



## **Optimalisasi Sifat Mekanis Kekerasan Ductile Cast Iron Fcd-50 Melalui Proses Heat Treatment**

**Yohanes Juan Pratama<sup>1</sup>, Arief Rizki Fadhillah<sup>2</sup>✉, Suriansyah<sup>3</sup>**

<sup>1,2,3</sup> Prodi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Widya Gama  
Jl. Taman Borobudur Indah No.1, Malang, Indonesia  
✉ *Corresponding author*: arief.rizki.f@widyagama.ac.id

Diterima Redaksi : 16 Juli 2024  
Selesai Revisi : 30 Agustus 2024  
Diterbitkan Online : 15 November 2024

### ***Abstract***

*At this time the need for metals, especially iron and steel in the industrial world is increasing. One that is widely used is cast iron, there are several types of cast iron, namely gray cast iron, white cast iron, malleable cast iron, nodular cast iron. Nodular cast iron is included in the cast iron class, this type of cast iron is now widely used as a substitute for steel for machine components such as agricultural machinery, automotive, construction and others. For this reason, research was conducted to determine the level of hardness and impact of nodular cast iron (ductile cast iron) FCD-50. In this study, where the hardness test is used as the basis for research to determine the resistance of materials (tensile strength) and changes in the microstructure formed in nodular cast iron (ductile cast iron) FCD-50. This study uses the Heat Treatment method where the cooling process uses oil media. And after the process, a hardness test is carried out. The results of the study obtained were an increase in hardness value from 23.66 HRC to 56.07 HRC. The changes that occurred were greatly influenced by the oil cooling media and holding temperature (holding time) in the isothermal holding pattern.*

**Keywords:** *cast iron; mechanical properties; heat treatment; hardness; holding time; temperature*

### **Abstrak**

Pada saat ini kebutuhan akan logam terutama besi dan baja di dunia industri semakin meningkat. Salah satu yang banyak dipakai adalah besi tuang, ada beberapa macam besi tuang yaitu besi tuang kelabu (gray cast iron), besi tuang putih (white cast iron), besi tuang mampu tempa (malleable cast iron), besi tuang nodular (ductile cast iron). Besi tuang nodular (ductile cast iron) masuk dalam kelas besi cor, jenis besi cor ini sekarang banyak digunakan sebagai bahan pengganti baja untuk komponen-komponen mesin seperti mesin pertanian, otomotif, konstruksi dan lain-lain. Untuk itu dilakukan penelitian untuk mengetahui seberapa besar tingkat kekerasan dan impact dari besi cor nodular (ductile cast iron) FCD-50. Dalam penelitian kali ini, dimana uji kekerasan digunakan sebagai dasar penelitian untuk mengetahui ketahanan bahan (kekuatan tarik) dan perubahan struktur mikro yang terbentuk pada besi tuang nodular (ductile cast iron) FCD-50. Penelitian ini menggunakan metode Heat Treatment dimana proses pendinginannya menggunakan media oli. Dan setelah proses tersebut dilakukan uji kekerasan. Hasil penelitian yang diperoleh adalah adanya peningkatan nilai kekerasan dari 23,66 HRC menjadi 56,07 HRC. Perubahan yang terjadi sangat dipengaruhi

oleh media pendinginan oli dan temperature penahanan (holding time) pada pola penahanan isothermal.

**Kata kunci:** cast iron; sifat mekanis; heat treatment; kekerasan; holding time; temperatur.

## 1. Pendahuluan

Kebutuhan akan logam, terutama besi dan baja, di dunia industri semakin meningkat pada masa kini. Besi dan baja dianggap sebagai material yang sangat awet dibandingkan dengan material lainnya [1]. Selain itu, besi dan logam memiliki ketahanan yang kuat sehingga awet untuk digunakan [2]. Seiring dengan perkembangan zaman, dunia industri juga mengalami kemajuan, terutama dalam bidang otomotif dan permesinan. Berbagai kebutuhan terhadap material yang beraneka ragam telah memaksa untuk berinovasi, baik dari pemilihan material dengan berbagai sifat sampai dengan pembaruan dari sifat-sifat material tersebut [3].

Baja adalah material yang paling banyak digunakan di dunia industri pada awalnya, karena baja memiliki keunggulan yaitu kekuatan yang tinggi, kemampuan kekerasan yang baik dan relatif ulet [4]. Namun, dikarenakan harga baja yang relatif mahal dan sifat mekanis pada baja kurang cocok dalam mesin, industri di bidang otomotif lebih tertarik dengan besi cor. Besi cor dikarenakan bahan yang relatif murah, memiliki sifat mampu cor (*castability*) yang baik, dan juga memiliki sifat mampu mesin (*machinability*) yang relatif lebih baik dibandingkan dengan baja. Panas memiliki pengaruh yang cukup signifikan terhadap ketangguhan baja [5].

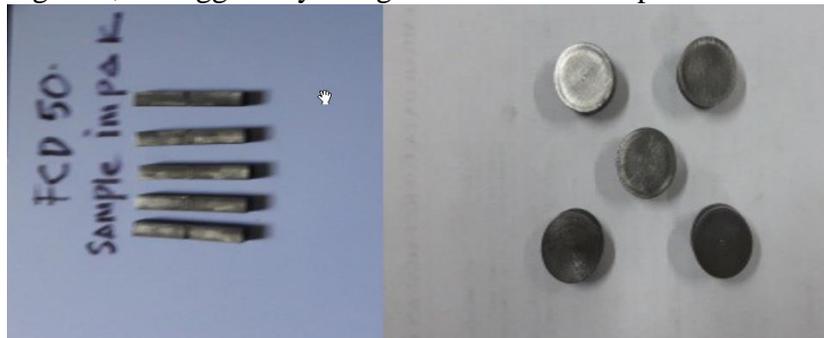
Besi cor merupakan material logam yang banyak digunakan dalam dunia industri karena sifatnya yang mudah dicetak dan memiliki kekuatan mekanik yang cukup baik. Secara umum, besi cor dibagi menjadi beberapa jenis utama berdasarkan struktur mikro dan karakteristik mekaniknya. Jenis-jenis tersebut antara lain besi cor kelabu (*gray cast iron*) yang dikenal dengan struktur grafit berbentuk serpihan dan memiliki kemampuan redaman getaran yang baik; besi cor nodular (*ductile cast iron*) yang memiliki grafit berbentuk nodul atau bulat sehingga meningkatkan keuletan dan ketangguhan material; besi cor mampu tempa (*malleable cast iron*) yang diperoleh melalui perlakuan panas khusus pada besi cor putih, menghasilkan struktur yang lebih ulet dan tidak mudah retak; serta besi cor putih (*white cast iron*) yang memiliki struktur keras dan rapuh karena karbonnya berada dalam bentuk sementit ( $Fe_3C$ ), sehingga memberikan kekerasan tinggi namun dengan keuletan yang rendah. Setiap jenis besi cor tersebut memiliki aplikasi spesifik sesuai dengan kebutuhan teknis, mulai dari komponen mesin, struktur bangunan, hingga alat berat. Dari beberapa jenis besi cor yang ada, besi cor nodular memiliki sifat mekanis yang terbaik untuk industri di bidang otomotif. Hal ini disebabkan oleh bentuk grafitnya yang bulat, yang membuat kekuatan dan keuletannya menjadi lebih baik dibandingkan dengan jenis besi cor lainnya [6]. Hanaldi [7] menyatakan bahwa semakin tinggi kekerasan maka nilai wear resistant akan semakin meningkat.

Penelitian mengenai besi cor nodular FCD-60 menyatakan bahwa Nilai kekerasan rata-rata 501,1 HB (*quenching temper*), 297,2 HB (*normalizing*), dan 229,1 HB (*annealing*). Sedangkan kekuatan tarik sebesar 933 N/mm<sup>2</sup> (*quenching temper*), 474 N/mm<sup>2</sup> (*normalizing*), 380 N/mm<sup>2</sup> (*annealing*) [8]. Raharjo [9] melakukan penelitian tentang waktu austempering FCD-55. Dari proses austempering tersebut dapat menghasilkan sifat mekanik besi cor nodular yang semakin baik, sehingga dapat digunakan untuk membuat komponen-komponen mesin yang menerima beban berat. Untuk mendapatkan sifat mekanik yang lebih baik dari besi cor nodular dilakukan proses austempering. Proses austempering adalah proses transformasi yang terjadi secara isothermal [4]. Untuk itu dilakukan penelitian untuk mengetahui seberapa besar tingkat kekerasan dari besi cor nodular (FCD-50). Dalam penelitian kali ini, dimana uji kekerasan digunakan sebagai dasar penelitian untuk mengetahui ketahanan bahan yang terjadi pada besi cor nodular (FCD-50). Sehingga dapat diketahui

tingkat kekerasan yang terjadi sebelum dan sesudah pengujian langsung.

## 2. Metode Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas variabel tetap, variabel terikat, dan bahan utama. Variabel tetap merupakan variabel yang dijaga konstan selama proses penelitian agar tidak memengaruhi hasil pengujian, yaitu jenis oli untuk proses quenching, panjang spesimen, gaya saat pengujian, temperatur perlakuan panas, serta jenis bahan dasar. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah kekuatan kekerasan material, yang menjadi parameter utama untuk mengevaluasi pengaruh perlakuan terhadap material. Sementara itu, bahan yang digunakan adalah besi cor nodular FCD-50, yaitu jenis logam dengan struktur mikro yang memiliki grafit berbentuk bulat (nodular) dan dikenal memiliki kekuatan tarik serta ketangguhan yang baik, sehingga banyak digunakan dalam komponen mesin dan otomotif.



Gambar 1. Basic or nodular FCD-50

## Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi dapur listrik dan alat uji kekerasan. Dapur listrik berfungsi sebagai alat untuk melakukan proses perlakuan panas terhadap spesimen FCD-50. Dengan pengaturan suhu yang presisi, alat ini memungkinkan pemanasan material hingga suhu yang diinginkan sebelum dilakukan pendinginan cepat (quenching). Setelah perlakuan panas dilakukan, nilai kekerasan material diuji menggunakan alat uji kekerasan, yang memberikan data kuantitatif mengenai seberapa tahan material terhadap deformasi plastis. Data kekerasan ini menjadi acuan utama dalam menentukan efektivitas perlakuan panas terhadap sifat mekanik material. Dapur Listrik.



Gambar 2. Dapur Listrik

## Prosedur Percobaan Uji Kekerasan

Prosedur uji kekerasan dilakukan dalam beberapa tahapan yang sistematis untuk memastikan hasil yang akurat dan dapat dibandingkan. Langkah pertama adalah melakukan persiapan

benda uji berupa material FCD-50 dalam kondisi *as-cast* sebanyak 10 buah. Setelah itu, dilakukan proses pembuatan spesimen uji dari material FCD-50 *as-cast* dengan jumlah yang sama, yaitu 10 buah. Lima buah dari total benda uji tersebut kemudian diuji kekerasannya menggunakan alat *Rockwell hardness tester* sebelum dilakukan perlakuan panas, untuk memperoleh data awal kekerasan material dalam kondisi awal. Selanjutnya, lima benda uji lainnya diberi perlakuan panas, yang diakhiri dengan proses pendinginan cepat atau *quenching* menggunakan media oli. Setelah proses *quenching*, kelima benda uji tersebut kembali diuji kekerasannya menggunakan alat *Rockwell hardness tester* untuk memperoleh data kekerasan setelah perlakuan. Data akhir ini kemudian dibandingkan dengan data awal guna mengetahui pengaruh perlakuan panas terhadap kekerasan material FCD-50.

### 3. Hasil dan Pembahasan

Pengujian kekerasan yang dilakukan adalah pengujian kekerasan dengan menggunakan alat uji kekerasan Rockwell Hardness Tester dengan menggunakan satuan HRC (Hardness Rockwell Cone) dimana beban uji yang digunakan adalah bola baja sehingga peneliti bisa membandingkan tingkat kenaikan kekerasan yang terjadi pada benda uji As-Cast FCD-50 sebelum di perlakuan dan benda uji As-Cast FCD-50 setelah diperlakukan.

Adapun prosedur umum pengujian yang dilakukan adalah dengan memoles benda uji sehingga permukaan benar-benar rata untuk diujikan pada alat uji rockwell hardnes tester.

Tabel 1. Hasil Uji Kekerasan sebelum heat treatment

No	Jenis Bahan	Beban Mayor (kg)	Beban Minor (kg)	Waktu (detik)	Jenis Indentor	Kekerasan 1	Kekerasan 2	Kekerasan 3	Rata-rata
1	FCD-50	150	10	5	Diamond Cone	18	23	27,5	22,8
2	FCD-50	150	10	5	Diamond Cone	18,5	21	28	22,5
3	FCD-50	150	10	5	Diamond Cone	21	24	26,5	23,8
4	FCD-50	150	10	5	Diamond Cone	19	20	26	21,6
5	FCD-50	150	10	5	Diamond Cone	26	28,5	28,5	27,6

Tabel 1 di atas menyajikan hasil pengujian kekerasan pada material FCD-50 menggunakan metode Rockwell dengan jenis indentor diamond cone, beban mayor 150 kg, dan beban minor 10 kg yang diaplikasikan selama 5 detik. Pengujian dilakukan pada lima spesimen dengan tiga kali pengukuran pada tiap spesimen untuk mendapatkan nilai kekerasan yang lebih representatif.

Dari data yang diperoleh, nilai kekerasan rata-rata berkisar antara 21,6 hingga 27,6, yang menunjukkan adanya variasi kekerasan antar spesimen. Spesimen kelima menunjukkan nilai kekerasan tertinggi dengan rata-rata 27,6, yang konsisten pada tiga titik pengukuran dengan nilai masing-masing sebesar 26; 28,5; dan 28,5. Sebaliknya, spesimen keempat menunjukkan nilai kekerasan terendah, yaitu 21,6, yang juga menunjukkan nilai paling rendah secara individual (19 pada pengukuran pertama dan 20 pada pengukuran kedua).

Rata-rata keseluruhan dari kelima spesimen berada pada kisaran 22,8, yang menandakan bahwa material FCD-50 memiliki tingkat kekerasan yang relatif sedang. Nilai ini sesuai dengan karakteristik ductile cast iron yang memiliki kombinasi antara kekuatan tarik dan ketangguhan, namun dapat bervariasi tergantung pada proses perlakuan panas sebelumnya atau kondisi mikrostruktur internal material tersebut.

Fluktuasi nilai kekerasan antar spesimen kemungkinan disebabkan oleh perbedaan distribusi grafit dan fasa matriks (perlit/ferrit) dalam struktur mikro material, atau karena variasi kecil dalam proses produksi dan pengujian. Penggunaan indentor diamond cone menunjukkan bahwa pengujian dilakukan pada skala Rockwell C, yang umum digunakan untuk material logam keras seperti baja dan besi tuang.

Tabel 2. Hasil Uji Kekerasan setelah heat treatment

No	Jenis Bahan	Beban Mayor (kg)	Beban Minor (kg)	Waktu (detik)	Jenis Indentor	Kekerasan 1	Kekerasan 2	Kekerasan 3	Rata-rata
1	FCD-50	150	10	5	Diamond Cone	59	58	58	58,33
2	FCD-50	150	10	5	Diamond Cone	57	56	55	56
3	FCD-50	150	10	5	Diamond Cone	59	59	59	59,33
4	FCD-50	150	10	5	Diamond Cone	56	57	60	57,67
5	FCD-50	150	10	5	Diamond Cone	59	58	60	59

Tabel 2 menunjukkan hasil pengujian kekerasan material FCD-50 setelah diberikan perlakuan panas (heat treatment), menggunakan metode Rockwell dengan indentor diamond cone, beban mayor 150 kg, beban minor 10 kg, dan waktu penekanan selama 5 detik. Pengujian dilakukan pada lima spesimen dengan tiga kali pengambilan data untuk masing-masing.

Dari hasil pengujian, nilai kekerasan rata-rata menunjukkan peningkatan yang signifikan dibandingkan dengan material sebelum perlakuan panas. Nilai kekerasan rata-rata tertinggi tercatat pada spesimen ke-3, yaitu 59,33, dengan konsistensi yang sangat tinggi pada setiap pengujian (59, 59, dan 59). Sedangkan nilai kekerasan rata-rata terendah tercatat pada spesimen ke-2, yaitu 56, yang masih tergolong tinggi dibandingkan nilai kekerasan material FCD-50 sebelum perlakuan.

Secara umum, seluruh spesimen menunjukkan nilai kekerasan di atas 56, yang mengindikasikan bahwa proses heat treatment yang diberikan berhasil mengubah struktur mikro material menjadi lebih keras. Peningkatan ini kemungkinan besar disebabkan oleh terbentuknya fasa bainit atau martensit selama proses pendinginan cepat, yang umumnya meningkatkan ketahanan terhadap deformasi plastis [10].

Jika dibandingkan dengan data sebelum heat treatment (yang memiliki rata-rata di kisaran 21–27), maka peningkatan nilai kekerasan ini cukup drastis dan konsisten, mengonfirmasi bahwa perlakuan panas memberikan dampak signifikan terhadap kekuatan mekanis material FCD-50.

Berdasarkan data yang diberikan, terlihat perbedaan signifikan pada kekerasan material FCD-50 sebelum dan setelah perlakuan. Sebelum perlakuan, nilai rata-rata kekerasan material berada pada rentang 21,6–27,6 dengan variasi nilai individu cukup tinggi (18–28,5), mengindikasikan ketidakstabilan properti material. Namun, setelah perlakuan, terjadi peningkatan drastis dengan rata-rata kekerasan mencapai 55–59,33 dan nilai individu yang lebih konsisten (55–60). Hal ini menunjukkan peningkatan kekerasan sekitar 135–170%, sekaligus penurunan variasi hasil, yang menandakan stabilisasi struktur mikro material. Perlakuan yang diterapkan—seperti heat treatment, quenching, atau proses pengerasan lainnya—telah terbukti efektif meningkatkan ketahanan permukaan dan homogenitas material [11]. Peningkatan ini menjadikan FCD-50 lebih cocok untuk aplikasi yang memerlukan ketahanan mekanis tinggi.

#### 4. Kesimpulan

Besi cor nodular (FCD-50) merupakan material logam yang memiliki karakteristik mekanik unggul, terutama dalam hal kekuatan dan keuletan, sehingga banyak digunakan dalam industri otomotif dan permesinan. Perlakuan panas (heat treatment) terbukti memberikan pengaruh yang signifikan terhadap peningkatan sifat mekanis material ini, khususnya pada tingkat kekerasannya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kekerasan FCD-50 mengalami peningkatan yang signifikan setelah dilakukan proses perlakuan panas. Sebelum perlakuan, rata-rata nilai kekerasan berada pada 23,66 HRC, sedangkan setelah perlakuan panas meningkat menjadi 56,07 HRC. Peningkatan ini mengindikasikan bahwa perlakuan panas mampu memperbaiki struktur mikro material sehingga meningkatkan ketahanan terhadap keausan..

#### Daftar Pustaka

- [1] A. Mersilia, “Pengaruh Heat Treatment dengan Variasi Media Quenching Air Garam dan Oli terhadap Struktur Mikro dan Nilai Kekerasan Baja Pegas Daun AISI 6135.” Lampung, 2016.
- [2] E. Z. Damanik, “Analisa Sifat-Sifat Baja Hardening yang Digunakan dalam Industri Otomotif.” Depok, 2010.
- [3] I. Saefuloh, Haryadi, A. Zahrawani, and B. Adjiantoro, “Pengaruh Proses Quenching dan Tempering Terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Baja Karbon Rendah Dengan Paduan Laterit,” *FLYWHEEL J. Tek. Mesin UNTIRTA*, vol. IV, no. 1, pp. 56–64, 2018.
- [4] D. Nurjayanti, E. Ginting, and P. K. Karo, “Pengaruh Lama Pemanasan, Pendinginan secara Cepat, dan Tempering 600°C terhadap Sifat Ketangguhan pada Baja Pegas Daun AISI No. 9260,” *J. Teor. dan Apl. Fis.*, vol. 1, no. 2, 2013, doi: 10.23960/jtaf.v1i2.954.
- [5] H. Purwanto, “Analisa Quenching pada Baja Rendah ST 37,” *Maj. Ilm. Momentum*, vol. 7, no. 1, 2011, doi: 10.36499/jim.v7i1.295.
- [6] N. A. Karim, M. M. Ramli, C. M. R. Ghazali, and M. N. Mohtar, “Synthetic graphite production of oil palm trunk chip at various heating rate via pyrolysis process,” *Mater. Today Proc.*, vol. 16, pp. 2088–2095, 2019, doi: 10.1016/j.matpr.2019.06.096.
- [7] K. Hanaldi, “Analisa Ketahanan Aus Besi Cor EN-JN2019 dengan Metode Factorial Design terhadap Unsur Paduan dan Laju Pendinginan,” *JTBTT*, vol. 6, no. 1, p. 11, 2016, doi: 10.37209/jtbtt.v6i1.64.
- [8] E. Diniardi and Iswahyudi, “Analisa Pengaruh Heat Treatment terhadap Sifat Mekanik

- dan Struktur Mikro Besi Cor Nodular (FCD 60),” *SINTEK J.*, vol. 6, no. 2, pp. 45–54, 2012.
- [9] W. P. Raharjo and E. Surojo, “Pengaruh Temperatur dan Waktu Austempering terhadap Kekerasan Adi Hasil Austempering FCD55,” *GEMA Tek.*, vol. X, no. 2, 2007.
- [10] S. Mizhar, D. Gerhana, and B. Tampubolon, “Analisa Kekerasa Dan Struktur Mikro Terhadap Variasi Temperatur Tempering Pada Baja Aisi 4140,” *Tek. Mesin ITM*, vol. 1, no. 2, pp. 98–104, 2015.
- [11] S. Bayu and U. Yusuf, “Pengaruh Waktu Austempering Terhadap Sifat Mekanis dan Struktur Mikro Austempered Ductile Iron Non Paduan dan Paduan 0,3% dan 0,6% Mo,” *J. Foundry*, pp. 1–5, 2011.