

# ANALISIS PENGARUH WAKTU PERENDAMAN PROSES DEEP CRYOGENIC TREATMENT PADA BESI COR KELABU FC25 TERHADAP UJI KEKERASAN, UJI TARIK DAN STRUKTUR MIKRO

Joao Martins de Araujo<sup>1</sup>, Supriyanto<sup>1</sup>, Sukamto<sup>1</sup>

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Janabadra

Jl. Tentara Rakyat Mataram No. 55-57, Yogyakarta

\*E-mail: [supriyanto@janabadra.ac.id](mailto:supriyanto@janabadra.ac.id)

## Abstrak

Besi cor kelabu (*grey cast iron*) FC-25 merupakan material yang banyak digunakan pada pengecoran logam. Besi cor kelabu FC-25 akan mengalami perubahan fasa selama proses pendinginan, baik perubahan sifat fisis maupun mekanis, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan metode pendinginan *Deep Cryogenic Treatment* (DCT) terhadap sifat mekanis dan struktur mikro pada besi cor kelabu (*grey cast iron*) FC25. Metode Pendinginan dilakukan dengan cara, setelah pemotongan spesimen lalu dilakukan perendaman menggunakan *Deep Cryogenic Treatment* (DCT) dengan variasi waktu 1 jam, 2 jam dan 4 jam. Hasil perendaman selanjutnya langsung dilakukan pengujian tarik, kekerasan metode *rockwell* dan pengamatan struktur mikro.

Pengamatan struktur mikro menunjukkan terbentuknya dua fasa struktur mikro yaitu grafit flakes dan ferrit, sehingga dikategorikan sebagai besi keras dan getas, hal ini dibuktikan pada foto struktur mikro karena terbentuknya dua fasa yaitu struktur grafit flakes dan juga ferrit. Nilai kekerasan yang paling tertinggi sebesar 86,01 HRB terdapat pada proses perendaman DCT 2 jam dan nilai kekuatan tarik yang paling tertinggi terdapat pada proses perendaman DCT 4 jam yaitu sebesar 207,55 Mpa.

**Kata kunci:** Besi cor kelabu FC25, *Deep Cryogenic Treatment*, Struktur Mikro, Uji Kekerasan, Uji Kekuatan Tarik.

## Abstract

*FC-25 gray cast iron is a material that is widely used in metal casting. FC-25 gray cast iron will experience a phase change during the cooling process, both changes in physical and mechanical properties, this study aims to compare the Deep Cryogenic Treatment (DCT) cooling method to the mechanical properties and microstructure of gray cast iron (grey cast iron). FC-25. Cooling method is carried out by means of, after cutting the specimen and then immersing it using Deep Cryogenic Treatment (DCT) with time variations of 1 hour, 2 hours and 4 hours. The results of the immersion were then directly subjected to tensile testing, rockwell method hardness and microstructure observations. Microstructure observations showed the formation of two phases of the microstructure, namely graphite flakes and ferrite, so that they were categorized as hard and brittle iron, this is evidenced in the microstructure photo due to the formation of two phases. namely the structure of graphite flakes and also ferrite. The highest hardness value of 86.01 HRB was found in the 2-hour DCT immersion process and the highest tensile strength value was found in the 4-hour DCT immersion process, which was 207.55 Mpa..*

**Keyword:** *Deep Cryogenic Treatment, FC25 gray cast iron, Hardness Test, Microstructure, Tensile Strength Test.*

## 1. Pendahuluan

Industri pengecoran logam merupakan sebuah tumpuan dalam barang modal. Besi cor kelabu merupakan salah satu logam yang banyak digunakan dalam industri pengecoran. Hal ini karena ketersediaan alam yang melimpah dibandingkan logam lainnya. Menurut Bayuseno (2010) besi cor banyak digunakan dalam bidang perpipaan, otomotif, permesinan dan lain-lain [1]. Proses pengecoran logam dalam industri biasanya menggunakan dua cara seperti proses pengecoran menggunakan cetakan pasir dan proses pengecoran menggunakan cetakan logam. Dalam dunia industri pengecoran menggunakan cetakan pasir yang dinilai lebih sederhana dan tidak membutuhkan biaya yang banyak, namun dengan cetakan pasir tidak bisa menghasilkan material yang mempunyai ketelitian yang baik. Dalam proses peleburan besi cor kelabu menggunakan bahan baku diantaranya besi kasar (*pig iron*), besi scrap, baja scrap, dan bahan paduan lain yang memiliki keragaman komposisi [2,3].

Sekitar 94% dari total kebutuhan dunia akan material besi adalah dalam bentuk baja dan besi cor menurut V.B.John, (1983) [4]. Karena proses pembuatannya yang mudah, konstruksinya sederhana dan bisa diproduksi secara massal, memberikan kemungkinan peleburan kontinu dengan biaya yang rendah untuk alat-alat peleburan, besi cor

dapat digolongkan menjadi enam yaitu: besi cor kelabu, besi cor kelas tinggi, besi cor kelabu paduan, besi cor grafit bulat, besi cor mampu tempa, dan besi cor cil. Besi cor kelabu adalah besi cor yang mempunyai patahan kelabu, besi cor kelabu juga sangat keras dan getas dan harganya murah. karena adanya serpihan karbon (C). Unsur di dalam besi cor tidak hanya karbon (C) saja, namun masih ada kandungan unsur lainnya seperti: mangan (Mn), sulfur (S), fosfor (P), dan silikon (Si), karena unsur karbon dalam material besi cor kelabu lebih tinggi dibandingkan dengan material-material lain karena itu besi cor lebih keras dan getas. Ada beberapa faktor lain yang mempengaruhi sifat-sifat besi cor seperti proses pendinginan, media pendingin dan kandungan unsur pada material [5-7].

*Cryogenic* adalah metode pendinginan dengan suhu sangat rendah yang bertujuan untuk meningkatkan kekuatan tarik, ketangguhan, kekerasan, dan lain-lain, dengan merubah struktur mikro secara permanen. []. Pada dasarnya cryogenic treatment di klasifikasikan menjadi dua jenis: Shallow Cryogenic Treatment (SCT) dan Deep Cryogenic Treatment (DCT). Shallow cryogenic treatment menggunakan suhu 80 °C hingga -149 °C dan Deep Cryogenic Treatment menggunakan suhu yang lebih rendah pada -149 °C hingga -196 °C[8].

Manfaat dari menambahkan Deep Cryogenic Treatment (DCT) pada proses Heat Treatment Conventional, berguna untuk meningkatkan kekuatan, stabilitas dimensi atau stabilitas struktur mikro, ketahanan aus yang lebih baik, kekerasan, ketangguhan, umur kelelahan, dan menghilangkan tegangan sisa [].

Pada penelitian ini akan dilakukan pengujian proses Deep Cryogenic Treatment (DCT) untuk dianalisis struktur mikro dan sifat mekanik pada besi cor kelabu FC25.

### 1.1 Deep cryogenic treatment

Deep Cryogenic Treatment merupakan proses perlakuan dingin dengan suhu -196°C untuk meningkatkan sifat mekanik logam dengan menggunakan nitrogen cair. Menurut Allo, (2018) proses deep cryogenic treatment dimulai dengan pendinginan pada temperatur -196°C kemudian ditahan beberapa waktu dan diakhiri pada temperatur kamar [7].

### 1.2 Struktur mikro

Tujuan dari pengujian struktur mikro adalah untuk memperoleh gambaran tentang sifat-sifat, bentuk struktur atau karakteristik tertentu guna penganalisaan terhadap sifat-sifat lain yang dimiliki benda uji, misalnya dengan variasi struktur mikro seperti jumlah, ukuran, bentuk, warna, distribusi fase, dan sebagainya. Untuk mengetahui struktur mikro maka dilakukan pengujian dengan menggunakan mikroskop optik.

Penggunaan mikroskop optik selain untuk meneliti deformasi permukaan logam, dapat juga untuk memeriksa susunan dari logam tersebut. Apabila cahaya-cahaya yang dipantulkan masuk kedalam lensa mikroskop, permukaan tampak dengan jelas (terang). Akan tetapi, apabila bekas dipantulkan dan tidak mengenai lensa, daerah itu akan tampak hitam. Batas butir tampak seperti alur mengelilingi setiap butir dan cahaya tidak dipantulkan dalam lensa, sehingga batas butir tampak seperti garis-garis hitam.

### 1.3 Uji kekerasan (Hardness test)

Kekerasan (Hardness) adalah sifat yang dapat diandalkan sebagai pengganti kekuatan bahan. Alat pengujian kekerasan ada beberapa macam yang disesuaikan dengan : bahan, kekerasan, ukuran, dan lainnya dari suatu produk. Secara umum pengujian kekerasan dapat dilakukan dengan 3 cara :

#### a. Metode Kekerasan Brinell

Kekerasan ini diukur dengan menggunakan alat pengukur kekerasan Brinell. Bola baja keras dengan diameter D (mm) ditekan ke permukaan bagian yang diukur dengan beban F (kg). Kekerasan Brinell adalah beban F dibagi luas bidang (mm<sup>2</sup>) penekanan yang merupakan deformasi (perubahan) tetap sebagai akibat penekanan.

#### b. Metode Kekerasan Vickers

Penetrator pada Vickers Hardness Tester dibuat dari bahan intan yang berbentuk piramid yang ditekan pada benda uji rata tanpa kejutan. Proses pengujian kekerasan Vickers memakai piramida diamond dengan sudut puncak 136° sebagai penekan dan dengan alas berbentuk bujur sangkar. Penetrator ditekan kedalam bahan uji (spesimen) dengan beban sebesar F (kg), selama waktu tertentu.

#### c. Metode Kekerasan Rockwell

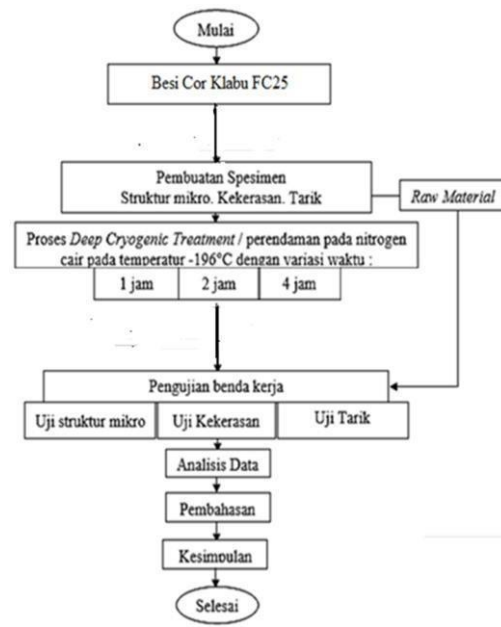
Proses pengujian kekerasan rockwell memiliki kecepatan hitung yang lebih cepat karena nilai kekerasannya langsung dapat dilihat dari pengukur alat uji. Penetrator yang bisa digunakan adalah kerucut intan dengan sudut puncak 120°, bola baja berdiameter 1/16, dan 1/8 inci.

### 1.4 Uji tarik (Tensile test)

Kekuatan tarik (tensile strength, ultimate tensile strength) adalah tegangan maksimum yang bisa ditahan oleh sebuah bahan ketika diregangkan atau ditarik, sebelum bahan tersebut patah. Kekuatan tarik adalah kebalikan dari

kekuatan tekan, dan nilainya bisa berbeda. Beberapa bahan dapat patah begitu saja tanpa mengalami deformasi, yang berarti benda tersebut bersifat rapuh atau getas (brittle). Bahan lainnya akan meregang dan mengalami deformasi sebelum patah, yang disebut dengan benda elastis (ductile). Kekuatan tarik umumnya dapat dicari dengan melakukan uji tarik dan mencatat perubahan regangan dan tegangan. Titik tertinggi dari kurva tegangan-regangan disebut dengan kekuatan tarik maksimum (ultimate tensile strength) [8].

## 2. Metode Penelitian

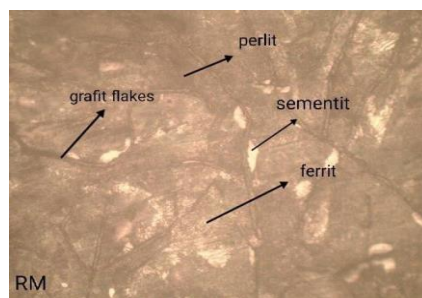


**Gambar 1.** Diagram alir penelitian

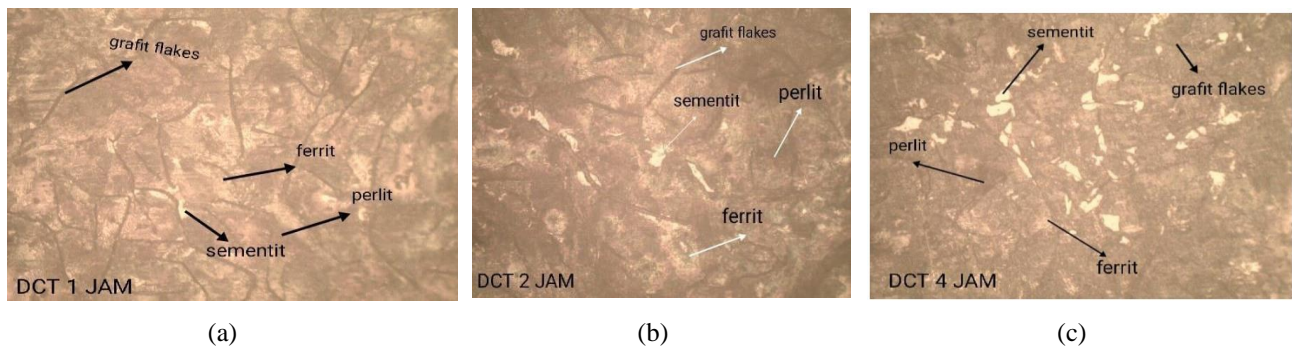
## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1 Uji Struktur Mikro

Analisis Hasil Pengujian Struktur Mikro. Pengujian struktur mikro dilakukan dengan pengamatan pada benda uji menggunakan mikroskop optik setelah benda uji di etsa. Zat kimia yang digunakan untuk etsa adalah aqua regia. Benda uji tersebut terdiri atas spesimen raw material dan spesimen setelah proses Deep Cryogenic Treatment pada temperatur 196 °C dengan variasi waktu peredaman 1 jam, 2 jam, dan 4 jam. Pengujian struktur mikro menggunakan perbesaran 200x pada seluruh spesimen. Hasil pengujian struktur mikro dapat dilihat pada Gambar dibawah ini :



**Gambar 2.** Struktur Mikro Besi Cor Kelabu FC25 Raw Material Pembesaran 200 X

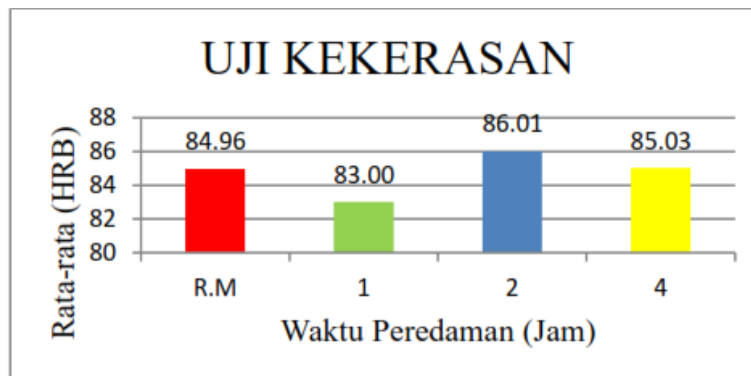


**Gambar 3.** Struktur mikro besi cor kelabu FC25 Setelah Proses DCT Pembesaran 200 X (a) Waktu Perendaman DCT 1 Jam, (b) Waktu Perendaman.DCT 2 Jam, (c) Waktu Perendaman 4 Jam

Hasil uji struktur mikro paduan Besi cor kelabu FC25 memperlihatkan struktur perlit, ferit dan struktur grafit flakes, yang mengelilingi sementit dan yang terlihat pada area batas sementit seperti pada Gambar 4.1, untuk spesimen raw material. Pada proses perendaman Deep Cryogenic Treatment (DCT) 1 jam menunjukkan struktur mikro perlit dan ferit yang terbentuk dengan sementit yang relatif besar, serta struktur grafit flakes terlihat lebih homogen dibandingkan dengan foto struktur mikro raw material. Pada proses perendaman DCT dengan waktu 2 jam, menunjukkan struktur mikro yang terbentuk adalah perlit dan ferit dengan tumbuhnya struktur grafit flakes yang lebih besar pada area batas serta struktur ferrit yang terlihat relatif lebih besar dan berjarak. Spesimen proses perendaman DCT 4 jam menunjukkan bentuk struktur perlit yang kembali membesar dan struktur ferit yang mengecil dan stuktur grafit flakes yang lebih rapat dibandingkan proses perendaman DCT 2 jam.

### 3.2 Analisis Hasil Pengujian Kekerasan *Rockwell* Skala B

Pengujian kekerasan dilakukan menggunakan metode uji kekerasan rockwell. Harga kekerasan yang diperoleh dengan cara menghitung kedalaman yang diberikan dibagi dengan nilai rata-rata kedalaman yang diuji. Untuk menghitung hasil uji kekerasan Rockwell (HRB) dapat digunakan rumus kekerasan.



**Gambar 4.** Diagram Kekerasan Rata-Rata Besi Cor Kelabu FC25

Menunjukkan hasil pengujian kekerasan menggunakan metode kekerasan Rockwell dengan beban sebesar 100 kgf, setiap spesimen dilakukan pengujian pada 5 titik. Berdasarkan hasil pengujian terhadap spesimen uji besi cor kelabu FC25 diperoleh nilai kekerasan paling optimal pada spesimen DCT 2 jam dengan angka kekerasan sebesar 86,01 HRB. Tingginya nilai kekerasan ini dikarenakan ukuran struktur mikro yang terbentuk adalah perlit dan ferit dengan tumbuhnya struktur grafit flakes yang lebih besar pada area batas serta struktur ferrit yang terlihat relatif lebih besar dan berjarak.

Hasil perhitungan pengujian kekerasan Rockwell untuk spesimen dengan proses perendaman DCT Raw Material, diperoleh angka kekerasan sebesar 84,96 HRB, yang mana mengalami penurunan sebesar 2% dibandingkan specimen DCT 1 Jam. Hal ini terjadi karena perubahan struktur mikro perlit dan ferit yang terbentuk dengan sementit yang relatif besar, serta struktur grafit flakes terlihat lebih homogen dibandingkan dengan foto struktur mikro raw material yang terlihat berkurang.

Selanjutnya untuk hasil perhitungan proses DCT dengan waktu perendaman 1 jam memperlihatkan nilai kekerasan sebesar 83,00 HRB, yang mana mengalami kenaikan sebesar 3% dibandingkan dengan nilai kekerasan pada spesimen dengan proses perendaman DCT 2 jam. Kenaikan yang terjadi dilihat dari hasil pengamatan struktur mikro

menunjukkan perubahan perlit dan ferit yang terbentuk dengan sementit yang relatif besar, serta struktur grafit flakes terlihat lebih homogen dibandingkan dengan foto struktur mikro spesimen proses DCT 2 jam.

Spesimen dengan proses DCT waktu perendaman selama 4 jam, menunjukkan nilai kekerasan sebesar 85,03 HRB, spesimen ini mengalami penurunan nilai kekerasan sebesar 1% dari spesimen proses perendaman DCT 2 jam. Hal ini dikarenakan bentuk struktur sementit yang kembali membesar dan struktur ferit yang mengecil dan struktur grafit flakes yang lebih rapat terlihat sedikit dibandingkan DCT 2 jam.

Dari data nilai kekerasan dapat disimpulkan bahwa nilai kekerasan paling optimal terdapat pada spesimen DCT 2 jam dengan nilai kekerasan sebesar 86,01 HRB. Sedangkan nilai kekerasan pada spesimen dengan proses perendaman Raw Material dan DCT variasi waktu 1 jam dan 4 jam, menunjukkan bahwa perubahan nilai kekerasan yang tidak signifikan.

### 3.3 Analisis Hasil Pengujian Kekuatan Tarik (UTM)

Pengujian Tarik dilakukan untuk mengetahui kekuatan tarik suatu logam. Pengujian tarik biasanya dilakukan terhadap spesimen dengan memberikan beban tarik secara perlahan-lahan. Jika logam ditarik dengan beban maka akan terjadi deformasi yang berupa pengecilan penampang atau partambahan Panjang. Pengujian tarik dapat dihitung dengan persamaan:

$$\sigma = F/A_0 \quad (1)$$

keterangan:

$\sigma$  = Tegangan (Kg/mm<sup>2</sup>)

F = Beban maksimal (Kg)

A<sub>0</sub> = Luas penampang batang uji mula-mula (mm<sup>2</sup>)

Dieter (1986) menyebutkan regangan tarik dapat dihitung dengan menggunakan:

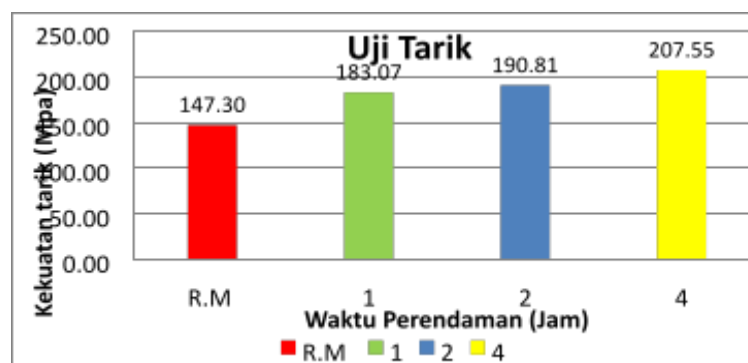
$$\varepsilon = (L_f - L_0) / L_0 \times 100\% \quad (2)$$

keterangan:

$\varepsilon$  = Regangan (%)

L<sub>f</sub> = Panjang benda uji pada saat patah (mm)

L<sub>0</sub> = Panjang benda uji mula-mula (mm<sup>2</sup>)



**Gambar 5.** Diagram kekuatan tarik rata-rata besi cor kelabu FC25

Pengujian kekuatan tarik pada Besi Cor Kelabu FC25 menunjukkan hasil pada spesimen raw material (Gambar 5.) dengan nilai tegangan sebesar 147,30 Mpa. Pada proses perendaman Deep Cryogenic Treatment (DCT) 1 jam menunjukkan nilai tegangan sebesar 183,07 Mpa, dimana mengalami peningkatan sebesar 24 % dibandingkan spesimen raw material. Hasil pengujian kekuatan tarik proses perendaman DCT 2 jam dengan nilai tegangan sebesar 190,81 Mpa mengalami kenaikan sebesar 29 % dibandingkan spesimen raw material. Hasil pengujian kekuatan tarik proses perendaman DCT 4 jam dengan nilai tegangan sebesar 207,55 Mpa mengalami kenaikan sebesar 40 % dibandingkan spesimen raw material.

Berdasarkan data hasil perhitungan uji kekuatan tarik pada spesimen Besi Cor Kelabu FC25 menunjukkan nilai tegangan maksimal paling tinggi pada spesimen proses perendaman DCT 4 jam dengan nilai tegangan sebesar 207,55 Mpa serta memperoleh nilai tegangan terendah pada spesimen proses DCT raw material. Dapat disimpulkan bahwa

perlakuan proses perendaman Deep Cryogenic Treatment dengan variasi Raw Material dengan DCT waktu 1 jam dan 2 jam mempengaruhi nilai tegangan dan mengalami peningkatan yang relatif tinggi. Dari proses perendaman DCT spesimen raw material hingga proses DCT 4 jam terlihat bahwa proses DCT mempengaruhi peningkatan nilai tegangan pada Besi Cor Kelabu FC25.

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

- Besi Cor kelabu FC25 dengan perendaman DCT 1 Jam, 2 jam, 4 jam dan raw material struktur mikro yang terbentuk adalah ferrit, perlit, sementit dan grafit flakes. Besi Cor Kelabu FC25 dengan perendaman DCT 2 jam dan 4 jam fasa ferrit dan grafit flakes lebih mendominasi daripada Besi Cor Kelabu FC25 raw material dan perendaman DCT 1 jam sehingga menyebabkan Besi Cor Kelabu FC25 dengan perendaman DCT 2 jam dan 4 jam memiliki nilai kekerasan lebih tinggi.
- Besi Cor Kelabu FC25 memiliki nilai kekerasan tertinggi pada spesimen DCT 2 Jam dengan nilai kekerasan sebesar 86,01 HRB, dibandingkan specimen raw material dan yang diberi perlakuan perendaman DCT dengan variasi waktu 1 jam, dan 4 jam yang menunjukkan peningkatan nilai kekerasan tidak signifikan.
- Proses perendaman DCT mempengaruhi peningkatan nilai kekuatan tarik maksimum pada besi cor kelabu FC25, ditunjukkan dengan meningkatnya nilai tegangan tertinggi pada proses perendaman DCT 4 jam yaitu sebesar 207.55 Mpa, dibandingkan nilai tegangan pada raw material dan variasi waktu 1 jam, dan 2 jam.

#### Daftar Pustaka

- [1] Bayuseno, A. P., *Penambahan Magnesium-Ferrosilikon Pada Proses Pembuatan Besi Cor Grafit Bulat: Evaluasi Terhadap Peningkatan Sifat Mekanik Dan Impak*. 12., 2010.
- [2] Callister., *Fundamentals Of Materials Science And Engineering*. <https://www.proquest.com/openview/9ac1589613034cd2c72ade2e39a2a399/1?pq-origsite=gscholar&cbl=34964>; 2001.
- [3] Callister., *Materials Science And Engineering*. <http://kaizenha.com/wp-content/uploads/2016/04/materialstextbook-8th-edition.pdf>; 2010.
- [4] V.B.John. *Introduction To Engineering Materials*. <https://id1lib.org/book/2673262/168320?Id=2673262&Secret=168320>; 1983.
- [5] Dieter., *Mechanical Metallurgy*. <https://journals.aps.org/prab/pdf/10.1103/PhysRevStab.13.031002>; 1986.
- [6] Darmadi, W., *Pengaruh Media Pendinginan Terhadap Struktur Mikro Dan Kekerasan Pada Besi Cor*. [http://eprints.ums.ac.id/38332/1/Naskah\\_Publikasi.pdf](http://eprints.ums.ac.id/38332/1/Naskah_Publikasi.pdf); 2015.
- [7] Damar Dwi Oktavianto., *Analisis Pengaruh Variasi Media Pendingin Terhadap Kekerasan Dan Struktur Mikro Besi Cor Kelabu Fc 25 Dengan Mangan 1,2 %*. Skripsi. [https://repository.usd.ac.id/36205/2/155214089\\_Full.pdf](https://repository.usd.ac.id/36205/2/155214089_Full.pdf) ; 2019.
- [8] Baldissera, P., *Deep Cryogenic Treatment: A Bibliographic Review*., 2008.
- [9] Huang, J. Y., *Microstructure Of Cryogenic Treated M2 Tool Steel*. [https://www.researchgate.net/profile/Xiaozhou-Liao/publication/248470307\\_Microstructure\\_Of\\_Cryogenic\\_Treated\\_M2\\_Tool\\_Steel/links/5f94101b92851c14bce1b537/Microstructure-Of-Cryogenic-Treated-M2-Tool-Steel.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Xiaozhou-Liao/publication/248470307_Microstructure_Of_Cryogenic_Treated_M2_Tool_Steel/links/5f94101b92851c14bce1b537/Microstructure-Of-Cryogenic-Treated-M2-Tool-Steel.pdf); 2003.
- [10] Yuan-Zhi, Z., *Effects Of Cryogenic Treatment On Mechanical Properties And Microstructure Of Fe-Cr-Mo- Ni-C-Co Alloy*. [https://www.researchgate.net/profile/Yz-Zhu/publication/225417314\\_Effects\\_Of\\_Cryogenic\\_Treatment\\_On\\_Mechanical\\_Properties\\_And\\_Microstructure\\_Of\\_Fe-Cr-Mo-Ni-C-Co\\_Alloy/links/02e7e52463f465d699000000/Effects-Of-Cryogenic-Treatment-OnMechanical-Properties-A](https://www.researchgate.net/profile/Yz-Zhu/publication/225417314_Effects_Of_Cryogenic_Treatment_On_Mechanical_Properties_And_Microstructure_Of_Fe-Cr-Mo-Ni-C-Co_Alloy/links/02e7e52463f465d699000000/Effects-Of-Cryogenic-Treatment-OnMechanical-Properties-A); 2008.
- [11] Kumar, S., *The Effects Of Cryogenic Treatment On Cutting Tools*. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899x/225/1/012104/pdf>; 2017.
- [12] Allo, B. R., *Pengaruh Cryogenic Terhadap Sifat Mekanis Paduan Aluminium Seri 2024-T3 Terhadap Sifat Mekanis Paduan Aluminium Seri 2024-T3*., 2018.
- [13] Arief Yahya., *Uji Tarik (Universal Testing Machine)*. Universal Testing Machine. <https://universaltestingmachinesite.wordpress.com/2017/04/04/Uji-Tarik-Universal-Testing-Machine/>; 2017.