

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

**Ridho Adhi Pratama, 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 *Vickers*. Hasil dari pengujian *SEM-EDS* menunjukkan bahwa pada besi cor putih yang telah dilakukan proses anil terdapat fasa baru yaitu fasa grafit, sementit ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ), dan perlit. Pada fasa grafit terdapat unsur *Carbon (C)* sebesar 71.229% berat, *Iron (Fe)* sebesar 17.083% berat, *Oxygen (O)* sebesar 10.490% berat, serta munculnya *Silicon (Si)* sebesar 1.199% berat. Kemudian pada fasa sementit ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) terdapat unsur *Iron (Fe)* sebesar 92.600% berat, unsur *Carbon (C)* sebesar 5.200% berat, *Oxygen (O)* sebesar 2.200% berat. Dan pada fasa perlit terdapat unsur *Iron (Fe)* sebesar 92.000% berat, *Carbon (C)* sebesar 4.200% berat, *Silicon (Si)* sebesar 2.000% berat, dan *Oxygen (O)* sebesar 1.800% berat. Hasil dari pengujian kekerasan menunjukkan bahwa nilai kekerasan tertinggi terjadi pada raw material dengan nilai kekerasan rata-rata sebesar 537.033 *VHN*. Sedangkan nilai kekerasan terendah terjadi pada spesimen uji yang telah dianil dengan nilai kekerasan rata-rata sebesar 407.533 *VHN*.

**Kata kunci:** Besi cor putih, anil, struktur mikro, SEM-EDS, kekerasan *vickers*.

## **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 Vickers method. The results of the SEM-EDS test show that in white cast iron that has undergone an annealing process there are new phases, namely graphite, cementite ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ), and pearlite phases. In the graphite phase there are Carbon (C) elements of 71.229% by weight, Iron (Fe) by 17.083% by weight, Oxygen (O) by 10.490% by weight, and the presence of Silicon (Si) by 1.199% by weight. Then in the cementite phase ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) there is the element Iron (Fe) amounting to 92.600% by weight, the element Carbon (C) by 5.200% by weight, Oxygen (O) by 2.200% by weight. And in the pearlite phase there are elements Iron (Fe) amounting to 92.000% by weight, Carbon (C) by 4.200% by weight, Silicon (Si)

by 2.000% by weight, and Oxygen (O) by 1.800% by weight. The results of hardness testing show that the highest hardness value occurs in raw material with an average hardness value of 537.033 VHN. Meanwhile, the lowest hardness value occurred in test specimens that had been annealed with an average hardness value of 407.533 VHN.

**Keywords:** White cast iron, annealing, microstructure, SEM-EDS, Vickers hardness

## 1. PENDAHULUAN

Melihat perkembangan dunia industri sekarang ini begitu sangat pesat terlebih di ranah industri manufaktur begitu banyak inovasi teknologi yang tercipta dan berkembang. Salah satunya adalah perkembangan teknologi pengecoran logam, pengecoran logam merupakan proses pembuatan benda kerja dengan mencairkan logam dan menuangkan logam cair tersebut kedalam rongga cetakan. Proses ini dapat digunakan untuk membuat berbagai benda-benda yang susah dibuat dengan metode lain contoh produknya meliputi roda gigi, blok mesin, poros, *pulley*, dan lain-lain. Produk pengecoran harus memiliki kekuatan dan kekerasan yang diinginkan, tetapi dengan harga yang ekonomis.

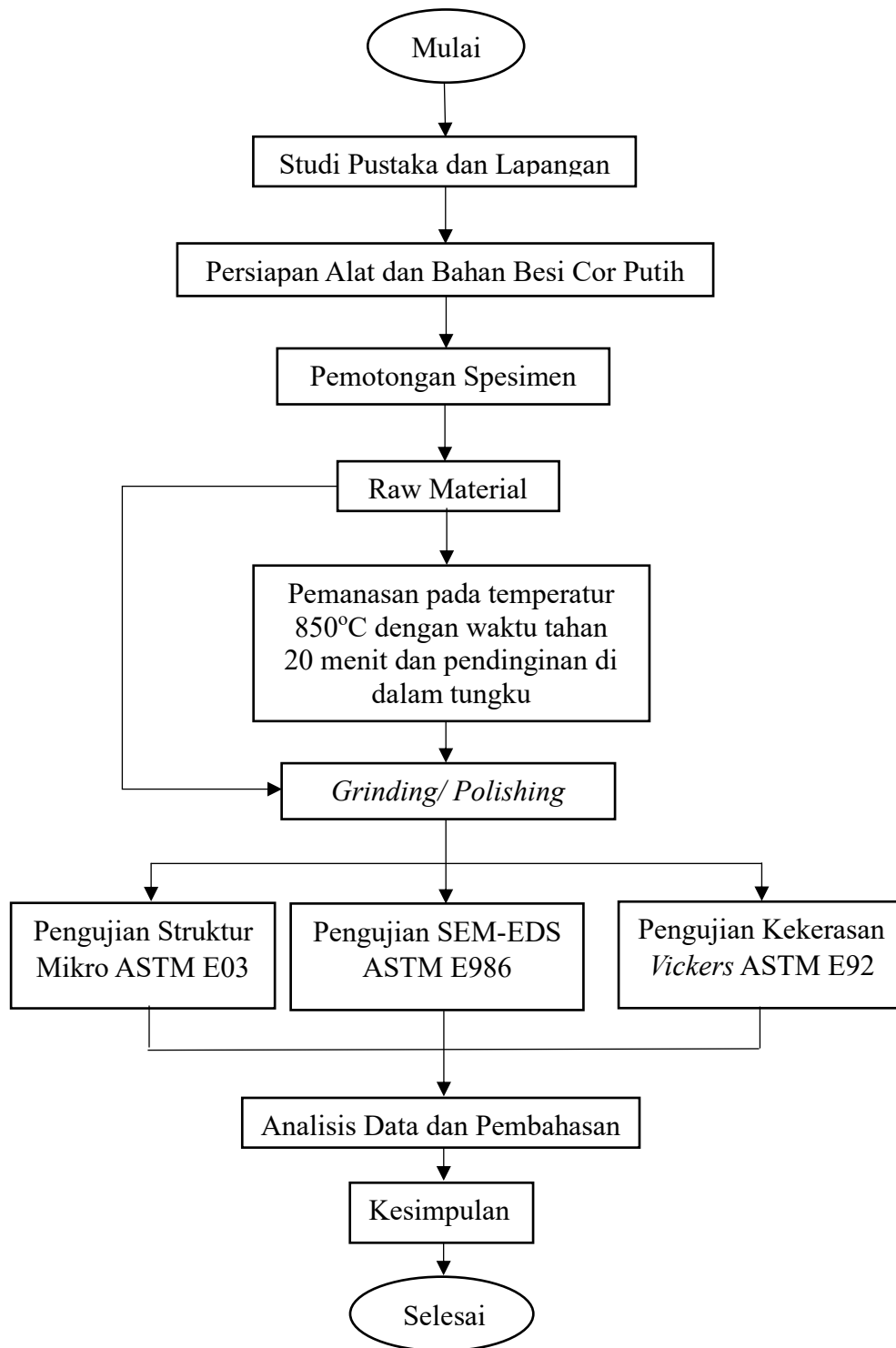
Besi cor merupakan paduan besi yang mengandung C lebih dari 1,7% dan Si sebanyak 1-3%. Unsur lain dapat ditambahkan dengan maksud untuk meningkatkan sifat-sifat mekanis seperti kekuatan, kekerasan, atau ketahanan korosi. Unsur yang umumnya ditambahkan yaitu Cr, Cu, Mo dan Ni. Sifat mekanik besi cor tergantung pada jenis struktur mikronya, yaitu bentuk dan distribusi elemen-elemen penyusun. Salah satu elemen yang memiliki pengaruh besar yaitu grafit. Fasa yang terbentuk akan sangat mempengaruhi sifat mekanik pada besi cor. Besi cor memiliki fasa ferit, sementit, perlit dan grafit (Surdia & Saito, 1999).

Pada umumnya patahan besi cor mempunyai warna kelabu yang disebabkan oleh grafit pada waktu pembentukan, jadi besi cor demikian dinamakan besi cor kelabu. Kalau laju pendinginan cepat, sehingga  $Fe_3C$  – Ferit dari eutektoid mengkristal yang menunjukkan patahan berwarna putih, besi cor ini dinamakan besi cor putih. Besi cor putih yang memiliki sifat getas, namun memiliki kekerasan tinggi. (Morrogh, 1968).

Dari sifat yang dimiliki besi cor putih yaitu sangat keras namun getas sehingga perlu dilakukan penurunan kegetasan, sehingga penelitian ini dilakukan dengan metode perlakuan panas anil pada suhu 850°C waktu tahan 20 menit menggunakan alat *furnace* yang bertujuan untuk memisahkan karbida besi  $Fe_3C$  menjadi ferit ( $\alpha$ ) + Grafit (C). Dilakukan uji metalografi menggunakan alat mikroskop optik kemudian dilanjutkan uji SEM-EDS untuk menganalisa struktur mikro pada besi cor putih sebelum dan sesudah dianil. Dan dilakukan uji kekerasan *Vickers* untuk mengetahui harga kekerasan pada besi cor putih sebelum dan sesudah dianil.

## 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 *Vickers* pada besi cor putih.



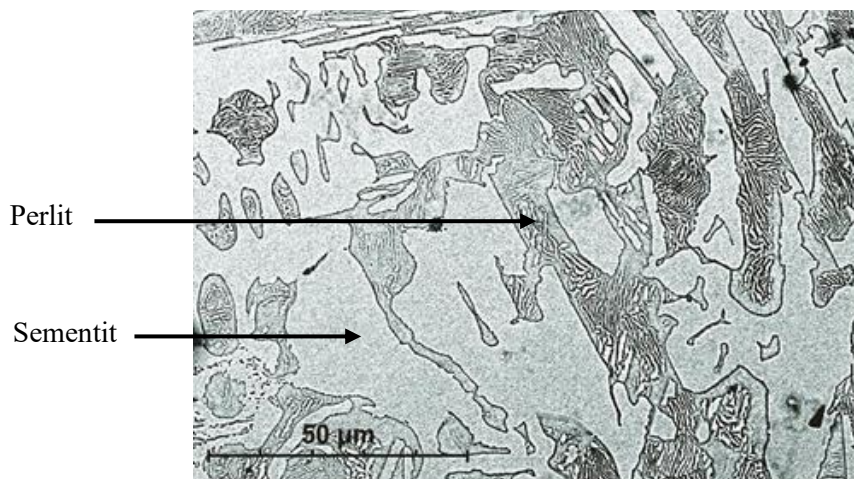
Gambar 1 Diagram Alir Penelitian (*Flow Chart*)

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses pengujian dilakukan pada raw material dan spesimen hasil proses anil pada suhu 850°C dengan waktu tahan 20 menit menggunakan tungku pemanas. Kemudian dilakukan pengujian metalografi dengan alat mikroskop optik kemudian dilanjutkan pengujian (SEM-EDS).

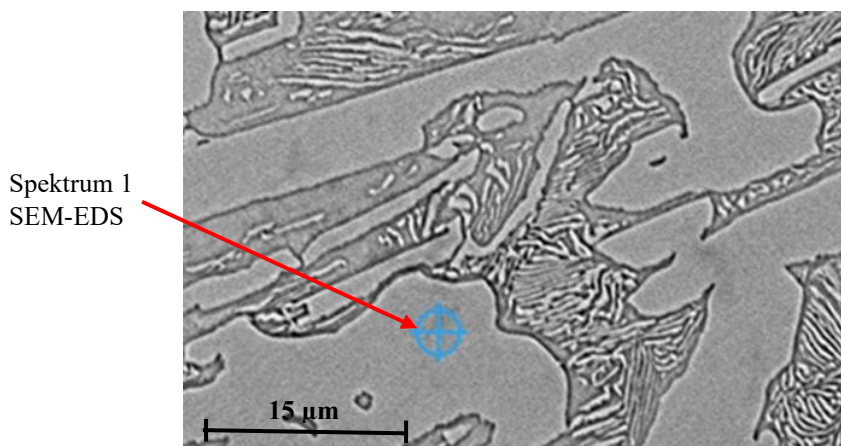
#### 3.1 Hasil Pengujian Metalografi

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 ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) 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.

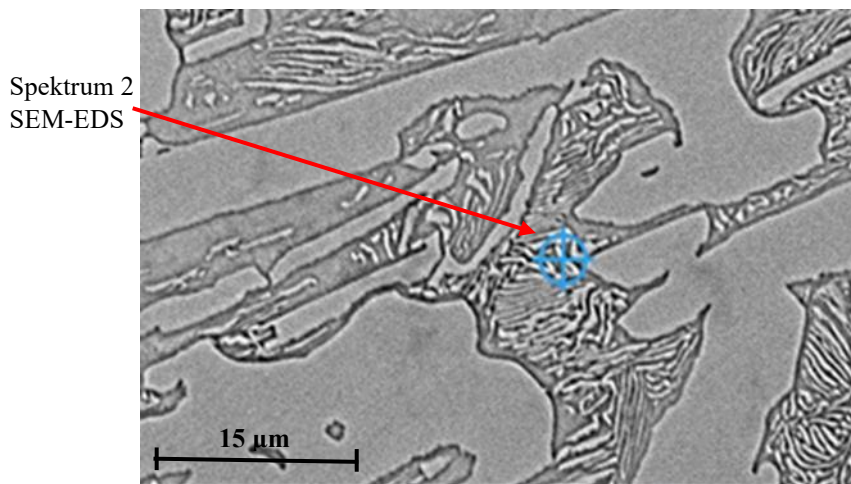


Gambar 2 Foto Struktur Mikro Besi Cor Putih

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.

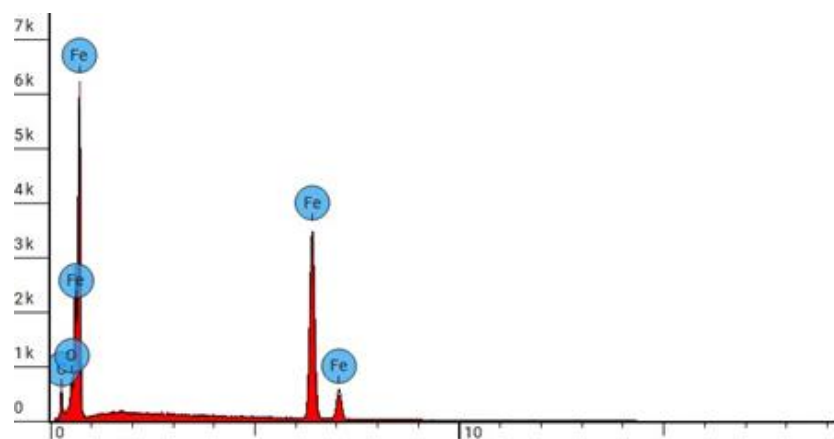


Gambar 3 Titik mikrograf SEM untuk EDS line analysis fasa sementit pada besi cor putih



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.

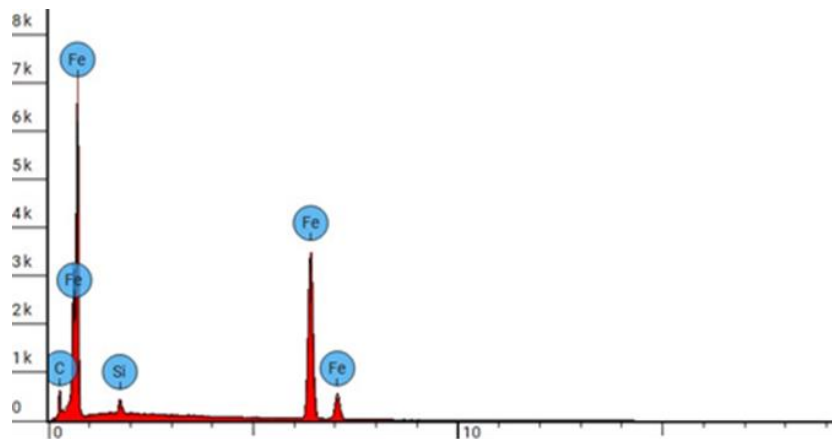


Gambar 5 *Line analysis* fasa sementit besi cor putih (spektrum 1)

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.

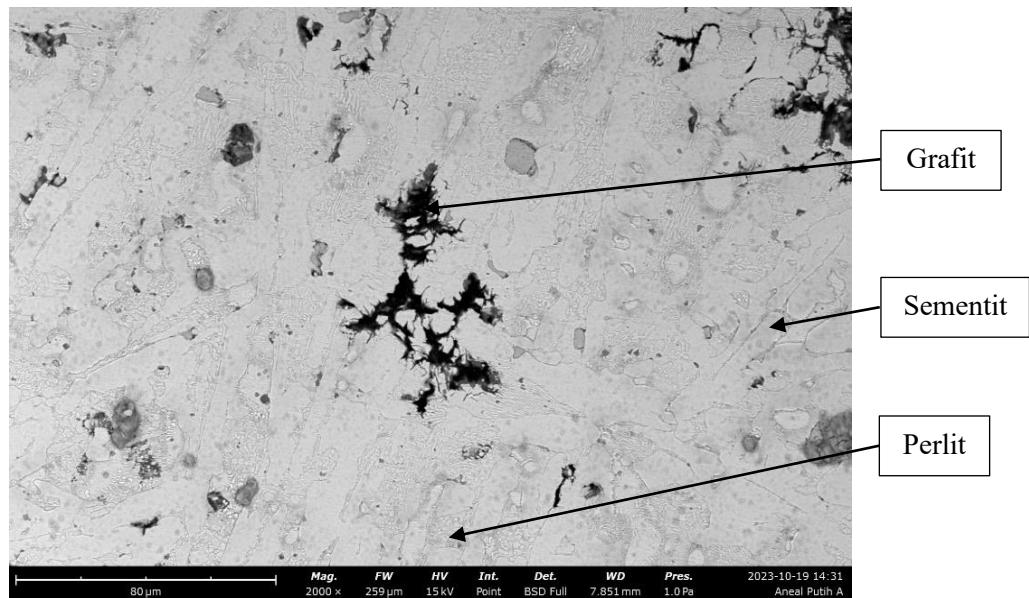


Gambar 6 *Line analysis* fasa perlit besi cor putih (spektrum 2)

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

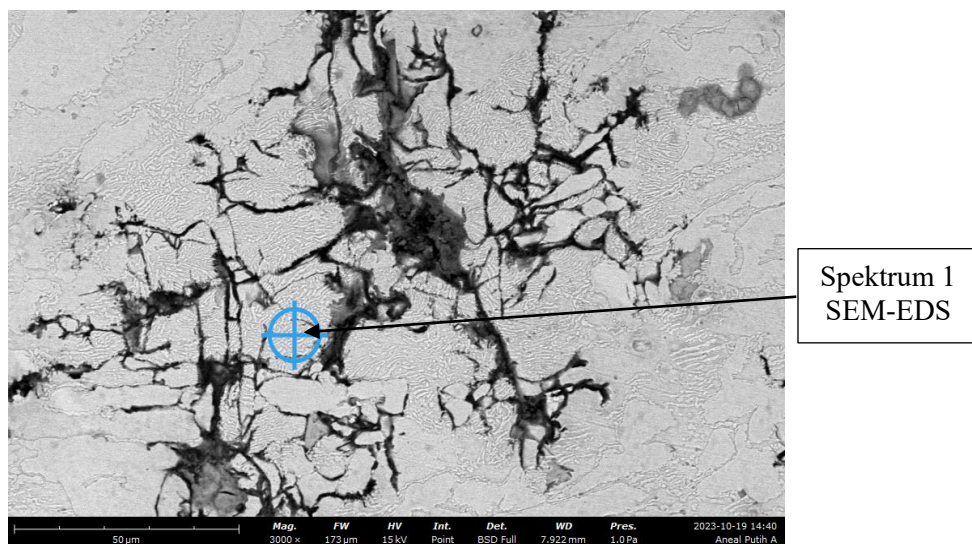
| Element Number | Element Symbol | Element Name | Atomic Conc. | Weight Conc. |
|----------------|----------------|--------------|--------------|--------------|
| 6              | C              | Carbon       | 15.398       | 3.800        |
| 14             | Si             | Silicon      | 1.559        | 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 setelah proses anil, yaitu fasa sementit ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ), 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.

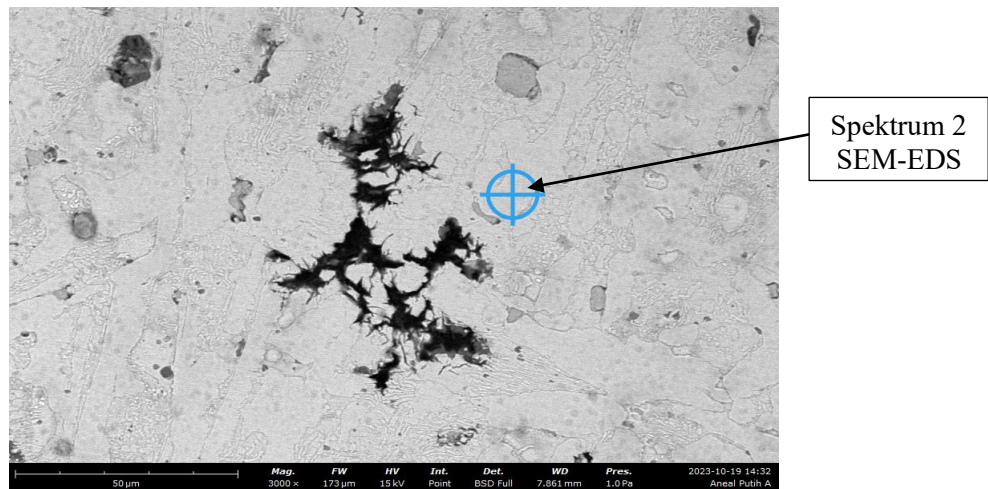


Gambar 7 Foto Struktur Mikro Besi Cor Putih Anil

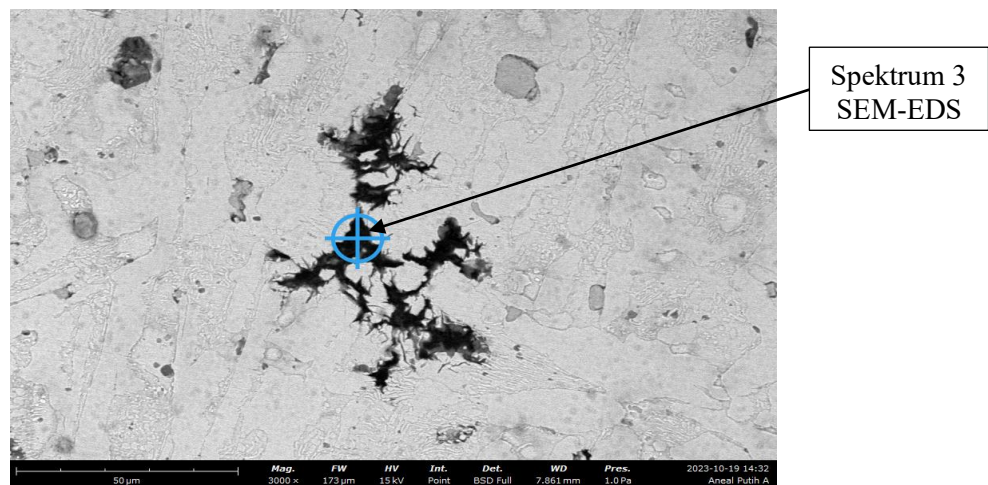
Pengujian *Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (EDS)* dilakukan untuk mengetahui komposisi kimia fasa besi cor putih anil. Pada gambar 7 menunjukkan hasil spektrum pertama dilakukan pada fasa perlit kemudian spektrum kedua dilakukan pada fasa sementit dan spektrum ketiga dilakukan pada fasa grafit ditunjukkan pada gambar 8, 9, dan 10.



Gambar 8 Titik mikrograf SEM untuk EDS *line analysis* fasa perlit pada besi cor putih anil

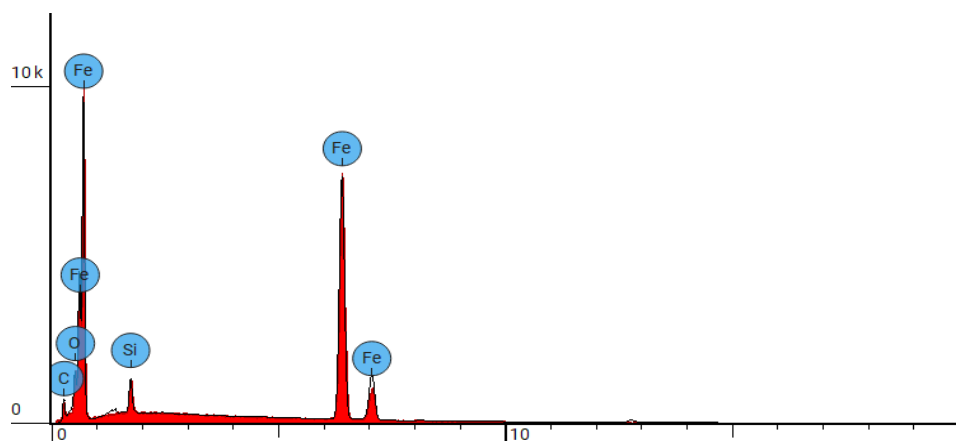


Gambar 1 Titik mikroskop SEM untuk EDS *line analysis* fasa sementit pada besi cor putih anil



Gambar 10 Titik mikroskop SEM untuk EDS *line analysis* fasa grafit pada besi cor putih anil

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



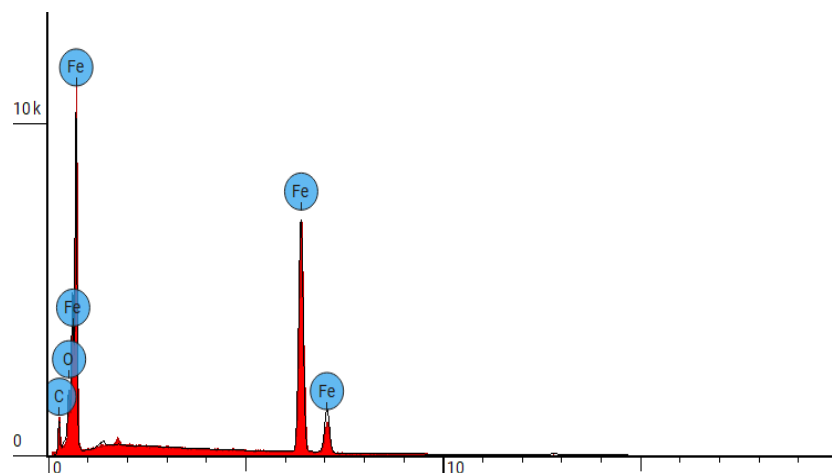
Gambar 11 *Line analysis* fasa perlit besi cor putih anil (spektrum 1)

Pada pengujian *EDS* fasa perlit didapatkan *line analysis EDS* seperti pada gambar 11 yang menunjukkan munculnya beberapa unsur penyusun fasa perlit. Untuk data prosentase komposisi spektrum fasa perlit, dapat dilihat pada tabel 3. Pada tabel menunjukkan bahwa unsur tertinggi fasa perlit adalah *Iron (Fe)* sebesar 92.000% berat dan diikuti unsur *Carbon (C)* sebesar 4,200% berat serta unsur *Silicon (Si)* sebesar 2,000% berat. *Oxygen (O)* sebesar 1,800% berat. Adanya unsur *Oxygen (O)* menunjukkan bahwa spesimen telah teroksidasi, disebabkan karena pada waktu proses preparasi spesimen selesai ada jeda waktu sebelum menuju pengujian *SEM-EDS*.

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

| <i>Element Number</i> | <i>Element Symbol</i> | <i>Element Name</i> | <i>Atomic Conc.</i> | <i>Weight Conc.</i> |
|-----------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 6                     | <i>C</i>              | <i>Carbon</i>       | 16.037              | 4.200               |
| 8                     | <i>O</i>              | <i>Oxygen</i>       | 5.159               | 1.800               |
| 14                    | <i>Si</i>             | <i>Silicon</i>      | 3.265               | 2.000               |
| 26                    | <i>Fe</i>             | <i>Iron</i>         | 75.539              | 92.000              |

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



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

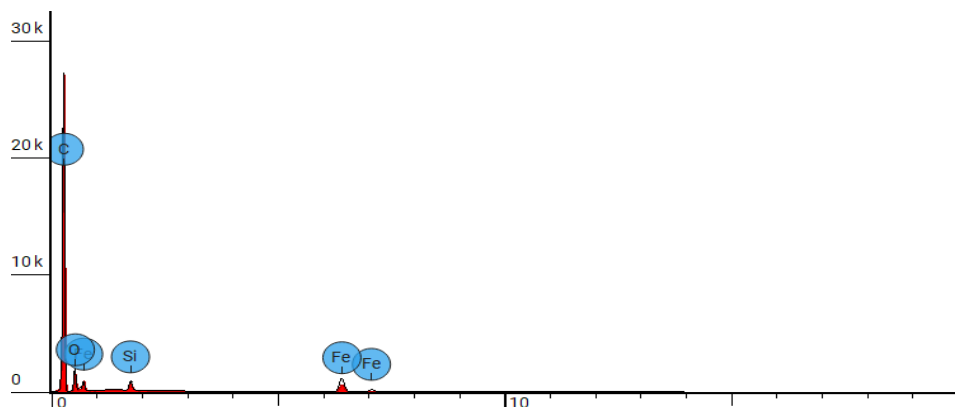
Berdasarkan penentuan titik uji *EDS* gambar 9 pada fasa sementit maka didapatkan *line analysis EDS* fasa sementit seperti yang ditunjukkan pada gambar 12. Dari *line analysis* fasa sementit dapat diketahui bahwa terdeteksi beberapa unsur komposisi kimia pada spektrum fasa sementit besi cor putih anil. *Iron (Fe)* merupakan unsur dengan kapasitas tertinggi sebesar 92.600% berat. Sedangkan untuk unsur lainnya dapat dilihat pada tabel 4.4 dengan prosentase komposisi yaitu, unsur *Carbon (O)* sebesar 5,200% berat terhitung

komposisi ini mendekati komposisi teoritis fasa sementit yaitu 6,700% berat, *Oxygen (O)* sebesar 2,200% berat. Adanya unsur *Oxygen (O)* menunjukkan bahwa spesimen telah teroksidasi, disebabkan karena pada waktu proses preparasi spesimen selesai ada jeda waktu sebelum menuju pengujian *SEM-EDS*. Kandungan karbon di fasa sementit sebesar 5,200% berat terhitung lebih besar dibanding kandungan karbon pada fasa perlit sebesar 4,200% berat, karena pengaruh adanya unsur ferit pada perlit.

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

|  | <i>Element Number</i> | <i>Element Symbol</i> | <i>Element Name</i> | <i>Atomic Conc.</i> | <i>Weight Conc.</i> |
|--|-----------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
|  | 6                     | <i>C</i>              | <i>Carbon</i>       | 19.429              | 5.200               |
|  | 8                     | <i>O</i>              | <i>Oxygen</i>       | 6.170               | 2.200               |
|  | 26                    | <i>Fe</i>             | <i>Iron</i>         | 74.401              | 92.600              |

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



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

Pada pengujian *EDS* fasa grafit didapatkan *line analysis EDS* seperti pada gambar 13 yang menunjukkan munculnya beberapa unsur penyusun fasa grafit. Untuk data prosentase komposisi spektrum fasa grafit, dapat dilihat tabel 5. Pada tabel menunjukkan adanya unsur *Carbon (C)* merupakan unsur dengan kapasitas tertinggi sebesar 71,229% berat. Sedangkan untuk unsur lainnya dengan prosentase komposisi yaitu, unsur *iron (Fe)* sebesar 17.083% berat, dan *Oxygen (O)* sebesar 10.490% berat, serta munculnya *Silicon (Si)* sebesar 1.199% berat. Kandungan *C* pada fasa grafit hampir mendekati 100% yang artinya hampir keseluruhan merupakan unsur *Carbon (C)*.

Tabel 3 Hasil *line analysi* fasa grafit besi cor putih anil (spektrum 3)

|  | <i>Element Number</i> | <i>Element Symbol</i> | <i>Element Name</i> | <i>Atomic Conc.</i> | <i>Weight Conc.</i> |
|--|-----------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
|  | 6                     | C                     | Carbon              | 85.521              | 71.229              |
|  | 8                     | O                     | Oxygen              | 9.454               | 10.490              |
|  | 14                    | Si                    | Silicon             | 0.615               | 1.199               |
|  | 26                    | Fe                    | Iron                | 4.411               | 17.083              |

### 3.2 Hasil Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan dengan menggunakan alat uji kekerasan *Vickers*. Berdasarkan standar ASTM E92, metode ini dilakukan dengan cara memberikan tekanan pada permukaan material siap uji dengan penempatan posisi acak menggunakan indenter intan berbentuk piramida presisi dengan dasar persegi dan membentuk sudut  $136^\circ$  pada puncak piramida. Beban ideal yang digunakan pada pengujian ini adalah 40 Kgf dengan waktu penekanan selama 10 detik. Pengujian dilakukan pada 3 titik untuk setiap spesimen, kemudian diambil nilai rata-ratanya. Hasil pengujian kekerasan *Vickers* dapat dilihat pada tabel 6 dan tabel 7.

Tabel 4 Hasil Pengujian kekerasan *Vickers* Raw Material

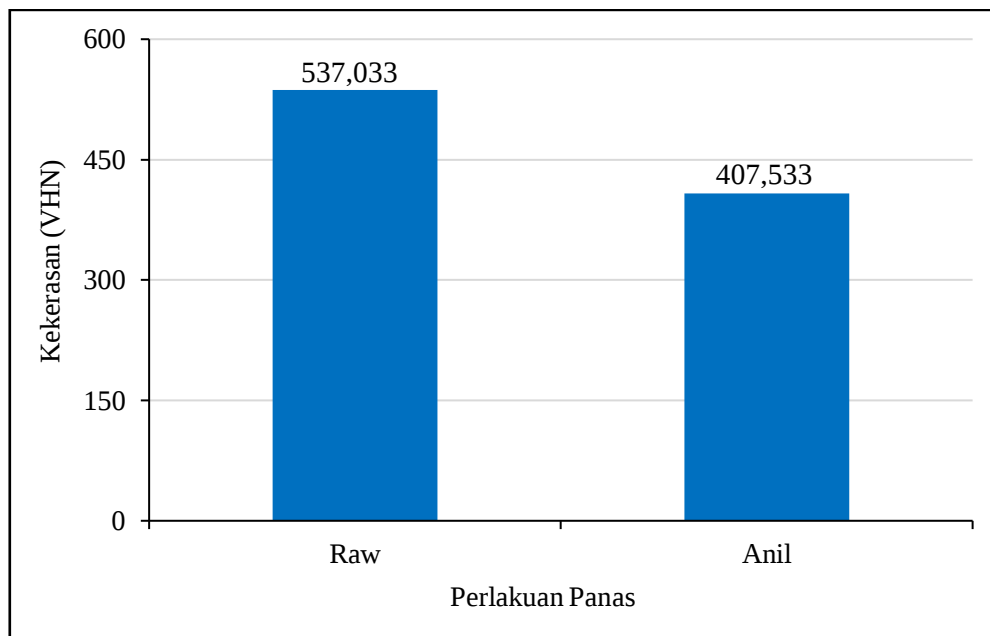
| Lokasi Titik Uji | Pembebanan (Kgf) | Diagonal (mm)  |                | d (mm) | Kekerasan (VHN) | Kekerasan Rata-rata (VHN) |
|------------------|------------------|----------------|----------------|--------|-----------------|---------------------------|
|                  |                  | d <sub>1</sub> | d <sub>2</sub> |        |                 |                           |
|                  |                  | (mm)           | (mm)           |        |                 |                           |
| Acak             | 40 Kgf           | 0,36           | 0,38           | 0,370  | 541,8           | 537,033                   |
| Acak             | 40 Kgf           | 0,37           | 0,37           | 0,370  | 541,8           |                           |
| Acak             | 40 Kgf           | 0,38           | 0,37           | 0,375  | 527,5           |                           |

Tabel 5 Hasil Pengujian kekerasan *Vickers* Perlakuan Panas Material Anil

| Lokasi Titik Uji | Pembebanan (Kgf) | Diagonal (mm)  |                | d (mm) | Kekerasan (VHN) | Kekerasan Rata-rata (VHN) |
|------------------|------------------|----------------|----------------|--------|-----------------|---------------------------|
|                  |                  | d <sub>1</sub> | d <sub>2</sub> |        |                 |                           |
|                  |                  | (mm)           | (mm)           |        |                 |                           |
| Acak             | 40 Kgf           | 0,44           | 0,42           | 0,430  | 401,2           | 407,533                   |
| Acak             | 40 Kgf           | 0,42           | 0,43           | 0,425  | 410,7           |                           |
| Acak             | 40 Kgf           | 0,41           | 0,44           | 0,425  | 410,7           |                           |

Pada tabel 6 dan 7 merupakan hasil data uji kekerasan *Vickers* dengan spesimen besi cor putih raw material dan besi cor putih perlakuan panas anil, setiap spesimen dilakukan pengujian sebanyak tiga titik indentasi dengan penentuan posisi acak berjarak 2 mm pada setiap titik indentasi. Berdasarkan data hasil pengujian pada tabel 6 dan 7, dapat diketahui bahwa didapatkan nilai kekerasan tertinggi terjadi pada spesimen besi cor putih raw material dengan nilai kekerasan rata-rata sebesar 537,003 *VHN*. Hal ini dikarenakan pada spesimen besi cor putih raw material masih terdapat fasa sementit yang memiliki sifat kekerasan sangat baik, karena *Ferro (Fe)* dan *Carbon (C)* membentuk senyawa  $Fe_3C$  yang berikatan ion.

Sedangkan nilai kekerasan terendah terjadi pada spesimen besi cor putih yang sudah dilakukan perlakuan panas anil didapat nilai kekerasan rata-rata 407,533 *VHN*. Hal ini dikarenakan pada spesimen besi cor putih yang sudah dilakukan perlakuan panas anil terbentuknya fasa baru yaitu grafit dapat terbentuk dari fasa sementit  $Fe_3C$  yang telah terdekomposisi menjadi grafit (*C*) sehingga dapat mempengaruhi nilai kekerasan pada spesimen yang telah dianil. Perbandingan hasil pengujian kekerasan *Vickers* pada spesimen besi cor putih raw material dan spesimen besi cor putih perlakuan panas anil dapat dilihat pada gambar 14.



Gambar 14 Pengaruh anil terhadap kekerasan *Vickers* besi cor putih

#### 4. PENUTUP

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan data sebagai berikut: (1) Setelah dilakukan pengujian metalografi dengan alat mikroskop optik kemudian dilanjutkan dengan alat *Scanning Electron Microscope (SEM)* maka didapatkan struktur mikro pada besi cor putih sebelum proses anil berupa fasa perlit dan fasa sementit ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ). Kemudian didapatkan perubahan struktur mikro pada besi cor putih yang telah dianil berupa fasa grafit, fasa sementit ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) dan fasa perlit. Penambahan fasa baru yaitu fasa grafit yang terlihat berwarna 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 ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) yang saling berdampingan. Maka dari proses perlakuan panas anil dapat memunculkan fasa baru yaitu fasa grafit, terbentuk akibat fasa sementit ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) yang telah terdekomposisi menjadi ( $\alpha$ ) ferit + grafit. (2) Berdasarkan hasil pengujian kekerasan *Vickers*, nilai kekerasan tertinggi terjadi pada raw material dengan nilai kekerasan rata-rata sebesar 537,033 *VHN*. Sedangkan nilai kekerasan terendah terjadi pada spesimen yang sudah diberikan perlakuan panas dengan proses anil terdapat nilai kekerasan rata-rata sebesar 407,533 *VHN*. Maka proses perlakuan panas anil dapat menurunkan harga kekerasan pada besi cor putih.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Andarupm. (2022, Maret 11). Furnace – Pengertian, Fungsi dan Cara Menggunakan. Diambil dari PT. Andaru Persada Mandiri: <https://andarupm.co.id/furnace-lab/>
- Callister JR, W., & Rethwisch, D. (2018). *Materials Science and Engineering* (10 ed.). Wiley, United State of America.
- Chen, L., Zhou, J., Bushlya, W., & Eric, J. S. (2015). Influences of Micro Mechanical Property and Microstructure on Performance of Machining High Chromium White Cast Iron With cBN Tools. *Science Direct*, 172-178. Diambil dari <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>
- Cruz, S., Jacuinde, B., Guerra, F., & Mejia, I. (2020). Microstructural Modification Of A Static and Dynamically Solidified High Chromium White Cast Iron Alloyed With Vanadium. *Results in Materials*, 1-10. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rinma.2020.100114>

- Darmawan, A.S. (2020). Ilmu Bahan Teknik. Kartasura: ( MUP ) Muhammadiyah University Press.
- Darmawan, A.S dan Masyrukan. (2019). Struktur dan Sifat Material. Surakarta: Muhammadiyah University Press.
- Huq, M. J., Shimizu, K., Kusumoto, K., & Purba, R. H. (2022). Three Body Abrasive Wear Performance of High Chromium White Cast Iron with Different Ti and C Content. *Lubricants*, 1-14. doi:<https://doi.org/10.3390/lubricants10120348>
- I. Goldstein, J., E. Newbury, D., Echiin, P., E. Lyman, C., Lifshin, E., Sawyer, L., & R. Michael, J. (2003). *Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis* (3 ed.). New York: Kluwer Academic/ Plenum Publishers.
- Liu, Z., Li, Y., Chen, X., & Hu, K. (2007). Microstructure and Mechanical Properties of High Boron White Cast Iron. *Material Science and Engineering*, 112-116. doi:10.1016/j.msea.2007.10.017
- Pourasiabi, H. J. (2021). Effects of Niobium Macro- Additions to high chromium white cast iron on microstructure, hardness and abrasive wear behaviour. *Materials and design*, 122. doi:<https://doi.org/10.1016/j.matdes.2021.110261>
- Sheshdeh, M. J., Ali, Y., Gallo, S. C., Lin, W., & Gates, J. (2021). Comparing the abrasion performance of NiHard-4 and high-Cr-Mo white cast irons: The effects of chemical composition and microstructure. *Elsevier*, 492-493. doi:<http://doi.org/10.1016/j.wear.2021.204208>
- Suprayogi, Z. A., Luthfianto, S., & Samyono, D. (2017). *Jurnal Sains dan Teknologi*. Pengaruh Variasi Media Quenching Terhadap Sifat Mekanis Rantai Elevator Fruit Kelapa Sawit, 6, 21-29.
- Supriyono. (2017). *Material Teknik*. Surakarta: Muhammadiyah University Press
- Surdia, T., & Saito, S. (1999). *Pengetahuan Bahan Teknik* (Cet. 4 ed.). Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Zipperian, D. (2011). *Metallographic Handbook*. Tucson, Arizona USA: Pace Technologies.