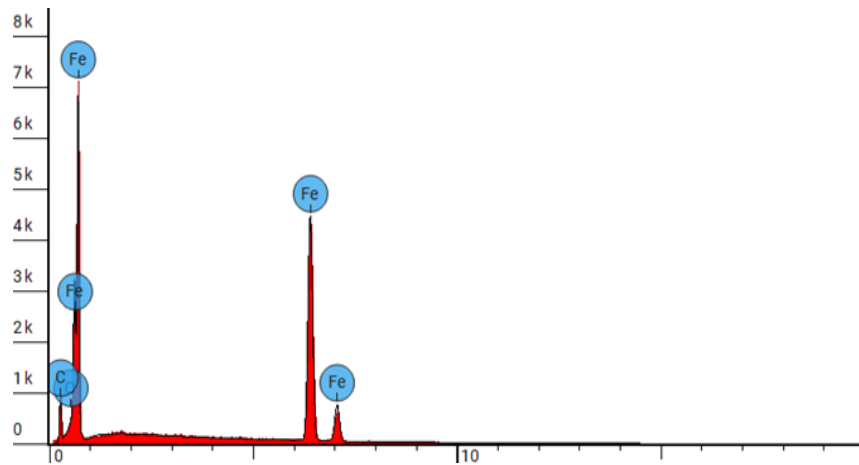
Gambar 11 *Line analysis* fasa sementit besi cor putih (spektrum 1)

Dari *line analysis* fasa grafit diketahui bahwa terdeteksi beberapa unsur komposisi kimia pada spektrum fasa grafit besi cor putih setelah proses anil. Carbon (C) merupakan unsur dengan komposisi tertinggi sebesar 79,88% berat, komposisi ini mendekati komposisi teoritis fasa grafit yaitu 100%. Sedangkan untuk unsur lainnya dapat dilihat pada tabel 3 dengan prosentase komposisi yaitu, unsur Ferro (Fe) sebesar 16,11% dan Oxygen (O) sebesar 4% berat. Adanya unsur Oxygen (O) menunjukkan bahwa spesimen telah teroksidasi.

Tabel 3 Hasil line analysis fasa sementit besi cor putih (spektrum 1)

Element Number	Element Symbol	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.
6	C	Carbon	92.506	79.880
8	O	Oxygen	3.481	4.004
26	Fe	Iron	4.013	16.116

Berdasarkan penentuan titik uji EDS gambar 9 pada fasa grafit maka didapatkan line analysis EDS fasa grafit seperti yang ditunjukkan gambar 12.



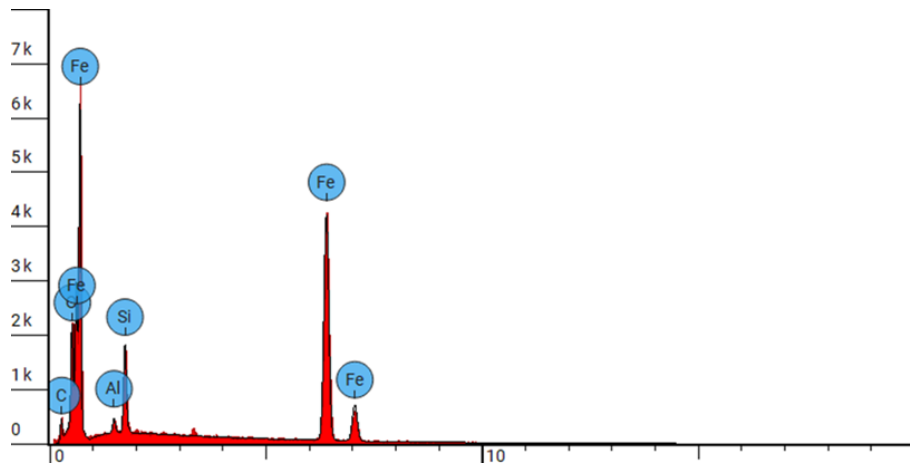
Gambar 12 *Line analysis* fasa sementit besi cor putih (spektrum 2)

Berdasarkan penentuan titik uji EDS gambar 9 pada fasa sementit maka *didapatkan line analysis* EDS fasa sementit seperti yang ditunjukkan gambar 12. Untuk presentase komposisi spektrum sementit dapat dilihat pada tabel 4. Dari line analysis fasa sementit diketahui bahwa terdeteksi beberapa unsur komposisi kimia pada spektrum fasa sementit besi cor putih. Ferro (Fe) merupakan unsur dengan komposisi tertinggi sebesar 92,6% berat. Sedangkan untuk unsur lainnya dapat dilihat pada tabel 4.4 dengan prosentase komposisi yaitu, unsur Carbon (C) sebesar 7,3% berat, komposisi ini mendekati teori fasa sementit yaitu 6,7% berat, Oxygen (O) sebesar 0,1% berat. Adanya unsur Oxygen (O) menunjukkan bahwa spesimen telah teroksidasi.

Tabel 4 Hasil *line analysis* fasa sementit besi cor putih (spektrum 2)

	Element Number	Element Symbol	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.
	6	C	Carbon	26.752	7.300
	8	O	Oxygen	0.275	0.100
	26	Fe	Iron	72.973	92.600

Berdasarkan penentuan titik uji EDS gambar 10 pada fasa grafit maka didapatkan line analysis EDS fasa grafit seperti yang ditunjukkan gambar 13.



Gambar 13 *Line analysis* fasa perlit besi cor putih (spektrum 3)

Pada pengujian EDS fasa perlit didapatkan line analysis EDS seperti pada gambar 13 yang menunjukkan munculnya beberapa unsur penyusun fasa perlit. Untuk data prosentase komposisi spektrum fasa perlit dapat dilihat pada tabel 5. Pada tabel menunjukkan bahwa unsur tertinggi fasa perlit adalah Ferro (Fe) sebesar 86,31% berat, Silicon (Si) sebesar 4,49% berat dan diikuti unsur Carbon (C) sebesar 3,59% berat, Alumunium (Al) sebesar 1,09% berat serta unsur Oxygen (O) sebesar 4,49% berat. Kandungan karbon pada fasa perlit lebih kecil dibanding kandungan karbon pada fasa sementit karena pengaruh adanya fasa ferit.

Tabel 5 Hasil *line analysis* fasa perlit besi cor putih (spektrum 3)

	Element Number	Element Symbol	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.
	6	C	Carbon	12.870	3.596
	8	O	Oxygen	12.076	4.496
	13	Al	Aluminum	1.751	1.099
	14	Si	Silicon	6.879	4.496
	26	Fe	Iron	66.424	86.314

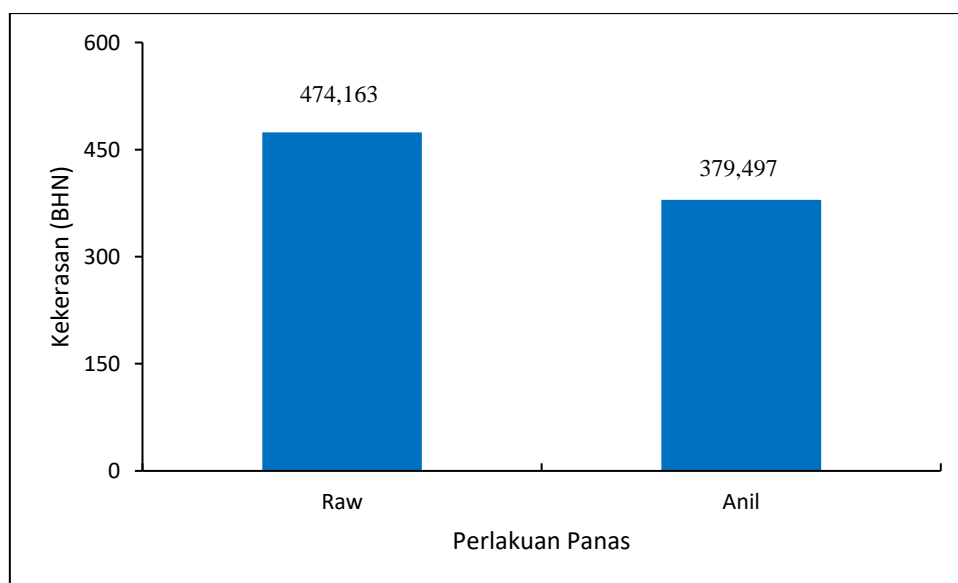
3.2 Hasil Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan dengan menggunakan alat uji kekerasan Brinell. Berdasar standar ASTM E10, metode ini dilakukan dengan cara memberikan tekanan pada permukaan material siap uji menggunakan indenter berbentuk bola dengan diameter 2,5 mm. Beban yang digunakan pada pengujian ini adalah 187,5 kgf dengan waktu penekanan selama 10 detik. Pengujian dilakukan pada 3 titik untuk setiap spesimen, kemudian diambil nilai rata-ratanya. Hasil pengujian kekerasan Brinell dapat dilihat pada tabel 6.

Tabel 6 Data hasil pengujian kekerasan brinell

No.	Spesimen	F (kgf)	D (mm)	d (mm)	Kekerasan Brinell (BHN)	Kekerasan Brinell rata-rata (BHN)
1.	Raw material	187,5	2,5	0,71	467,07	474,163
				0,70	477,71	
				0,70	477,71	
2.	Anil	187,5	2,5	0,78	382,79	379,497
				0,79	372,91	
				0,78	382,79	

Berdasarkan data hasil pengujian pada tabel 6, dapat diketahui bahwa nilai kekerasan tertinggi terjadi pada raw material dengan nilai kekerasan rata-rata sebesar 474,163 BHN. Hal ini dikarenakan pada raw material terdapat fasa sementit yang bersifat sangat keras karena Ferro (Fe) dan Carbon (C) membentuk senyawa Fe₃C yang berikatan ion. Sedangkan nilai kekerasan terendah terjadi pada spesimen uji yang telah dilakukan proses anil dengan nilai kekerasan rata-rata 379,497 BHN. Hal ini dikarenakan pada spesimen uji sebagian sementit (Fe₃C) terdekomposisi menjadi α -ferrite dan grafit, sifat mekanik dari α -ferrite dan grafit lebih lunak dibandingkan dengan sementit (Fe₃C) sehingga menurunkan nilai kekerasan pada spesimen uji yang telah dianil. Perbandingan hasil pengujian kekerasan dapat dilihat pada gambar 14.



Gambar 13 Pengaruh anil terhadap kekerasan brinell besi cor putih

4. PENUTUP

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut: (1) Hasil analisis metalografi Scanning Electron Microscope (SEM) pada besi cor putih didapatkan struktur mikro sebelum proses anil berupa fasa perlit dan fasa sementit (Fe_3C), kemudian dilanjutkan proses anil dan didapatkan struktur mikro pada besi cor putih yang telah dianil berupa fasa grafit, fasa sementit (Fe_3C) dan fasa perlit. Pada fasa grafit terlihat warna gelap pekat, pada fasa sementit terlihat berwarna terang, sedangkan pada fasa perlit terlihat berwarna gelap memiliki corak garis abu berbentuk lamel-lamel atau berlapis (lamellar) yang terdiri dari lapisan ferit dan lapisan sementit (Fe_3C) yang saling berdampingan. Fasa grafit terbentuk akibat proses perlakuan panas anil yang mendekomposisi fasa sementit (Fe_3C) membentuk α -ferrite dan grafit. (2) Hasil pengujian kekerasan brinell, nilai kekerasan tertinggi terjadi pada raw material dengan nilai kekerasan rata-rata sebesar 474,163 BHN. Sedangkan nilai kekerasan terendah terjadi pada spesimen uji yang telah dianil dengan nilai kekerasan rata-rata 379,497 BHN. Proses anil mengakibatkan fasa sementit (Fe_3C) terdekomposisi menjadi α -ferrite dan grafit yang sifat mekaniknya lebih lunak dibandingkan dengan fasa sementit (Fe_3C) sehingga menurunkan kekerasan besi cor putih.

DAFTAR PUSTAKA

- Amani, N'., & Arief, D.S. (2015). Kalibrasi Jangka Sorong Nonius (Vernier Calliper) Berdasarkan Standar Jis B 7507 Di Laboratorium Pengukuran Teknik Mesin Universitas Riau.
- Budiono, Bambang. (2010). Teknologi Besi Cor. Erlangga: Jakarta.
- Darmawan, A. S., Masyrukan. (2019). Struktur Dan Sifat Material. Muhammadiyah University Press: Surakarta.
- Goldstein, J. I., Newbury, D. E., Michael, J. R., Ritchie, N. W. M., Scott, J. H. J., & Joy, D. C. (2018). Microscopy and X-Ray Microanalysis.
- Inthidech, S., Opapaiboon, J., Yamamoto, K., & Matsubara, Y. (2021). Three-body-type abrasive wear behavior of multi-alloyed white cast iron with different carbon contents

- used for hot work rolls. *ISIJ International*, 61(11), 2832–2843.
<https://doi.org/10.2355/isijinternational.ISIJINT-2021-035>
- Meebupha, T., Inthidec, S., Sricharoenchai, P., & Matsubara, Y. (2017). Effect of molybdenum content on heat treatment behavior of multi-alloyed white cast iron. *Materials Transactions*, 58(4), 655–662. <https://doi.org/10.2320/matertrans.M2016396>
- Michler, G. H. (2008). *Scanning Electron Microscopy (SEM)*
- Morrogh, H. (1968). A review of the solidification of cast iron with spherulitic graphite structures.
- Mubarok, F., (2010). STUDI EKSPERIMENTAL PERBANDINGAN PENGUJIAN INDENTASI BRINELL DAN ANALISA ELEMEN HINGGA PADA PADUAN ALUMINIUM 7075-O
- Nayak, U. P., Mücklich, F., & Guitar, M. A. (2023). Time-Dependant Microstructural Evolution and Tribological Behaviour of a 26 wt% Cr White Cast Iron Subjected to a Destabilization Heat Treatment. *Metals and Materials International*, 29(4), 934–947. <https://doi.org/10.1007/s12540-022-01276-8>
- Nugroho, Yusuf, and Dr Bayuseno. (2012) "Analisis Kegagalan Las Dan Rekomendasi Standart Operating Procedure (Sop) Pada Pengelasan Pipa Kondensor PT. Siemens Indonesia." *Eprints Undip*
- Opapaiboon, J., Na Ayudhaya, M. S., Sricharoenchai, P., Inthidech, S., & Matsubara, Y. (2019). Effect of chromium content on heat treatment behavior of multi-alloyed white cast iron for abrasive wear resistance. *Materials Transactions*, 60(2), 346–354. <https://doi.org/10.2320/matertrans.M2018318>
- Pradana, V. B. (2022). Besi Cor Putih dengan Scanning Electron Microscope – Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (SEM-EDS).
- Respati, S. M. B. (2008). 3. In *Momentum* (Vol. 4, Issue 2).
- Rizal, A., Samantha, Y., & Rachmat, A. (2016). PEMBUATAN TUNGKU PEMANAS (MUFFLE FUENACE) KAPASITAS 1200 Celcius. *J-ENSITEC*, 2(02).
- Shofi, A., Astuti, W., Fajar, D., Upt, N., Pengolahan, B., Lampung, M., Lipi, J. I., Sutami, K., Bintang, T., & Selatan, L. (n.d.). KARAKTERISTIK STRUKTUR MIKRO DAN SIFAT

MEKANIK BESI TUANG PUTIH PADUAN KROM TINGGI HASIL THERMAL
HARDENING UNTUK APLIKASI GRINDING BALL.

Supriyono. (2017). *Material Teknik*. Muhammadiyah University Press: Surakarta.

Yusnanda, A. (2018). PEMBUATAN MESIN AMPLAS DENGAN SISTEM MEKANIS
SABUK (BELT).

Zheng, B., Li, W., Tu, X., Xing, J., & Song, S. (2021). Effect of interaction between cementite
and pearlite on two-body abrasive wear behaviors in white cast iron. *Friction*, 9(6), 1378–
1389. <https://doi.org/10.1007/s40544-020-0415-y>

Zipperian, D. C. (2011) *Metallographic Handbook*. PACE Technologies: USA.